REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Elaboration d'un éco-matériau de construction à base des isolants recyclés

Présenté par

Mme. BOUCHENAFA Hafidha

Melle. TERKMANE Hayet

Proposé et Dirigé par

Dr. GUENDOUZ Mohamed

Promotion Juin 2021

بسم الله الرحمن الرحيم

الله لا إله إلا هو الحي القيوم لا تأخذه

سنة ولا نوم له ما في السموات وما في

الأرض من ذا الذي يشفع عنده

إلا بإذنه يعلم ما بين أيديهم وما خلفهم

ولا يحيطون بشيء من علمه إلا بما شاء

وسع كرسيه السموات والأرض ولا

يؤوده حفظهما وهو العلي العظيم

Remerciements

En tout premier lieu, je remercie le bon Dieu, tout puissant, de m'avoir donné la force pour Survivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

D'abord ce travail ne serait pas aussi riche et n'aurait pas pu avoir le jour sans l'aide et l'encadrement de mon promoteur Dr "GUENDOUZ Mohamed ", je le remercie pour la qualité de son encadrement exceptionnel pour sa patience. Je remercie aussi Dr " BOUKHALKHAL Djamila" pour son aide pratique et son soutien morale et ses encouragements au niveau de laboratoire.

Mes remerciements s'adressent aussi à mes parents qui m'ont apporté un soutien tant psychologique que financier, pour leur patience et leur foie en ma réussite tant scolaire que personnelle.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin á la réalisation de ce mémoire.

Dédicaces

Merci mon dieu de m'avoir Donné la capacité, la force, la patience de réalisé se rêve.

Je Dédie ce Modeste travail à mes très chers parents qui m'ont toujours soutenu. A mes chers frères et mon Mari source de Joie et de bonheur, ainsi à toute ma famille **"BOUCHENAFA"** et tous mes amis Hayet, Hassina, Hafida.

A tous mes professeurs pour leurs générosités et la grande patience dont ils ont si faire preuve malgré leurs charges académiques et professionnelles

A tous mes amis de groups et du département qui j'ai passé des bons moments avec eux je vous souhaite de réussir.

Merci du fond de mon cœur

BOUCHENAFA Hafidha

Dédicaces

Au nom d'ALLAH, le tout puissant et très miséricordieux.

Je dédie ce modeste travail :

A mes chers parents, mon père et ma mère pour leur patience, leur amour, leur soutien et leurs encouragements.

A ma sœur ainée bien aimée, son mari et sa fille adorable Lina.

Ainsi que toute ma grande famille **"TERKMANE"** et **"CHIKH TOUHAMI"** qui ont contribué de près ou de loin pour que ce travail soit possible et bénéfique pour la société.

A mes amies hafidha, hassina et hafidha, je vous dédie ce travail et je vous souhaite une vie plein de santé et de bonheur.

Sans oublier tous les professeurs que ce soit du primaire, du moyen, du secondaire ou de l'enseignement supérieur.

Merci du fond de mon cœur

TERKMANE Hayet

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين صوف الخرفان وإضافتها إلى كتلة الخرسانة الرملية المائعة بنسب مختلفة (0.125٪، 0.25٪، 0.375٪ و0.42٪) ودراسة خصائصها في الحالة الرطبة (الجريان) وفي الحالة الصلبة (مقاومة الضغط والشد والخصائص الحرارية).

وقد أظهرت النتائج أن الخصائص الميكانيكية للخرسانة الرملية المائعة إنخفضت بزيادة صوف الخرفان في حين أنه تم ملاحظة تحسن في الخصائص الحرارية لذلك فمن الممكن استخدام صوف الخرفان لتحسين الخصائص الحرارية للخرسانة الرملية المائعة.

Résumé

L’objectif principal de ce projet est consiste à valoriser et recycler les déchets de la laine de mouton et les incorporé dans la masse de béton de sable fluide avec des pourcentages de (0.125%,0.25%,0.375% et 0.42%). Les propriétés à l’état frais (la maniabilité), à l’état durci (la résistance à la compression, la traction par flexion et propriétés thermiques).

Les résultats obtenus montrent que la performance mécanique du béton de sable fluide est diminuée en fonction d’augmentation de pourcentage de laine de mouton. Cependant, les caractéristiques thermiques sont améliorées. Donc, il est possible d’améliorer les propriétés thermiques de béton de sable fluide avec l’ajout de ce type de déchets.

Abstract

The main objective of this project is therefore to valorization of sheep wool waste and incorporated it in the mass of flowable sand concrete with percentages of (0.125%, 0.25%, 0.375% and 0.42%). The properties in the fresh state (workability), and the hardened state (compressive, flexurel strength and thermal properties).

The results obtained show that the mechanical performance of flowable sand concrete is reduced as a function of the percentage increase in sheep's wool. However, the thermal characteristics was improved. Therefore, it is possible to improve the thermal properties of flowable sand concrete with the addition of this type of waste.

sommaire

Sommaire

Dédicace
Remerciements
ملخص
Résume
Abstract
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Listes des symboles et des abréviations
Introduction général

CHAPITRE 01 : SYNTESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 La laine ……..…….05
1.1.1 Introduction ……..…05
1.1.2 Histoire de la laine ……...…….....…..…05
1.1.3 Définition de la laine ……...…06
1.1.4 Composition de la laine ……..……....07
1.1.5 Les différents types de laine se classent selon l'animale qui les produits ……...…..07
- Laines de mouton ……..…08
- Laines de chèvre ……..09
- Laine de lapin et d'agneau ……...10

1.1.6 Caractéristiques et généralités ……10
1.1.7 Propriétés de la laine ……...……12
1.1.7.1 Les propriétés physiques de la laine ……..……..12
1.1.7.2 Les propriétés chimique de la laine ……..……13
1.1.7.3 Les propriétés biologiques de la laine ……..……..13
1.1.8 Utilisation de la laine ……..14
1.1.9 Traitements reçoivent les laines animales ……..14
1.1.10 Performances pour les laines animales ……..…14

1.2 la laine de mouton ……..……...……..15
1.2.1 Histoire de la laine de moutons ……...……..……..15
1.2.2 définition de la laine de mouton ……..15
1.2.3 Isolation la laine de mouton ……..…16
1.2.4 Caractéristiques de la laine de mouton ……..……..16
1.2.5 Utilisation de la laine de mouton ……17
1.2.6 Avantage de la laine de mouton ……..……18
1.2.7 Limites de la laine de mouton ……..18
1.2.8 Applications ……19
1.2.9 Disponibilité et structure ……..19

1.3 Le béton de sable ……...20
1.3.1 Introduction ……..…..20
1.3.2 Historique des béton de sable ……...……20
1.3.3 Définition ……..23
1.3.4 Spécificité du béton de sable ……....……24
1.3.5 Les composants du béton de sable ……...….24
1.3.5.1 Les sables ……24
1.3.5.2 Les sables issus d'une chaine d'élaboration ……...……25
1.3.6 Les fines d'ajouts (ou addition) ……25
1.3.6.1 Laitier ……26
1.3.6.2 Cendres volantes ……26
1.3.7 Les ciments ……...……26
1.3.8 L'eau ……26
1.3.9 Adjuvants ……..27
1.3.10 Autres ajouts ……...……27
1.3.10.1 Les fibres ……...27
1.3.11 Les gravillons ……..27
1.3.12 Les colorants ……...……27
1.3.13 Techniques particulières ……..……28
1.3.13.1 Béton de sable projeté ……..28
1.3.13.2 Bétons de sable fluides ……28

1.4 Intérêts et limites des bétons de sable……..30
1.4.1 Intérêt des bétons de sable ……30
1.4.2 Limites des bétons de sable ……...31

1.5 Méthodes de formulation des bétons de sable ……31
1.5.1 Approche théorique de la formulation des bétons de sable ……..32
1.5.1.1 Dosage en fines d'un béton de sable ……..……..32
1.5.1.2 Dosage en eau d'un béton de sable ……34
1.5.1.3 Dosage en sable ……...36
1.5.1.4 Estimation de la résistance en compression ……36
1.5.2 Méthode expérimentale de formulation ……39
1.5.2.1 Les différentes étapes de la formulation ……40
1.5.3 Influence de la laine du mouton sur les propriétés des matériaux cimentaires …….44
1.5.3.1. Etats frais ……...……44
1.6 Conclusion ……..……..…….47

CHAPITRE 02 : MATERIAUX ET ESSAIS

2.1 Introduction……..49
2.2 Caractérisation des Matériaux utilisés.……...…..49
2.2.1 Le sable…….....49
2.2.2 Ciment ……...…….....51
2.2.3 Ajouts (fillers)……..……...…….....53
2.2.4 Adjuvant…….....…….....54
2.2.5 Eau de gâchage ……...…….……..……..54
2.2.6 Déchets de la laine de mouton …..…..…….....55
2.3 Composition des mélanges ……..……..…..…….....55
2.3.1 Composition de BSF ……...……55
2.4 Malaxage et conservation…….....56
2.5 Essais réalisés à l'état frais.……..….....57
2.5.1 Etalement……..57

2.6 préparation et conservation des éprouvettes …….....58
2.7 Essai réalisé sur le béton ……..…...……59
2.7.1 Résistance à la compression ……..……..59
2.7.2 Essai de la résistance à la traction par flexion ……60
2.7.3 Les propriétés thermiques ……...61
2.8 Variable étudiées ……...…..…..…..……...62
2.9 Conclusion…….……...……64

CHAPITRE 03: RÉSULTATS ET INTERPRÉTATION

3.1 Introduction ..... .66
3.2 Influence de déchets de la laine du mouton sur le comportement du BSF ……66
3.2.1 Caractéristiques du BSF à l'état frais……..……66
3.2.1.1 Etalement……66
3.2.2 Caractéristique du BSF à l'état durci…….…..……67
- Résistance à la compression……67

- La résistance à la traction par flexion……68
- Conductivité thermique……...70

3.3 Conclusion……71

Conclusions générales……...73

Recommandations……74

Références bibliographiques ……76

Annexe ……...81

Liste des Tableaux

Liste des Tableaux

Tableau.1.1. Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment ……..…….. 26
Tableau.2.1. Caractéristiques physiques des sables utilisés ……..... 50
Tableau.2.2. Analyse chimique du ciment et composition du clinker …….…….... 52
Tableau 2.3. Caractéristique physiques du ciment ……..……. 53
Tableau.2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge ……..…. 53
Tableau.2.5. Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé ……. 54
Tableau.2.6. Caractéristiques physiques de la laine du mouton utilisé …….……55
Tableau.2.7. Compositions des Béton de sable fluide à base déchet laine du mouton pour ($1m^3$) ……...……56
Tableau.2.8. Essais sur bétons durci ……...……..…59

Liste des Figures

Liste des figures

Fig.1.1. Fils de laine - textile de fond …….....…..…05
Fig.1.2. une fibre de laine …….06
Fig.1.3. La laine, une fibre naturelle ancestrale …….…….…….…….07
Fig.1.4. La laine de mouton ……...…….....08
Fig.1.5. La laine de mérions ……08
Fig.1.6. La laine de chèvre ……..…….……09
Fig.1.7. La laine de mohair ……..…..09
Fig.1.8. La laine de lapins agora ……..…..10
Fig.1.9. Propriétés de la laine ……..…..12
Fig.1.10. La laine de mouton …….....…16
Fig.1.11. Utilisation de la laine du mouton ……..…18
Fig.1.12. Application de la laine de mouton ……19
Fig.1.13. Carte de déserts dans le monde ……..……..…..20
Fig.1.14. Phare de port Saïd réalisé en Béton aggloméré Coignet ……..….21
Fig.1.15. Métro de Saint-Pétersbourg ……..……..……..……22
Fig.1.16. Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel ……...…23
Fig.1.17. Le béton de sable en projection …….……28
Fig.1.18. Dallage en BS fluidifié auto compactant (Base aérien de Dijon) ……..……...…30
Fig.1.19. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines ……..…34
Fig.1.20. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable ……..……35
Fig.1.21. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée ……35
Fig.1.22. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) ……..37
Fig.1.23. Organigramme de la méthode théorique pour l'estimation de la résistance à la compression du béton de sable …….……39
Fig.1.24. Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition ……43

Fig.1.25. Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition ……..……43
Fig.1.26. Ouvrabilité de béton à base de la laine du mouton ……..…….45
Fig.1.27. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton …….……45
Fig.1.28. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton ……...…..46
Fig.1.29. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton ……..….46
Fig.1.30. La résistance à la traction par flexion de béton à base de la laine du mouton …..…47
Fig.1.31. Conductivité thermique de béton à base de la laine du mouton ……..…..47
Fig.2.1. Sable utilisé ……..……49
Fig.2.2. Courbe granulométrique de sable utilisée ……...50
Fig.2.3. Ciment MATINE ……51
Fig.2.4. Procédure de broyage de fillers de marbre ……54
Fig.2.5. la laine de mouton ……..…….55
Fig.2.6. Séquence de malaxage du béton de sable fluide …….……57
Fig.2.7. Mesure de l'étalement du béton de sable fluide ……..……58
Fig.2.8. Fabrication des éprouvettes ……58
Fig.2.9. Dispositif de rupture à la compression ……..…..…60
Fig.2.10. Presse Hydraulique ……...……60
Fig.2.11. Essai de traction par flexion sur béton ……....61
Fig.2.12. Le CT-mètre …….……62
Fig.2.13. Variables étudiées ……63
Fig.3.1. Étalement de BSF à base de la laine de mouton ……66
Fig.3.2. La résistance à la compression à l'âge de 7 jours des BSF à base de la laine de mouton ……..……..67
Fig.3.3. La résistance à la compression à l'âge de 28 jours des BSF à base de la laine de mouton ……68
Fig.3.4. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours des BSF à base de la laine de mouton ……..……69
Fig.3.5. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours des BSF à base de la laine de mouton ……..……69
Fig.3.6. Conductivité thermiques des BSF à base de la laine de mouton …….....……..70

Liste des symboles et Abréviations

Liste des Symboles et des Abréviations

DIS : Déchets industriels spéciaux

DS : Les déchets spéciaux

D.I.B. : Les déchets industriels banals

EPA : Agence de protection de l'environnement

E/C : Eau/Ciment

C : Dosage en ciment

E : Eau

C_2S : Silicate bicalcique (belite)

C_3A : Aluminate tricalcique

C_3S : Silicate tricalcique (alite)

C_4AF : Aluminate-ferrite tétracalcique

$CaCO_3$: Carbonate de calcium

Al2O3 : Oxyde d'Aluminium

Fe2O3 : Oxyde de fer

Cao : Oxyde de calcium

S_iO_2 : Silicium

MgO : Magnésium

BSF : béton de sable fluide

BSFT : Béton de sable fluide témoin

BSF LM : Béton de sable fluide à base de laine de mouton

MT : Mortier témoin.

MLM : Mortier à base de laine de mouton.

LM : Laine de mouton

CPJ-CEM II/A 42.5 : Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C : Charge de rupture en (N)

B : Côte de l'éprouvette

Introduction générale

Introduction générale

L'urgence des problèmes environnementaux implique de multiples changements dans tous les secteurs de l'économie. Premiers consommateurs d'énergie, le bâtiment ne peut se soustraire aux défis du développement durable. La réglementation thermique, qui a pour objectif de limiter la consommation d'énergie des bâtiments pendant leur utilisation, va fortement se durcir dans les années à venir. La construction d'un bâtiment débute avec la fabrication des matériaux qui lui donneront toutes ses qualités physiques, esthétiques et thermiques.

Les fabricants de matériaux de construction sont donc parmi les premiers concernés par ce durcissement de la réglementation et se doivent, pour rester compétitifs, de faire évoluer leurs produits pour apporter des solutions techniques performantes au maître d'œuvre. Pas mal d'études ont été réalisées sur la laine de mouton et sa potentielle mise en valeur, la laine de mouton est un produit isolant issu de matières premières de nature et de qualité variables. La laine de mouton peut être brute ou manufacturée. Dans ce cas, on y ajoute jusqu'à 25 % de fibres synthétiques pour assurer la cohésion des panneaux ou rouleaux. Elle est utilisée pour l'isolation thermique comme pour l'isolation acoustique du bâtiment.

Ce travail consiste donc à récupérer de laine de mouton rejetée dans la nature, après trempage, le dégraissage, le lavage, le rinçage, les traitements, phase de séchage et emballage, puis incorporé dans la masse de béton de sable par substitution volumiques du sable avec de pourcentage de (0.125%,25%, 0.375% et 0.42%).

Le composite ainsi envisagé est, alors, ***un béton de sable fluide à base de la laine de mouton***. A part le ciment, chaque matériau de base constituant ce matériau entre soit dans le cadre de la valorisation des matériaux locaux, soit dans le cadre de la réutilisation des déchets industriels.

Pour atteindre ces objectifs, le travail présenté poursuit une démarche progressive s'articulant autour des quatre parties principales suivantes :

Nous présentons tout d'abord une synthèse bibliographie regroupant la valorisation des déchets de laine en général, la laine de mouton, le béton de sable et quelques travaux de

recherches effectuer dans les sens de la valorisation du laine du mouton dans les matériaux à base cimentaire.

Dans le deuxième chapitre, nous présentons une synthèse sur l'état actuel de connaissance sur les mortiers et le béton de sable (définitions, constituants, méthodes de formulations, caractéristiques, utilisations…etc.).

Le deuxième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux de base, les formulations des composites, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés à l'état frais (maniabilité, densité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression et à la flexion,), les propriétés thermiques (conductivité thermique).

Le troisième chapitre présente les résultats des essais à l'état frais et durci effectué sur les bétons de sable fluide obtenus.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur nos travaux ainsi que d'éventuelles perspectives et recommandations.

Chapitre 01 :

Synthèse bibliographique

1.1. La laine

1.1.1. Introduction

La vente de la laine de mouton représentait autrefois une source de revenus complémentaire pour les éleveurs. Mais l'arrivée de nouveaux textiles (coton et fibres synthétiques notamment) il y a quelques dizaines d'années et leur concurrence de plus en plus accrue sur les textiles en laine ont progressivement abaissé les marges.

Aujourd'hui, la production de laine française est en chute (10 463 t en 2008, 5 200 t en 2010), avec un contexte réglementaire complexe et une disparition progressive des laveries dans l'Union Européenne. [1]

Au niveau mondial, la laine représente 1,7% du marché des fibres. Son coût reste le principal frein au développement. Paradoxalement, les éleveurs n'ont que faire de la laine qui représente davantage une charge qu'un revenu complémentaire.

Dans ce contexte, les valorisations locales de la laine, dans le textile et dans le bâtiment, sont perçues comme de réelles opportunités pour la filière. [1]



Fig.1.1. Fils de laine - textile de fond [2]

1.1.2. Histoire de la laine

Il existe de nombreuses laines de qualité différents cars elles proviennent d'animaux différents. La chèvre produite de la laine ainsi que la chèvre du cachemire sont celle du pashmina, qui produit une laine particulièrement douce, longue et fine. Les chèvres sont élevées dans les montages de l'Himalaya, et produise assez peu de laine par an. La rareté de cette laine en fait une laine très chère. Il existe également la chèvre angora qui produit du

mohair. Le lapin angora produit lui aussi une laine très douce et fine. La laine mérinos est une laine de mouton mérinos qui est plus douce que celle du mouton classique. Dans les animaux encore moins communs, il y a le lama alpaga qui est élevé en Amérique du sud sur la cordillère des Andes. Bien sûr les laines plus rares sont plus chères mais offrent également davantage de douceur et de confort. Elles seront parfaites pour la confection de châle, de pashmina, d'écharpes douces pour l'hiver. Elles seront particulièrement agréables à porter près du corps ou contre la peau. La laine et son évolution dans l'histoire s'étalent sur de nombreux siècles mais aussi dans de nombreux pays différents. [3]

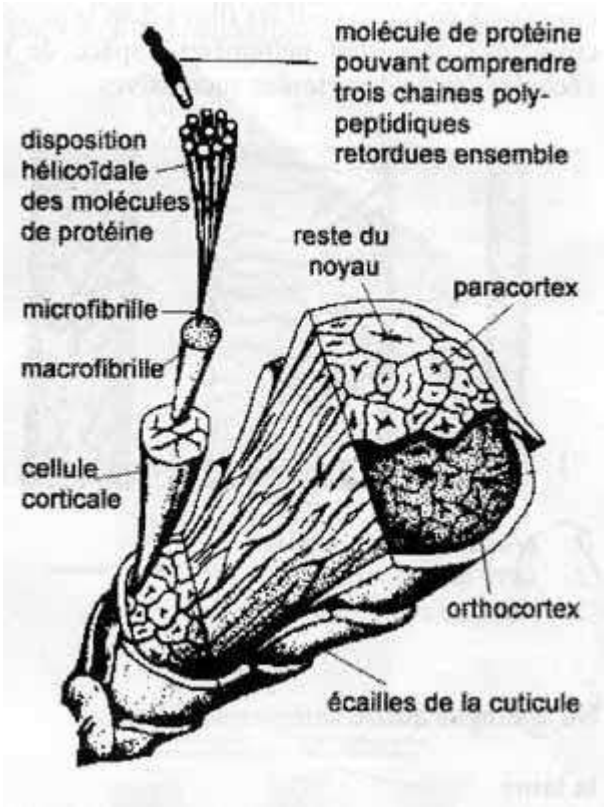


Fig.1.2. Une fibre de laine [4]

1.1.3. Définition de la laine

Matière constituée par les poils doux et épais, plus ou moins longs, poussant sur la peau de certains mammifères, en particulier des ovidés, et utilisée comme textile. [5]

La laine est une fibre naturelle, une matière première, provenant des poils doux des moutons et chèvres ou autres ovidés ; elle qualifie la toison, l'ensemble des poils de certains mammifères, les protégeant efficacement contre le froid. En botanique, la laine qualifie le duvet recouvrant certaines plantes. [6]



Fig.1.3. La laine, une fibre naturelle ancestrale [7]

1.1.4. Composition de la laine

Selon Le Larousse, la laine est une fibre à croissance continue provenant de la toison des moutons et utilisée comme matière textile. Une fibre d'origine animale (alpaga, chameau, chèvre du Cachemire, guanaco, lama, lapin angora, chèvre mohair, vigogne, yack). Ou encore un fil à tricoter de laine pure, mélangée, ou de fibre synthétique. [8]

Contrairement au terme anglais "yarn", le mot français est très spécifique à la source animale. En anglais, "yarn" est le fil qui sert à tricoter, crocheter, filer pour faire des vêtements ou accessoires. Ce fil peut donc être d'origine animale, végétale ou même synthétique. [8]

En français, la laine est de source animale : laine angora du lapin ou du mouton, le cachemire des chèvres Himalayennes, de l'alpaga mais aussi de la laine de chameau et même la soie. Il y a aussi la laine mérinos, le Blue face, le mérinos d'Arles, le mohair...C'est grâce à la sédentarisation et à l'élevage que ces fibres ont pu être utilisées pour créer des vêtements. Elle a aussi amenée l'agriculture, donc l'accès aux matières végétales comme le coton, le lin ou le chanvre. Des balles de coton datant de 5 000 avant J.C. ont été retrouvées. [8]

1.1.5. Les différents types de laine se classent selon l'animal qui les produit

a) Laines de mouton

C'est la variété de laine la plus classique et la plus répandue. La laine de mouton est un produit très isolant qui provient de matières premières naturelles et de qualités variables. Grâce à sa légèreté, son épaisseur et sa qualité remarquable, elle est aussi utilisée pour l'isolation thermique d'un bâtiment. Pour ajouter plus de douceur et de souplesse, elle est souvent mélangée à d'autres filtres synthétiques ou naturels. [9]



Fig.1.4. La laine de mouton [10]

Avec sa finesse et ses écailles plus petites, la laine Mérinos, n'est pas très volumineuse. Ses fibres plus fines la permettent d'avoir moins de boulochage et de rétrécissement. Le Mérinos est un meilleur régulateur de température. En effet, elle garde au chaud lorsqu'il fait froid, et lorsqu'il fait chaud, il rafraîchit. [9]



Fig1.5. La laine de mérions [11]

b) Laines de chèvre

D'une part, il y a la laine Alpaga et la laine Cachemire. On les ramasse sur le dos du mammifère éponyme qui existe en Amérique du Sud. Comparée aux autres types de laine, on trouve rarement ces types de laine, ainsi leur prix est assez élevé. L'animal ne peut produire que 2 à 3 kg par an. Légers, soyeux, résistants, ces fils raffinés sont surtout utilisés pour confectionner des costumes pour homme, des châles, des pompons et des écharpes. La laine Cachemire est considérée comme la plus luxueuse des laines. [9]



Fig.1.6. La laine de chèvre [12]

D'autre part, la laine Mohair est retirée à partir de la tonte de la chèvre Angora qui arbore une toison longue et frisée. Malgré sa manque d'élasticité et qu'elle peut gratter, elle ne feutre pas et est très agréablement moelleuse. Facile à teindre, la laine Mohair octroie aux habits tricotés une excellente tenue avec des mailles aérées. [9]



Fig.1.7. La laine de mohair [13]

c) Laine de Lapin et d'agneau

Par rapport à la laine de mouton, la laine d'agneau est plus douce. Deux choix s'offrent aux amoureux de la laine : la laine vierge d'agneau et le lambswool. La laine vierge est composée de fibres plus longues avec assez d'épaisseur et plus de résistance. [9]

La laine Angora est fabriquée à partir des poils longs et soyeux du lapin angora. Elle présente une fibre douce et très pelucheuse. Comme elle est récupérée par l'épilation au peigne ou avec une tonte, ce type de laine est moins aéré. Grâce à sa noblesse, elle brille et elle procure une chaleur remarquable aux pulls moelleux qui sont près du corps. Les fibres du lapin Angora sont un peu creuses. Cela dit, elles fournissent une parfaite isolation bien. Généralement, le prix de l'Angora est plus élevé que les autres variétés à cause de sa rareté. [9]



Fig.1.8. La laine de lapins agora [14]

1.1.6. Caractéristiques et généralités

La laine est une fibre naturelle obtenue à partir de chèvres et, principalement, de moutons, et d'autres animaux tels que les lamas, les alpagas, les guanacos, les vigognes ou les lapins, par un processus appelé cisaillement. Elle est utilisée dans l'industrie textile pour fabriquer des produits tels que des pulls, des couvertures, des gants, des chaussettes, des sacs, etc.

Les produits en laine sont principalement utilisés dans les régions froides parce que leur utilisation garde la chaleur du corps ; cela est dû à la nature de la fibre de ce matériau organique. [6]

- ✓ Les origines historiques de l'utilisation de la laine viennent du néolithique.

- ✓ La tonte des animaux domestiques est faite une fois par an, puis on attend que la laine repousse pendant douze mois et elle est à nouveau cisaillée l'été suivant. Le cisaillement, quelle que soit la technique ou la méthode utilisée, peut être fait à la main avec des ciseaux (cisaillement manuel) ou avec une cisaille (cisaillement mécanique), qui peut être fixe ou portable. [6]

Le grand nombre de races de moutons et l'influence variable des conditions de vie de l'animal agissent sur les caractéristiques de la laine. La classification de la laine est faite en tenant compte d'une série de caractéristiques, dont les plus importantes sont : finesse, longueur, régularité dans le degré de vrillage et d'uniformité, résistance et élongation, élasticité, flexibilité, couleur, brillance et performance. [6]

La production mondiale de laine lavée est d'environ 2 millions de tonnes, avec les principaux producteurs d'Australie, d'Argentine, de Chine, du Royaume-Uni, d'Union soviétique dissoute, de Nouvelle-Zélande, d'Afrique du Sud et d'Uruguay. [6]

Les laines les plus précieuses sont celles qui proviennent de moutons de trois à six ans. Un mouton produit une année de un à trois kilos de laine fine ou de deux à six kilos de laine épaisse, selon qu'il s'agit d'une race ou d'une autre. Les parties isolées de la toison montrent de grandes différences en termes de finesse et de propreté, selon la partie du corps dont elles proviennent. [6]

La classification de la toison a son importance, si l'on veut atteindre une certaine uniformité dans la filature. Les lapins, par exemple, qui produisent aussi de la laine, l'utilisent également pour couvrir le nid où ils vont pondre leurs petits et les garder au chaud. [6]

1.1.7. Propriétés de la laine

La laine est un matériau élastique, ignifuge et résilient.

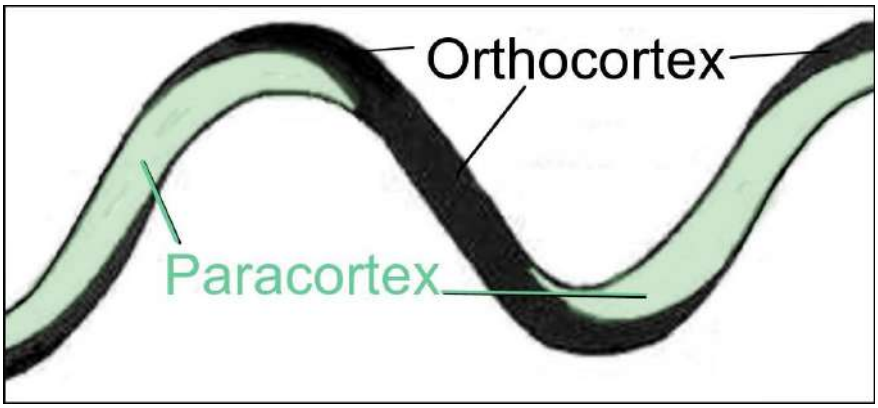


Fig.1.9. Propriétés de la laine [15]

1.1.7.1. Les propriétés physiques de la laine :

Les différents propriétés physiques de la laine sont : [6]

- **Résistance :** c'est la propriété qui permet à la laine de s'étirer en grande partie, avant de casser. Ceci est très important, du point de vue textile, étant donné que les processus d'industrialisation tels que le cardage, le peignage et le filage, exercent une pression considérable sur les fibres de laine qui doivent avoir une extensibilité suffisante pour être préservées intactes.
- **Élasticité :** cette propriété, intimement liée à la précédente, fait référence au fait que la laine retrouve sa longueur naturelle, après étirement, dans certaines limites, car il arrive un moment où, lorsque les liaisons chimiques se rompent, la laine Il ne retourne pas à sa longueur d'origine. L'élasticité de la laine est due à la structure hélicoïdale de ses molécules. Merci à cette propriété de récupérer l'extension, la laine a la capacité de conserver la forme des vêtements, et de maintenir l'élasticité des tapis.
- **Hygroscopicité :** toutes les fibres naturelles absorbent l'humidité de l'atmosphère et, parmi elles, la laine est celle qui en tire le meilleur parti ; la laine est hygroscopique, ce qui signifie qu'elle absorbe la vapeur d'eau dans une atmosphère humide et la perd dans une atmosphère sèche. La fibre de laine est capable d'absorber jusqu'à 50% de son poids dans les eaux de ruissellement.

- **Flexibilité :** est la propriété des fibres de laine, donc elles peuvent être pliées facilement, sans casser ou casser. Cette propriété est d'une grande importance pour l'industrie, à la fois dans le filage et le tissage, pour obtenir des tissus résistants.

1.1.7.2. Les propriétés chimiques de la laine :

Les différents propriétés chimiques de la laine sont : [6]

- **Effet des alcalis :** la protéine de la laine, appelée kératine, est particulièrement sensible aux dommages causés par les alcalis. Par exemple, des solutions d'hydroxyde de Sodium à 5%, à température ambiante, dissolvent la fibre de laine.
- **Effet des acides :** la laine résiste à l'action des acides doux ou dilués, mais les acides minéraux concentrés, tels que les acides sulfurique et nitrique, provoquent la division et la décomposition des fibres. Cependant, des solutions diluées d'acide sulfurique sont utilisées lors du processus industriel de la laine, pour carboniser la matière végétale adhérant aux fibres.
- **Effet des solvants organiques :** La plupart des solvants organiques couramment utilisés pour nettoyer et enlever les taches sur les tissus en laine sont sûrs, en ce sens qu'ils n'endommagent pas les fibres de laine.

1.1.7.3. Les propriétés biologiques de la laine :

Les différents propriétés biologiques de la laine : [6]

- **Microorganismes :** la laine a une certaine résistance aux bactéries et aux champignons ; Cependant, ces micro-organismes peuvent attaquer les taches qui apparaissent sur la laine. Si la laine est stockée dans une atmosphère humide, des champignons apparaissent, ce qui peut même détruire la fibre. D'autre part, les bactéries qui produisent des pourritures peuvent détruire la fibre, si la laine reste longtemps dans l'humidité et la poussière.
- **Insectes :** à partir du moment où la laine est une protéine, et qui peut donc être considérée comme un produit alimentaire modifié, elle constitue une source de nourriture pour différents types d'insectes. Les larves de la mite des vêtements et le scarabée des tapis sont les prédateurs les plus communs de la laine ; On estime que ces insectes endommagent plusieurs millions de kilos de laine chaque année. Plusieurs traitements ont été suggérés pour prévenir ces dommages ; tel est le cas de

la fumigation des tissus de laine avec des insecticides, ou de l'application de produits chimiques qui réagissent avec les molécules de laine et qui rendent la fibre non palpable pour les insectes. Un autre système consiste à mettre, au voisinage de la laine, des substances dégageant des odeurs nuisibles aux insectes.

1.1.8. Utilisation de la laine

On utilise la laine animale dans tous les domaines du textile : tricot, vêtements tissés, chaussants. Et bien sûr, on l'utilise aussi comme isolant pour les constructions du fait de son fort pouvoir d'isolation thermique. [16]

En plus d'être une matière première essentielle dans la production textile, la laine animale est un excellent isolant thermique et acoustique. Voici un détail de ses types d'utilisations dans le bâtiment. [16]

1.1.9. Traitements reçoivent les laines animales

Les laines animales sont naturellement écologiques car il s'agit de matériaux biosourcés, c'est-à-dire issus d'êtres vivants. Sachez néanmoins que, pour être utilisables en isolation thermique, ces matériaux reçoivent souvent un traitement en usine. [16]

Celui-ci concerne l'application de fongicides, d'agents ignifugeants, ou encore d'insecticides lors du processus de fabrication. Ces traitements permettent aux laines animales de résister aux champignons, insectes et aux flammes en cas d'incendie. [16]

D'autre part, ils peuvent être associés à d'autres matériaux, parfois synthétiques, comme le polyester par exemple, pour améliorer ses performances ou pallier à certaines faiblesses. Pour avoir le cœur net, référez-vous à la fiche technique du produit de votre choix. Vérifiez aussi la présence du label ACERMI, gage de qualité et de performance de l'isolant. [16]

1.1.10. Performances pour les laines animales

La laine animale possède une faible conductivité thermique, ce qui en fait un bon isolant thermique. Elle a un coefficient de conductivité thermique de l'ordre de 0,035 à 0,050 W m-1 K-1 et une masse volumique de 10 à 30 kg/m3. [16]

De plus, elle emprisonne environ 80 % d'air. Elle est également résistante aux flammes et n'émet aucune fumée toxique. [16]

Elle peut absorber jusqu'à 30 % de son poids en eau sans perdre ses qualités d'isolant. Cette propriété rend la laine animale très intéressante pour réguler naturellement l'hygrométrie des maisons. Enfin, elle est relativement étirable mais ne reprend que difficilement sa forme originelle. [16]

1.2. La laine de mouton

1.2.1. Histoire de la Laine de moutons

Les différents types de laine. Il existe de nombreuses espèces de moutons qui vont donner des différentes avec des caractéristiques variées. En fait la laine est une fibre complexe composée de Kératine qui peut être pluricellulaire et recouverte d'écailles. Selon la race, du mouton, la fibre peu changée et la forme des cellules peuvent être différentes. Par exemple, la Mérinos est constituée de deux types cellules, certaines sont fines et petites et les autres sons de taille plus importante. Une fois que ces fibres se mélangent elles donnent des ondulations ce qui caractérise la Mérinos. Celles-ci seront la laine la plus fine que l'on peut trouver chez les moutons. D'autres espèces produisent une laine moyenne de 125 à 300 mm de longueur, et d'autres auront une longue de 200 mm tels que les moutons anglais Leicester et Lincoln. [17]

1.2.2. Définition de la laine de mouton

La laine de mouton est un produit isolant issu de matières premières de nature et de qualité variables. La laine de mouton peut être brute ou manufacturée. Dans ce cas, on y ajoute jusqu'à 25 % de fibres synthétiques pour assurer la cohésion des panneaux ou rouleaux. Elle est utilisée pour l'isolation thermique comme pour l'isolation acoustique du bâtiment. [18]



Fig.1.10. La laine de mouton [19]

1.2.3. Isolation la laine de mouton

La laine de mouton possède d'excellentes propriétés d'isolation thermique et acoustique et de plus, il s'agit d'un matériau complètement naturel. Voici un aperçu des caractéristiques de laine de mouton et de ses applications en isolation. [20]

1.2.4. Caractéristiques de la laine de mouton

La laine de mouton est fabriquée en rouleaux, en panneaux semi-rigides ou en vrac ; elle peut être utilisée en isolation des bâtiments : combles perdus, rampants, sous-plancher, plafond et murs. [21]

La conductivité thermique varie de 0.039W/mK à 0.042W/mK et varie en fonction de l'humidité ; dans ce cas, le lambda utile est majoré de 0,005 W /m.K. Ce produit isolant étant issu de matières premières de qualité et de nature variables, la conductivité thermique ne peut pas être garantie (variation de plus à moins 10%) sauf dans le cas de produits certifiés (Acermi) ou sous Avis Technique, conformément au référentiel européen qui reprend pour ces produits les caractéristiques, unités, méthodes d'essais, etc. …des normes européennes des autres familles de produits isolants. [21]

Tout comme les isolants d'origine végétale, elle nécessite de l'ordre de 15% de liant sous forme de fibre polyester afin d'assurer la cohésion et la tenue du matelas. Ces isolants d'origine animale reçoivent des traitements complémentaires antifongique, insecticide, ignifugeant … Il convient donc de vérifier la composition exacte des produits isolants proposés. Lorsque ces produits isolants ne reçoivent pas de traitement, les risques de

croissance fongique, de développement d'insectes peuvent entraîner des pathologies du bâtiment. [21]

1.2.5. Utilisation de la laine de mouton

La laine de mouton est présentée sous forme de panneaux ou de rouleaux de 50 à 150 mm adaptés à de multiples applications. Elle est généralement conçue avec deux couches de laine présentant une structure différente : une couche plus épaisse résistante à la traction et une autre couche avec une structure ouverte filtrant l'air. [22]

- La laine de mouton pour isoler une maison à ossature bois.

L'utilisation de la laine de mouton se montre surtout intéressante pour l'isolation des maisons à ossature bois. En effet, ce matériau profite d'une résistance naturelle à l'humidité, ce qui permet de conserver la structure de la maison en bon état.

- La laine de mouton adaptée à différentes applications

Cet isolant naturel convient également à d'autres types de constructions. Il peut être utilisé pour :

- ✓ L'isolation des combles perdus (si vous souhaitez vous informer sur le prix de l'isolation des combles,
- ✓ L'isolation des murs,
- ✓ L'isolation des planchers,
- ✓ L'isolation sous rampant.

La laine de mouton comme isolant peut également servir comme remplissage des espaces creux entre les toits pour limiter les déperditions de chaleur au niveau de la toiture. Pour l'appliquer, il suffit de découper les rouleaux dans les dimensions voulues à l'aide d'un couteau électrique. [22]



Fig.1.11. Utilisation de la laine du mouton [23]

1.2.6. Avantages de la laine de mouton

L'isolation à la laine de mouton permet d'améliorer l'isolation thermique et phonique d'une habitation. En plus de limiter les pertes de chaleur, ce matériau isolant présente de nombreux avantages : [24]

- La laine de mouton est un matériau naturel feutré ou cardé pour être utilisé en isolation. Elle est également compo stable et peut être réutilisée.
- La laine de mouton est capable de réguler naturellement l'humidité et d'absorber jusqu'à 35 % de son poids en eau. Son utilisation permet alors de prévenir la formation de moisissure.
- La laine de mouton filtre l'air en absorbant les gaz nocifs comme le dioxyde d'azote et le radon.
- La laine de mouton est difficilement inflammable en cas d'incendie. Ces couches permettent de retarder la propagation des flammes.
- La laine de mouton est facile à travailler. Elle n'irrite pas la peau.

1.2.7. Limites de la laine de mouton

La laine de mouton possède alors de nombreux avantages. Avant de choisir ce matériau comme isolant, il est également nécessaire de s'informer sur ses inconvénients. La laine de mouton doit être traitée antimites à l'aide de produits comme des pesticides ou du sel de bore afin d'optimiser sa durée de vie. Sa qualité isolante varie grandement d'un fournisseur

à un autre. Cet isolant présente une faible inertie et régule mal la chaleur pendant les périodes estivales. Le prix élevé de la laine de mouton fait également partie des principaux inconvénients de ce matériau. Elle coûte plus cher que les autres isolants naturels comme la laine de bois. [24]

1.2.8. Applications

La laine de mouton peut être utilisée pour remplir les espaces creux entre les toits, les murs et les planchers. Elle filtre l'air, qui se déplace alors plus difficilement à ces endroits, d'où la bonne valeur d'isolation de la laine.

L'isolation à la laine de mouton est parfaite pour les maisons à ossature bois. La résistance naturelle à l'humidité permet de conserver la structure en bon état. [25]



Fig.1.12. Application de la laine de mouton [26]

1.2.9. Disponibilité et structure

Le matériau est disponible sous forme de rouleaux ou sous forme de panneaux avec des épaisseurs allant de 50 à 150 mm. Ils sont généralement composés de deux couches de laine qui ont une structure différente. La première couche possède une structure épaisse avec une grande résistance à la traction. Cette première couche est d'une couleur plus foncée. La deuxième couche possède une structure ouverte pour filtrer l'air, ce qui explique ses excellentes propriétés isolantes. [25]

1.3. Le Béton de sable

1.3.1. Introduction

Le besoin en granulats connaît, en Algérie, une croissance considérable en rapport avec les travaux de construction et de développement qui ont été lancés dans cette dernière décennie. Dans le sud d'Algérie, où les gros granulats sont peu disponibles et coûteux en raison de leur transportation d'autres régions, une exploitation rationnelle des agrégats dont disposent le pays et une valorisation des ressources existantes s'imposent : sable de dunes et sable alluvionnaire. [27]

Etant donné l'abondance de sable de dunes, particulièrement dans les déserts de Sahara qui occupe une grande partie du territoire Algérien **(Fig.1.13)**, l'idée de promouvoir sa valorisation dans la fabrication des bétons est d'une grande importance économique. En Algérie, l'intérêt à la valorisation du sable de dunes dans les bétons, notamment dans le béton de sable (BS) est apparu dans la fin des années 80.



Fig.1.13. Carte de déserts dans le monde. [27]

1.3.2. Historique des bétons de sable

Le béton de sable est un matériau ancien, utilisé bien antérieurement au béton traditionnel d'aujourd'hui. Il trouve ses origines au milieu du 19ème siècle, c'est à dire au début du développement du ciment armé. En 1853 l'ingénieur François COIGNET a conçu ce qu'il appelait le béton aggloméré. Il s'agissait, en effet d'un mélange sans caillou, de cendres de scories de charbon brûlé, de terre argileuse cuite et pilée, de chaux hydraulique naturelle et d'eau en faible quantité [30] Il construit pour sa famille une vaste maison à saint Denis (Nord de Paris France) entièrement édifié en béton aggloméré. En 1869, le phare de Port-Saïd en

Égypte de 52 mètres de hauteur fut construit en béton de sable de plage avoisinante et chaux importée de France. **(Fig. 1.14.)**.

Vers les années 1869 et 1872 un aqueduc de 40 km fut construit en béton aggloméré et sert à relier Fontainebleu à Orléans. Cette fois le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontainebleu et une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciment) et de 0,5 part d'eau ; ce qui correspond à un dosage en liant de 400 kg/m3 ; très proche du dosage du béton de sable que de celui des mortiers. [30]



Fig.1.14. Phare de port Saïd réalisé en Béton aggloméré Coignet (Egypte). [30]

François COIGNET exporta sa technique jusqu'aux USA et c'est à New York que son entreprise (New York and long Island Coignet stone compagny) construit vers les années 1871 et 1872 le pont de Brooklyn en blocs de béton aggloméré. En 1918 on note l'expérience très originale qui fut faite par Nicolas DE ROCHEFORT à Saint -Peters Bourg (Russie). Cette expérience consistait à broyer ensemble une part de sable avec une autre part égale en ciment. Ce produit de broyage était ensuite mélangé avec trois parts de sable. Les résistances obtenues par le mélange furent les mêmes que celles d'un mélange composé d'une part de ciment et 2 parts de sable. **(Figure.1.15)** montre l'illustration de

métro de Saint- Petersbourg. Voûte mince en béton de sable, préfabriquée, à double courbure.



Fig.1.15. Métro de Saint-Pétersbourg. [30]

A partir de l'année 1910, avec le développement du béton à gros granulats et le remplacement de la chaux par le ciment, le béton aggloméré, ancêtre du béton de sable tombait en désuétude, sauf l'union soviétique qui ne cessa de réaliser diverses constructions avec des bétons composés essentiellement de sable et d'un ou deux liants. Dans les années soixante-dix, notamment en France, on constatait que les sables provenant de concassage des roches massives sont excédentaires, alors les extractions de granulats dans les lits des fleuves et des rivières compromettent les équilibres écologiques avec des conséquences irréversibles. Dans ce contexte s'ouvre la réflexion sur la formulation des nouveaux bétons de sable qui utiliseraient les ressources peu exploitées, ou complètement abandonnées et présenteraient des caractéristiques comparables à celles des bétons traditionnels. A partir des années quatrevingt, après le succès des premières applications de ce béton à l'initiative du laboratoire régional des ponts et chaussées de Bordeaux, et qui ont trouvé un écho auprès des autres organismes, que le béton de sable retrouve son grand intérêt au stade où on a enregistré un projet national appelé SABLOCRETE [30], pour la promotion et le développement de ce matériau. Mais promouvoir le développement de l'usage courant des bétons de sable nécessite de regrouper les initiatives et d'élaborer un solide programme de travail permettant d'enrichir les connaissances sur le matériau, son comportement et ses modes de mise en œuvre. Dans les dernières décennies, et vu l'insuffisance des résultats de

son comportement mécanique, le béton de sable a fait l'objet de plusieurs recherches. Plusieurs entreprises et laboratoires, dans différents pays, ont lancé des programmes de recherches sur ce matériau comme par exemple : CNERIB et ENPA en Algérie, CEBTP et LRPC en France, Des laboratoires en URSS. Au début, les recherches se limitèrent à un béton de sable ordinaire sans aucune correction granulaire et sans adjuvants, puis elles s'étendent à la recherche d'une meilleure correction granulaire du sable dans sa partie fine par l'utilisation de filler (généralement calcaire) et à l'utilisation des adjuvants (plastifiant, réducteur d'eau). Plusieurs compositions de base ont été données, mais pour des matériaux bien déterminés. D'autres études ont essayé d'approfondir le sujet (retrait, fluage, adhérence aux armatures) mais les résultats obtenus restent toujours insuffisants.

1.3.3. Définition

Selon la norme française NF P 18-500 [29], le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le BS comporte habituellement un (ou plusieurs) adjuvant.

Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange. L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation « béton de sable » tant que le rapport massique G/S reste inférieur à 0,7 (G = gravillon ; S = sable) : on parle alors de béton de sable chargé **(Fig. 1.16.).**

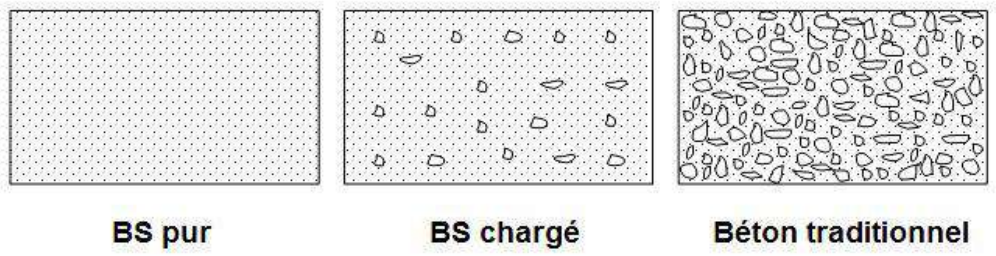


Fig.1.16. Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel. [30]

On peut admettre l'emploi d'un granulat à granulométrie continue de 0 mm à un maximum de 8 mm tant que le rapport pondéral entre les éléments supérieurs à 4 mm et les éléments inférieurs à 4 mm reste également inférieur à 0,7. [29]

1.3.4. Spécificité du béton de sable

Le béton de sable se distingue d'un béton traditionnel par un fort dosage en sable(s), l'absence ou le faible dosage de gravillons et l'incorporation d'addition(s). [29]
Le béton de sable se distingue d'un mortier par sa composition, le mortier est en général fortement dosé en ciment et ne comporte pas systématiquement d'addition, et surtout par la destination : les bétons de sable sont essentiellement destinés aux usages traditionnels du béton. [29]

1.3.5. Les composants du béton de sable

Le béton de sable est un béton constitué principalement de sable, de ciment, d'eau et de fines d'ajouts. D'autres ajouts (fibres, adjuvants, … etc.) peuvent être ajoutés à cette composition de base selon les besoins d'usage. La compacité optimale du béton de sable est liée directement à la teneur en fines du ciment et du sable utilisé. [30]

1.3.5.1. Les Sables

Dans le sens le plus courant, on entend par "sable" les éléments de dimensions 0 à 5 mm, non compris les fillers. La propreté du sable est une restriction exigée pour réaliser un béton de sable. Par contre, aucun critère granulaire n'est exigé pour faire un béton de sable et sur la base ont peut utiliser aussi bien un sable fin (type de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou même de type concassé. Les sables se différencient par un grand nombre de paramètres et on peut distinguer deux types de sables : Les sables naturels et ceux issus d'une chaîne d'élaboration (artificiels). La résistance du béton de sable dépend de la granulométrie du sable utilisé et de ses fines. Plus le sable est riche en fines naturelles, plus il absorbe de l'eau et automatiquement le béton perd en résistance. [30]

- **Classification des sables selon leurs provenances**

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.

- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

1.3.5.2. Les sables issus d'une chaîne d'élaboration

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats et peuvent être soit :

- ✓ Des sables roulés de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant ;
- ✓ Des sables de concassage qui sont très souvent l'excèdent de la production d'une carrière ou d'une ballastière, ces derniers sont de plus en plus utilisés en technique routière.

1.3.6. Les fines d'ajout (ou addition)

Les fines d'ajout (fillers) sont des matières minérales, naturelles ou artificielles, qui agissent par leur granulométrie (D<0.08 mm) sur la compacité du béton de sable. Ils sont utilisés pour combler les vides et augmenter la compacité du béton. Leur utilisation réduit donc le besoin en ciment qui est très coûteux. Selon leur nature et leur finesse, les fillers améliorent la maniabilité et la résistance du béton. La différence entre le béton classique et le béton de sable réside principalement dans la granulométrie différente des granulats utilisés. Dans le cas d'un béton classique, les macros vides créées par les éléments les plus gros qui sont les gravillons (10 à 20 mm) se remplissent par des sables et les vides du sable par des fines du obtenir la bonne compacité du béton. Cette concordance entre le besoin en fines et le dosage en ciment est interprétée par la règle suivante donnant le dosage minimum en ciment (C) en fonction du diamètre (D) du granulat employé. Le tableau 1.1 suivant récapitule la relation entre la granulométrie et le dosage en ciment d'un béton ou d'un mortier. [30]

C =550/ 5 D **ou** **C =700/ 5 D**……. (Selon l'usage du béton)

Tableau 1.1. Relation entre la granulométrie et le dosage en ciment.

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	$550/\sqrt[5]{D}$	$700/\sqrt[5]{D}$	
0/25	1.904	290	370	
0/20	1.821	300	385	
0/16	1.741	315	400	BETON
0/8	1.516	360	460	
0/6.3	1.445	380	480	
0/4	1.320	415	530	
0/2	1.149	480	610	MORTIER
0/1	1.000	550	700	

1 .3.6.1. Laitier

Ce sont des résidus minéraux résultant du refroidissement rapide des scories provenant de la fusion de minerais de fer en haut fourneau. Ce sont des combinaisons d'oxydes de calcium (CaO), de silicium (SiO2) et de magnésium(MgO). Les ciments en laitier offrent une meilleure résistance chimique aux environnements agressifs (eau sulfatées, milieu marin) et permettent l'obtention d'une bonne durabilité du béton. Il existe deux types de laitiers :

- Le laitier granulé : sable friable de couleur claire utilisé souvent comme liant hydraulique ;
- Le laitier solidifié à l'air libre : se présente sous forme de roches prêtes au

concassage à la granulométrie voulue. Ce laitier est employé comme granulats dans les chaussées.

1.3.6.2. Cendres volantes

Ce sont des produits pulvérulents provenant du dépoussiérage électrostatique ou mécanique des gaz brûlés des chaudières industrielles alimentées en charbon pulvérisé. Essentiellement siliceuses, parfois calciques, elles ont des propriétés hydrauliques et/ou pouzzolaniques.

1.3.7. Les ciments

Comme pour le béton classique, le ciment utilisé pour la confection d'un béton de sable est conforme à la norme NF P 15-301. Le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu…et, d'une façon plus générale, de la composition du béton et de l'usage auquel on le destine. [30]

1.3.8. L'eau

A cause de la grande surface spécifique des grains, le béton de sable nécessite plus d'eau qu'un béton ordinaire. En plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau

apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables sont nécessaires pour l'eau efficace. [30]

1.3.9. Adjuvants

Les adjuvants sont des agents chimiques qui sont ajoutés en petites quantités pour modifier certaines propriétés du béton comme la rhéologie, la durabilité et les propriétés mécaniques. Il existe beaucoup de types d'adjuvant, on les définit d'après leur action principale, même s'ils ont plusieurs actions secondaires.

On utilise dans les bétons de sable les mêmes adjuvants que dans les bétons traditionnels, et pour en exploiter les mêmes propriétés. La spécificité du béton de sable privilégie toutefois l'usage du plastifiants ou superplastifiant : ils améliorent la maniabilité, le plus souvent avec augmentation de résistance par suite d'une diminution de la teneur en eau et de la défloculation des éléments fins. On se contentera à expliquer ceux qui on été utilisés dans cette étude. Les adjuvants employés devront par ailleurs être conformes à la norme NF P 18-103. [30]

1.3.10. Autres ajouts

1.3.10.1. Les fibres

Les fibres sont utilisées comme renfort au sein d'une matrice afin de contribuer à l'amélioration de la résistance à la traction et pour diminuer le phénomène du retrait au jeune âge. Pour limiter les effets de retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte dans le béton de sable, les fibres organiques (polyester, polypropylène…etc.) sont utilisés dans la plus part des cas. Les fibres d'acier ou de fonte amorphe sont généralement utilisées pour améliorer la ductilité du béton de sable. [30]

1.3.11. Les gravillons

On considère qu'un béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa domination de béton de sable d'une façon pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massique G/S (gravillons sur sable) reste inférieur à 0,70 (G/S< 0,70). [30]

1.3.12. Les colorants

Les colorants habituellement utilisés dans les bétons traditionnels peuvent également être employés pour certains usages de bétons de sable : ils nécessitent toutefois un soin particulier dans l'homogénéisation et une formulation appropriée du béton de sable pour conserver une stabilité de la teinte au cours du temps. [30]

1.3.13. Techniques particulières

Les applications citées précédemment, ont privilégié dans certains cas l'utilisation des BS par rapport aux bétons traditionnels. Dans certaines techniques de mises en oeuvre, l'utilisation du BS répond parfaitement à la solution de quelques problèmes, qui restent à nos jours, mal résolus par le béton traditionnel. C'est le cas des techniques de projection de béton et de bétons fluides.

1.3.13.1. Béton de sable projeté

La technique de la projection de béton est apparue au début de vingtième siècle aux Etats-Unis et en France. Le domaine d'application de la projection de béton comprend la réparation et les renforcements des ouvrages en béton et en maçonnerie ainsi que les constructions de formes complexes. [30]

La projection de BS est une technique intéressante spécialement dans le cas des réhabilitations des structures d'ouvrages souterraines la figure.1.17 ci-dessous. Par sa finesse granulométrique, le BS représente une alternative aux bétons traditionnels, particulièrement dans le cas de présence des ferraillages denses. Le faible taux de perte liée à l'utilisation de BS 20 projeté, sa granulométrie fine et donc sa pompabilité en fait du BS projeté une solution adaptée à des problèmes mal résolus par les bétons traditionnels. [30]

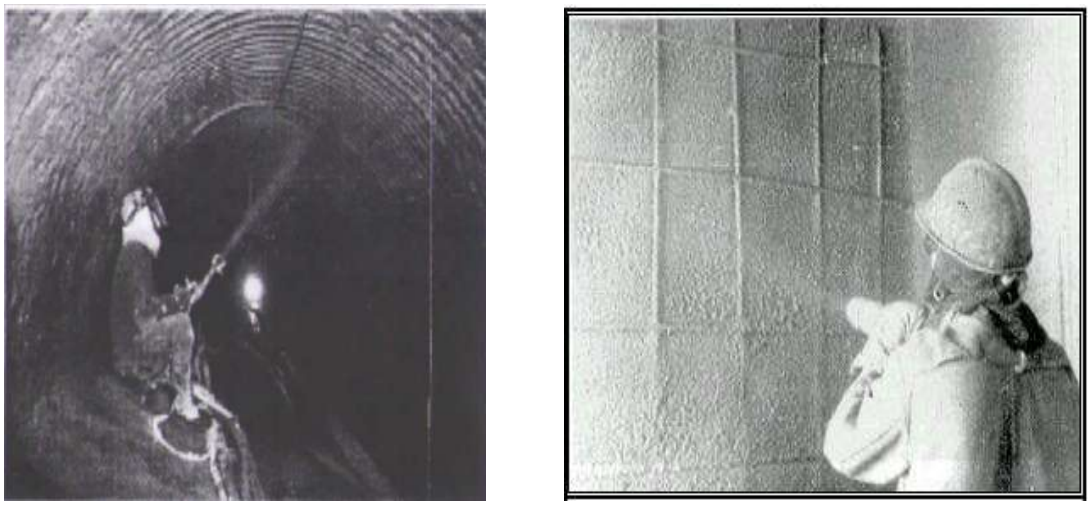


Fig.1.17. Le béton de sable en projection. [30]

1.3.13.2. Bétons de sable fluides

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : l'absence de vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes. Le concept du BS s'adapte

parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation [31].

La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants superplastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité. Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.

Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous-œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux,

la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants :

- Rapidité et simplicité d'exécution ;
- Limitation des moyens en personnel et en matériels ;
- Nuisances réduites (absence de vibration).

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS.

Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspectenvironnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

- Risques de ségrégation préjudiciables ;
- Forte densité de ferraillages ;
- Recherche d'un produit fini.

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en fluidifiants et additions que les bétons traditionnels, pour avoir des performances identiques. [31]

Indépendamment à l'aspect économique et aux gains de productivité, le BS fluidifié peut être une meilleure adaptation aux plusieurs applications mal assurées par les bétons traditionnels.



Fig.1.18. Dallage en BS fluidifié autocompactant (Base aérien de Dijon). [30]

1.4. Intérêts et limites des bétons de sable

1.4.1. Intérêt des bétons de sable

Dans de nombreux usages, le béton ne nécessite pas un niveau très élevé de résistance. Cependant il exige, parfois, des caractéristiques qui peuvent être mieux assurées par le béton de sable. Parmi ces caractéristiques :

- ✓ **La maniabilité :** Le béton de sable étant très maniable, sa mise en œuvre, sa capacité à remplir des moules avec une énergie de serrage moindre et sans préjudice pour les autres propriétés de matériau, constituent un atout significatif.
- ✓ **La cohésion et l'absence de ségrégation :** La variation entre les dimensions des gains n'étant pas trop importante, ce matériau présente une assez bonne cohésion, faible ressuage et surtout une absence totale du problème de ségrégation.
- ✓ **La petite granulométrie et la faible dimension des grains :** le matériau serait utile dans les travaux d'injection, dans la mise en œuvre des structures à fortes densités de ferraillage, ainsi que dans les travaux de rénovation de structures.
- ✓ **Le transport :** Le transport du béton de sable du lieu de production au lieu d'utilisation s'effectue par les mêmes moyens que les bétons classiques, bien que les

bétons de sable soient généralement plus plastiques et les risques de ségrégation pendant le transport faible ce qui permet son transport à des distances lointaines.

- ✓ **L'aspect de surface :** La granulométrie continue et serrée des bétons de sable permet la réalisation des effets architectoniques très esthétiques, soit sur la forme des éléments, ou bien sur l'aspect de surface. Cet aspect est un souci de plus en plus recherché pour toutes les constructions.

En plus de ces caractéristiques, le béton de sable possède un autre intérêt plus important pour les régions du sud algérien et qui consiste à utiliser les sables qui se trouvent en abondance dans ces régions, ce qui conduit à des économies certaines.

1.4.2. Limites des bétons de sable

A l'heure actuelle, les connaissances sur le béton de sable ne permettent pas un remplacement systématique du béton classique, soit pour des raisons économiques, soit pour des raisons techniques. [32]

- Raisons économiques : l'expérience a montré que, par l'utilisation des ajouts, on peut augmenter d'une façon considérable la résistance d'un béton de sable. Toutefois, la multiplication des ajouts ou l'augmentation du dosage en ciment ne sont pas sans incidence sur le coût. Dans la mesure où ce béton n'apporte pas "un plus" dans l'usage envisagé, il est donc inutile de chercher des performances supérieures. Tout sera donc fonction du contexte local en matière de granulats et de l'usage envisagé. En ce qui concerne notre pays il existe des déchets de carrière de concassage à partir desquels nous pouvons tirer des fillers. Il existe également des fillers naturels dans certaines régions, notamment dans le sud du pays.

- Raisons techniques : On n'a que peu de connaissances sur les caractéristiques et le comportement du béton de sable, comme le retrait, le fluage et la durabilité, ce qui exclut, peut être, ce matériau des éléments fortement sollicités ou précontraints.

1.5. Méthodes de formulation des bétons de sable

Dans la formulation des bétons traditionnels, on cherche généralement d'obtenir les propriétés essentielles : l'ouvrabilité et la résistance mécanique, à partir d'une combinaison de leurs constituants (sable, gravillon, ciment et eau). Dans ce cas, il existe plusieurs méthodes de formulation permettant de viser ces propriétés, en se fixant généralement la taille des plus gros granulats sur la base de considérations technologiques. [30]

Dans le cas du BS (caractérisés par sa granulométrie fine), l'application directe des méthodes de formulation adaptées aux bétons traditionnels conduit généralement à des dosages très

élevés en ciment. A cet effet, les pâtes de ces bétons contiennent toujours, en supplément du ciment et de l'eau, des ajouts et des adjuvants, afin de minimiser le dosage de ciment.

- ✓ **Deux types d'approches de formulation sont présentées :** une approche théorique, basée essentiellement sur l'optimisation de la compacité du BS en partant de la relation de Caquot et une méthode expérimentale, basée sur la réalisation de gâchées.

1.5.1. Approche théorique de la formulation des bétons de sable

Les agrégats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, puis joue le rôle d'une colle liant les agrégats et donnant une certaine durabilité au matériau durci.

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée. Caquot [29] a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/Dmax).

$$V=V0\ (\frac{d}{D})^{1/5} \quad \text{.....(Equation 2.1)}$$

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

V0 : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;

Dmax : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

Cette formule a innové le domaine de formulation des bétons et elle est à la base de nombreuses méthodes utilisées telles que l'approche de Faury, Bolomey, Dreux, etc. Elle trouve aussi son application aux bétons de sable pour la détermination des différents dosages des constituants, tout en faisant quelques adaptations à ce cas précis.

1.5.1.1. Dosage en fines d'un béton de sable

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions :

1. Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 mm et qui sont le ciment, les fines d'ajout et une fraction du sable.

2. Toute l'étendue du sable comprise entre 80m m et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm provenant des fines d'ajout.

En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80m m et l'étendue du sable compris entre 80 m m et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot :

$$Ps = V = 0.75\ (0.08/D)^{1/5} \quad \text{(Equation 1.2)}$$

Ps(V) : Porosité du sable d'étendue 80m m et Dmax

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (V0) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7÷0.8).

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée

Inférieurement par la coupure 80m m, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines 106

En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter granulaires. En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80m m) et le volume des vides associé a l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

Il suffit de combiner les deux résultats précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale résiduelle.

$$[\text{Fines}] = 0.38\ (0.08/D_{max})^{1/5} \quad \text{(Equation 1.3)}$$

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en fines augmente **(Fig.1.19)**.

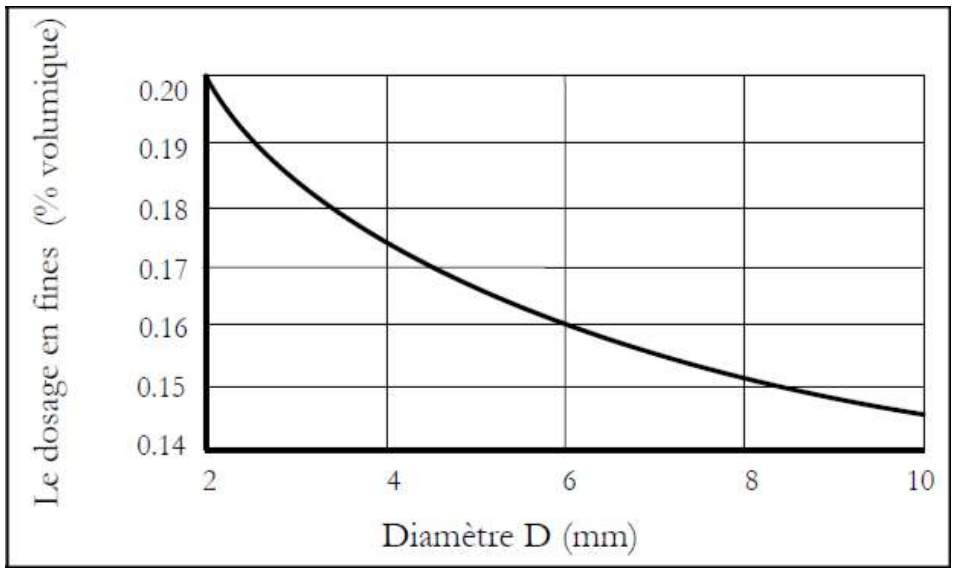


Fig.1.19. Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines. [28]

1.5.1.2. Dosage en eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v.

$$(e + v)_{min} = 0.8\ (d/D_{max})^{1/5} \quad \text{.....(Equation 1.4)}$$

Cette formule exige la connaissance de la plus petite dimension de l'étendue granulaire du mélange (d). L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange totalement dé floculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la formule suivante :

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \quad \text{.....(Equation 1.5)}$$

Avec :

f : surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm3.

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés : la dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 mm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale comme la figure.1.20 ci-dessous nous montre :

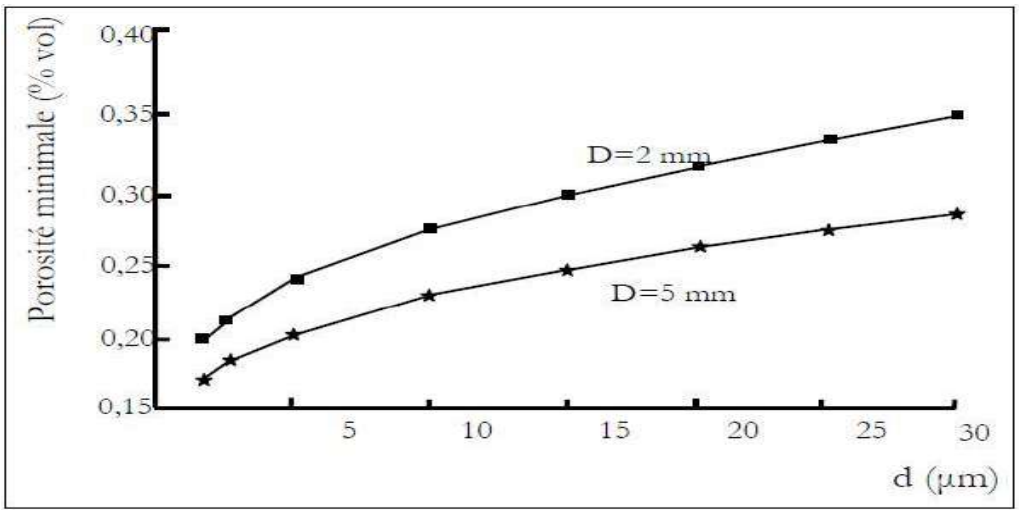


Fig.1.20. Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles du sable. [28]

On remarque que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v).

En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ; **la (Fig 1.21.)** Nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

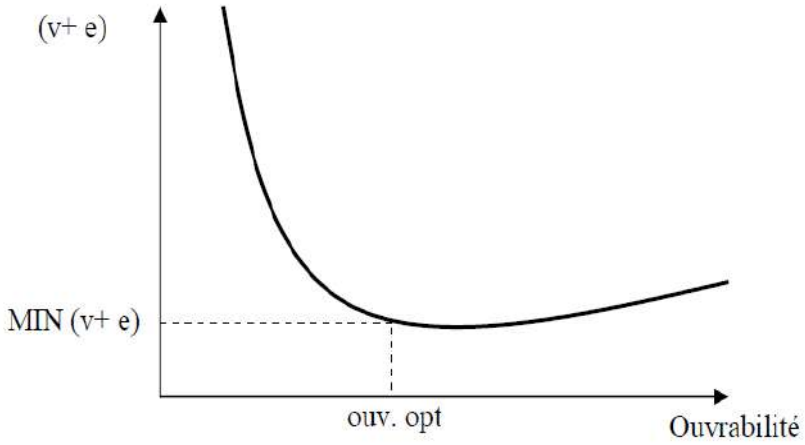


Fig.1.21. Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée. [28]

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piègera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à (e+v) min, alors

pour des quantités d'eau supérieures à celle qui donne l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire.

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée.

Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

[Vides] = K [eau] …… (Equation 1.6)

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

1.5.1.3. Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, ($1m^3$), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide).

[Sable]=1000-[fines]-[eau]-[vide] (l/m^3).

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille supérieure à 80mm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition.

1.5.1.4. Estimation de la résistance en compression

Après avoir optimisé la compacité et déterminé les différentes proportions des constituants, il est jugé nécessaire d'évaluer la résistance à la compression de ce mélange. Pour ce faire, comme tous les autres mélanges à base de ciment, les méthodes classiques sont adaptées. Ces méthodes faisant intervenir la contribution de tous les paramètres influant sur la résistance : le squelette granulaire, la nature des liants, et les dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{Kf \times Rc}{\left(1 + \frac{3.1(e+v)}{c(1+K_1+K_2)}\right)^2} \quad \text{……. (Equation 1.7)}$$

Avec :

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

Rc : classe vraie du ciment (MPa) ;

E : dosage en eau total (l/m^3) ;

V : air piégé (l/m^3) ;

C : dosage en ciment (kg/m^3) ;

Rb : résistance à la compression du béton à 28 jours (MPa).

Avec :

K1 = Kcv (CV/C) +Kfs (FS/C) ;

0.2< Kcv<0.4 2< Kfs<3.3 K1 £ 0.5

K2= Kfil (Fil/C);

0< Kfil £ 0.4 K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire. **(Voir fig.1.22.)**

Kcv, Kfs, Kfill : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m^3).

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente [], alors que d'autres paramètres pourraient influer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. Cette activité pour chaque type de filler présente un optimum au-delà duquel elle ne développe plus des performances mécaniques.

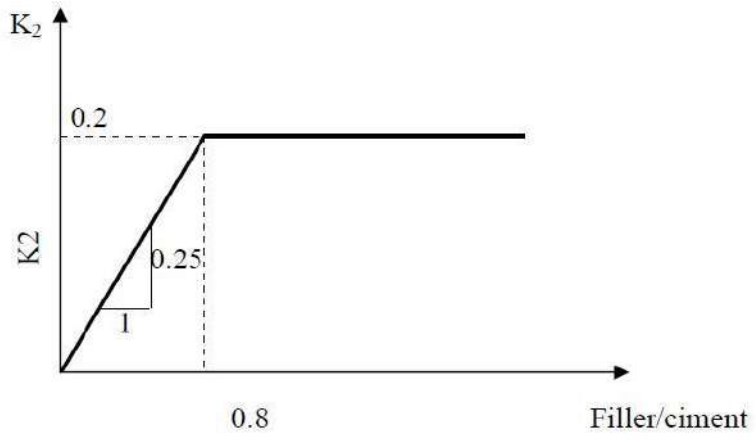


Fig.1.22. Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle). [28]

Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, tonte fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité regroupant les fines d'addition et le ciment, alors que l'optimum de la résistance s'obtient en se fixant Sur la base de la remarque de l'activité des fillers, un autre paramètre s'ajoute pour le dosage en fines, tonte fois le dosage en fines est estimé en terme de compacité regroupant les fines d'addition et le ciment, alors que l'optimum de la résistance s'obtient en se fixant le rapport des dosages en fines d'addition-ciment au maximum d'activité. Le problème revient à résoudre le système de deux équations simples

. Dosage en ciment + dosage en fines d'ajout = dosage en fines.

· Dosage en fines d'ajout / dosage en ciment = optimum d'activité.

Il en résulte de tout ce qui précède que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité au formulateur de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable.

Tout de même elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour ça que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme ou l'ajuste.

La figure.1.23. suivante résume les différentes étapes possibles d'un organigramme utilisé pour l'estimation de la résistance à la compression du béton de sable. [30]

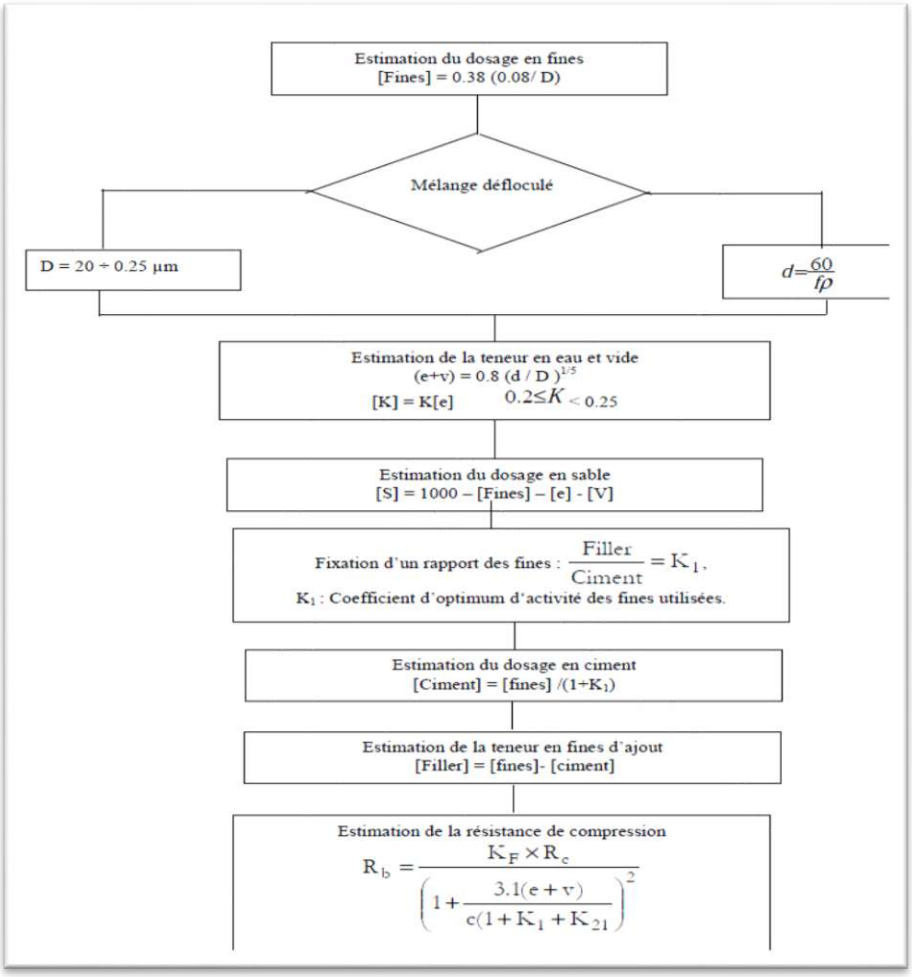


Fig.1.23. Organigramme de la méthode théorique pour l'estimation de la résistance à la compression du béton de sable. [30]

1.5.2. Méthode expérimentale de formulation

La méthode expérimentale, doit permettre de formuler un béton de sable mais son but n'est pas d'expliquer ou de formaliser les phénomènes qui entrent en jeu dans la formulation des bétons.

D'autres méthodes expérimentales existent, elles peuvent différer en fonction des approches théoriques et des habitudes de travail, toutefois, l'objectif reste le même : formuler un béton qui soit le plus compact possible, et par conséquent de bonnes performances.

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum. Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au maniabilimètre à mortier LCL, et de la masse volumique apparente.

Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné pleine satisfaction. [28]

1.5.2.1. Les différentes étapes de la formulation

1) Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

Dans cette partie de la méthode, nous chercherons à déterminer une formule de un mètre cube, constituée de ciment, d'eau, de sable et d'adjuvants, ayant une maniabilité adéquate.

A. Dosage en ciment

Les prescriptions contractuelles ou normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction du type d'ouvrage ou bien de l'agressivité du milieu. On choisit donc de travailler avec un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude, on le note C (Kg/m^3).

B. Dosage en eau

A ce stade de la méthode, une valeur approximative du dosage en eau, E (l/m^3), suffit. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 220 litres d'eau pour 350 Kg de ciment, et 250 litres pour 400 Kg de ciment.

C. Détermination du dosage en sable

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines. D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, Vair, la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton.

Les quantités de ciment, d'eau, d'adjuvant et d'air sont connues, nous devons donc compléter la formule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton; on aboutit à la relation suivante :

$$V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000 \text{ (En litres)}. \quad \text{(Equation 1.8)}$$

Connaissant la masse volumique absolue du sable, on peut déduire la masse nécessaire pour la formulation d'un mètre cube du béton de sable.

$$Msable = MVA * Vsable \quad \text{(Equation 1.9)}$$

Msable : masse nécessaire pour 1 m3 du béton de sable.

MVA sable : masse volumique absolue du sable.

V sable : volume du sable. Après détermination des différentes proportions des constituants, cette formulation permet de calculer la masse volumique apparente théorique (MVAT) en sommant l'ensemble des masses ainsi calculées pour le volume unitaire
(1 m^3).

$$MVAT = m_{ciment} + m_{eau} + m_{adj} + m_{sable} \ldots\ldots\ldots\ldots \text{(Equation1.10)}$$

D. Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule

Le mélange obtenu selon les formules précédentes doit répondre aux objectifs fixés et qui se résument dans les deux critères essentiels :

- La masse volumique apparente réelle doit être égale à la masse volumique apparente théorique calculée par la formule (1)
- La maniabilité du mélange sera comprise entre 7 et 10 s selon le maniabilimètre LCPC.

L'objectif est d'obtenir une formule de un mètre cube (c'est-à-dire faire tendre la masse volumique apparente théorique (MVAT) vers la masse volumique apparente réelle (MVAR)) et le temps d'écoulement de 7 à10 S.

La formule du béton doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante (correction sur le sable).

$$S_i = S_{i-1}(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) + V * MVA_{sable} \ldots\ldots\ldots \text{(Equation 1.11)}$$

Où

S_i : dosage en sable après correction

S_{i-1} : dosage en sable avant correction MVAT, MVAR : les masses volumiques du béton théorique et réel

MV sable : masse volumique absolue du sable

V : le volume d'eau à rajouter ou à retrancher selon l'écoulement.

Il sera rajouté si 1'écoulement au maniabilimètre est supérieur à 10s (-V dans la formule précédente n° 2). Il sera retranché si 1'écoulement au maniabilimètre est inférieur à 7s (+V dans la formule n° 2) Après chaque correction la masse volumique théorique sera comparée à la masse volumique réelle. En ajustant le dosage en eau et en sable conformément à ce principe, le dosage en eau devient définitif et le temps d'écoulement est alors compris entre 7 et 10 s, et la formule fait le mètre cube du béton de sable.

2) Détermination du dosage en fines d'addition

Il faut maintenant introduire dans le béton les fines d'addition et en définir le dosage optimal à rapport E/C constant. Pour cela, il est nécessaire de réaliser des gâchées de béton de sable avec 5 à 6 dosages en fines dans la plage d'emploi usuelle de ces fines.

L'incorporation des fines doit permettre d'augmenter la compacité du béton, en remplissant les vides.

Notre objectif, est d'obtenir une formule de un mètre cube dans laquelle la masse volumique apparente théorique tend vers la masse volumique apparente réelle, et un temps d'écoulement adéquat.

Pour chaque gâchée, on détermine la maniabilité ainsi que la masse volumique apparente réelle (MVAR) que l'on compare à la masse volumique apparente théorique (MVAT) de la formule. Si besoin, la correction sur le sable s'effectue à l'aide de la formule suivante :

$$S_i = S_{i-1}-(MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \quad \text{…… (Equation 1.12)}$$

Comme exemple pratique sur cette méthode de formulation, une étude de formulation de béton de sable effectuée au LRPC de Bordeaux.

Dans cette étude, trois différentes fines d'addition ont été utilisées :

-Fine d'addition N° 1 : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180Kg/m^3 de fines. **(Fig. 1.24 et 1.25)**

- **Fine d'addition N° 2 :** Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m3) il n'y pas d'optimum de maniabilité et masse volumique, l'optimum doit exister pour des dosages supérieurs.
- **Fine d'addition N° 3 :** Son optimum de maniabilité et de masse volumique est compris entre 60 et 90 Kg/m3de fines.

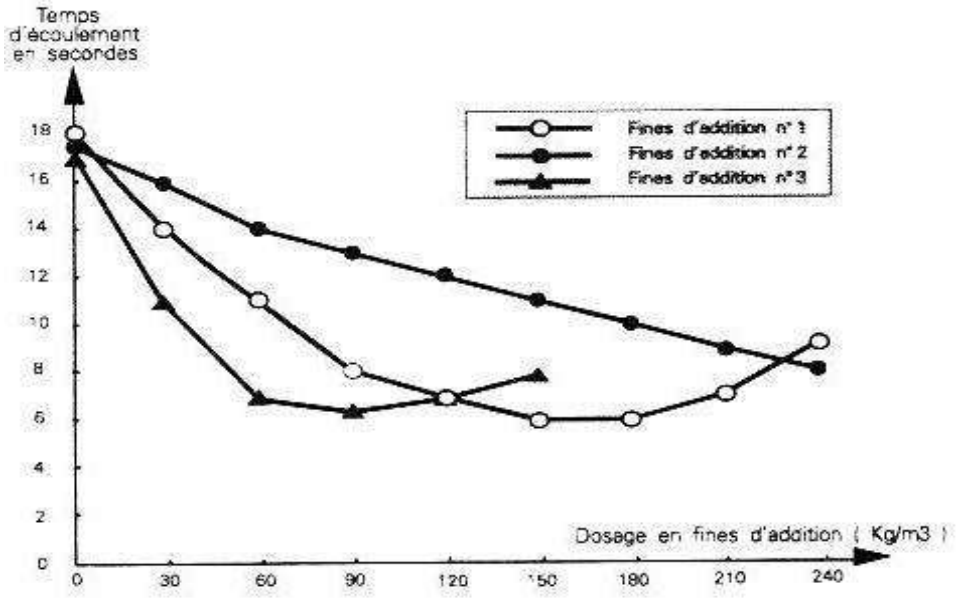


Fig.1.24. Evolution de la maniabilité en fonction du dosage en fines d'addition. [28]

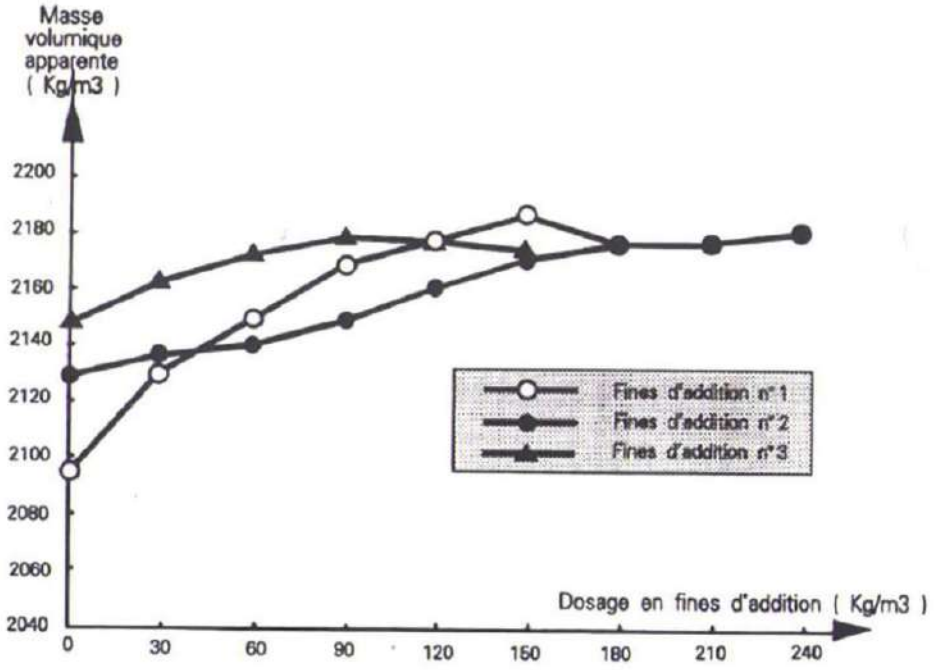


Fig.1.25. Masse volumique apparente en fonction du dosage en fines d'addition. [28]

1.5.3. Influence de déchet de la laine du mouton sur les propriétés des matériaux cimentaires

Plusieurs études ont été faites sur l'étude de l'effet de l'incorporation de la laine du mouton sur le comportement des matériaux cimentaire à l'état frais et durci.

1.5.3.1. Etats frais

- **La maniabilité**

Alyousef et al [33] ont étudié l'influence d'incorporation de 0.5% ,1% et 1,5% de la laine du mouton sur les caractéristiques de béton. Ils ont constaté que ^plus le pourcentage de la laine du mouton augmente plus la maniabilité du béton est diminué, ce qui confirme les résultats trouvé par Alyousef et al [34] **(Fig.1.26)**.



Fig.1.26. Ouvrabilité de béton à base de la laine du mouton [34]

- **Résistance à la compression**

Alyousef et al [33] ont étudié l'influence de l'ajout de 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 3%, 4% et 6% de la laine du mouton sur la résistance à la compression du béton ordinaire aux différents âges (7,14 et 28 jours) . Ils ont constaté que plus le pourcentage de l'ajout de la laine augmente plus la résistance à la compression est diminué **(la Figure.1.27)** ce qui confire les résultats de Valenza et al [35] **(Fig.1.28)** et Alyousef et al **(Fig.1.29)** [34].

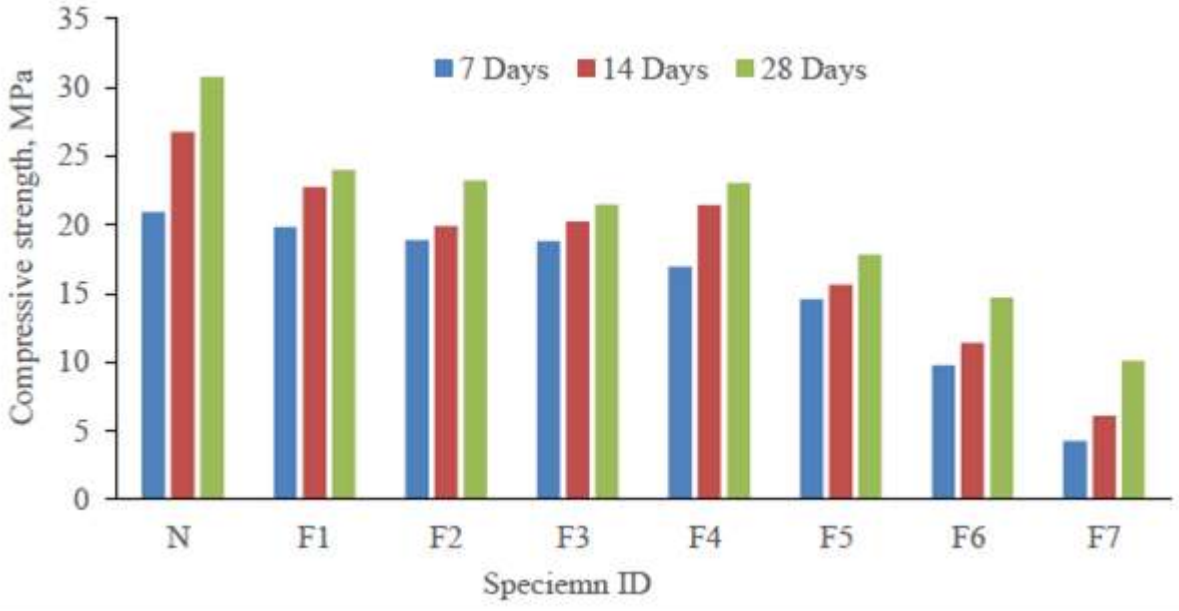


Fig.1.27. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton [34]

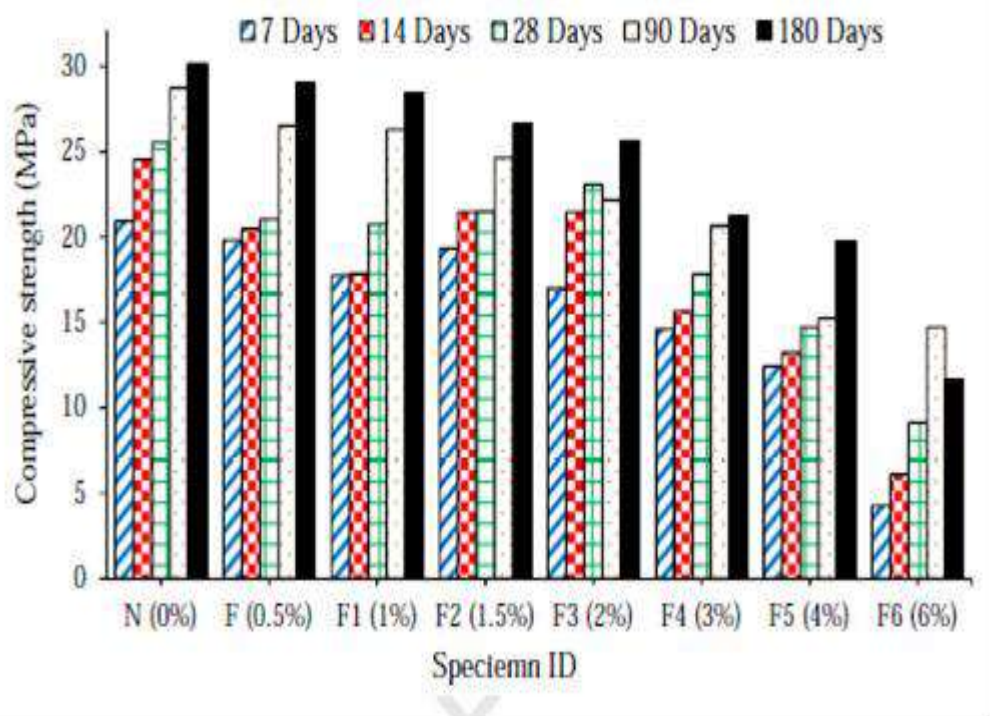


Fig.1.28. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton [34]

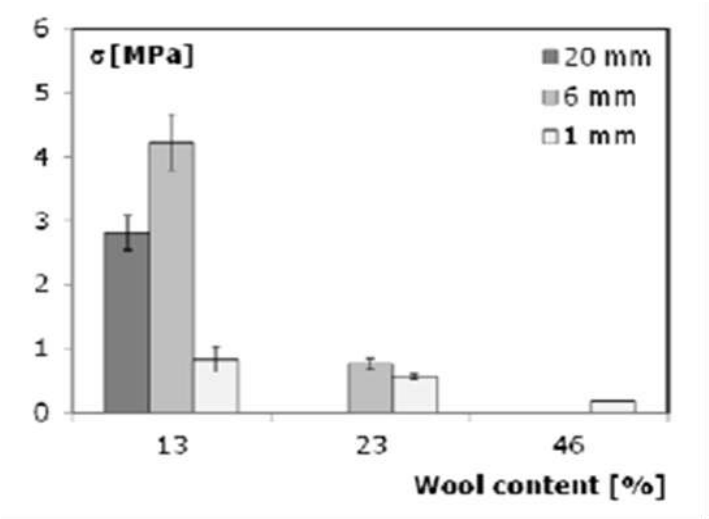


Fig.1.29. La résistance à la compression de béton à base de la laine du mouton [34]

- **La résistance à la traction par flexion**

De la même façon que la résistance à la compression, Alyousef et al [33] nt étudié l'influence de l'ajout de 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 3%, 4% et 6% de la laine du mouton sur la résistance à la traction par flexion de béton. Ils ont trouvé que la résistance à la traction par flexion est améliorée en fonction d'ajout de 1,5%, 2% et 3% de la laine du mouton **(Fig.1.30)**.

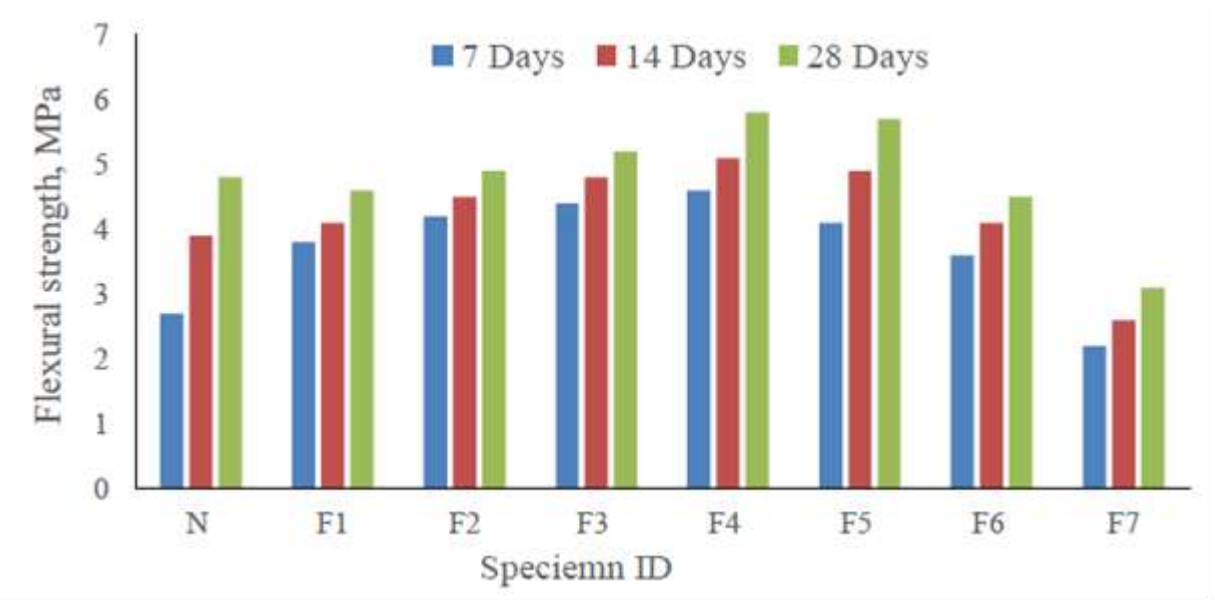


Fig.1.30. La résistance à la traction par flexion de béton à base de la laine du mouton [34]

- **Conductivité thermique**

Valenza et al [35] ont étudié l'effet d'ajout de la laine du mouton avec différents pourcentages (13,23 et 46) avec différents longueurs (1 mm ,6 mm et 20 mm) sur un composé cimentaire. Ils ont constaté une nette amélioration de la conductivité thermique de ciment en fonction d'augmentation de pourcentage de la laine du mouton dans le mélange **(Fig.1.31).**

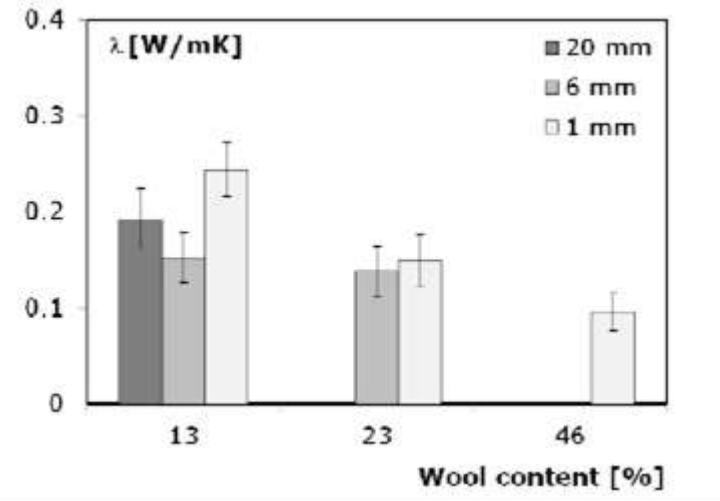


Fig.1.31. Conductivité thermique de béton à base de la laine du mouton [35]

1.6 Conclusion

Le déchet est par définition « matière » et à ce titre il est en premier lieu sollicité pour le traiter, il est nécessaire de trouve les moyens pour en extraire les fractions valorisables ou pour diminuer les capacités de nuisances. Plusieurs types de déchets peuvent être utilisés comme granulats, ou fibres.

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets animale qui est plu rencontrée dans nos payé. Puis on a donné une généralité sur le béton de sable (définition, composition, utilisation, formulation), ainsi que finalement un aperçu sur l'effet de valorisation la laine du mouton sur les performances de matériaux à base cimentaire à l'état frais et durci.

Chapitre 02 :

Matériaux et Essais

2.1. Introduction

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux et les techniques expérimentales utilisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux de base utilisés dans la composition des bétons. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons de sable. Ensuite, on présente les essais réalisés au cours de notre investigation sur les mortiers et les composites obtenus à l'état frais et à l'état durci.

Le béton de sable fluide est caractérisé à l'état frais par les essais spécifiques suivants :

-Essai d'étalement au Mini-cône.

-A l'état durci nous avons évalué, la résistance à la compression, la résistance à la traction par flexion et le CT mètre.

2.2. Caractérisation des matériaux utilisés

2.2.1. Le sable

Au cours de ce procédé d'étude, on a utilisé un seul type de sable provenant de la carrière d'OUED SOUF, sa classe granulaire est 0/3. La Figure.2.1suivante donne un aperçu sur la nature de sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée sur la Figure.2.2 et Les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans le tableau.2.1 ci-dessous. [37]



Fig.2.1. Sable utilisé

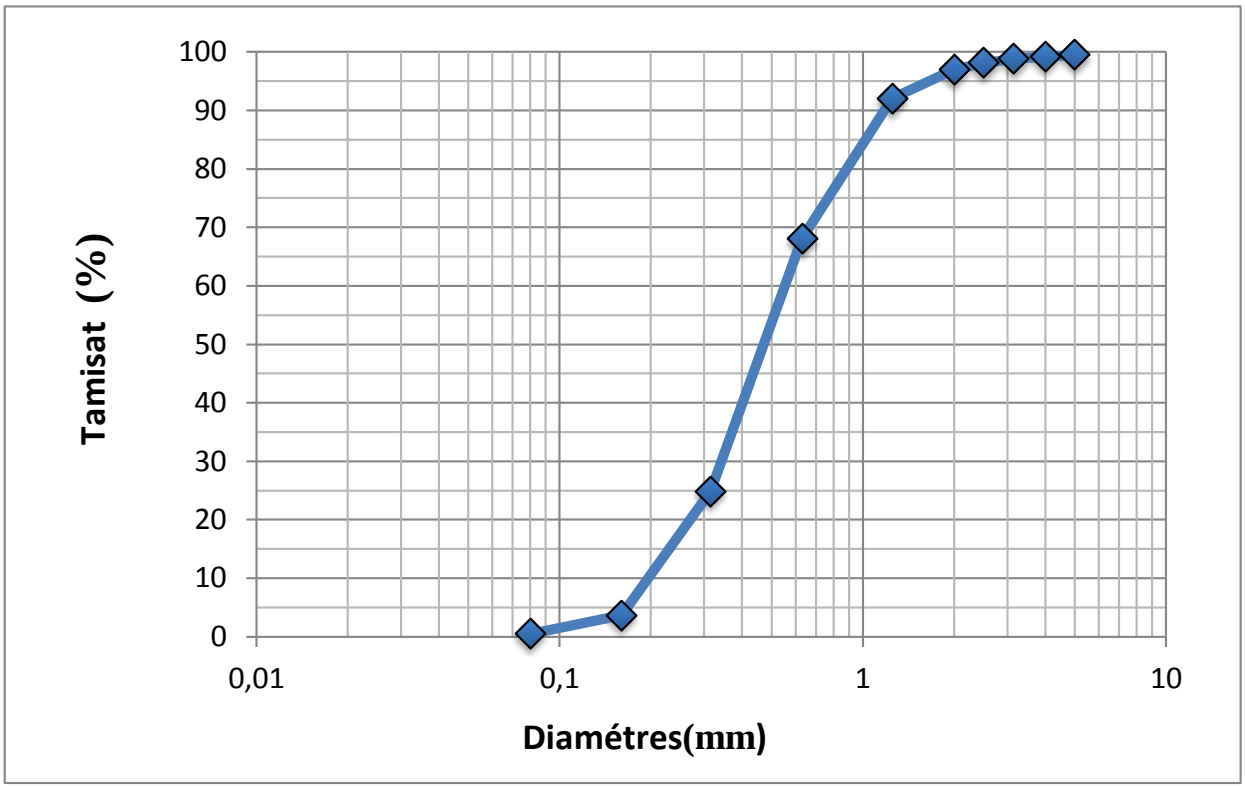


Fig.2.2. Courbe granulométrique de sable utilisée

Tableau.2.1. Caractéristiques physique de sable utilisés

Caractéristiques	Sable	Normes
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1 **[58]**
Module de finesse	2.25	NF EN 933-1 **[58]**
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[59]**
Masse volumique apparente (Kg/ m^3)	1.57	NF EN 1097-6 **[59]**
La compacité (%)	59	NF EN 1097-3 **[60]**
La porosité (%)	41	NF EN 1097-3 **[60]**
Equivalent de sable (%)	81.9	NF EN 1097-3 **[60]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42	NF EN 1097-6 **[59]**

2.2.2. Ciment

Nous avons utilisé dans cette étude le ciment portland composé ''MATINE'' CPJ-CEM II/A 42.5R **(Fig.2.3)**, produit par la cimenterie CIBA-LAFARGE à M'sila en Algérie dont l'ajout est le calcaire MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO2) à caractère acide. On trouve également l'aluminium (Al 2O3) et le fer (Fe2O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C. En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques [37]



Fig.2.3. Ciment MATINE

- **Analyse et caractérisation**

A. Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker

Selon la fiche technique du ciment (Annexes 1). Le Tableau.2.2 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, [37]

Tableau.2.2. Analyse chimique du ciment et composition du clinker [37]

Analyse chimique du ciment	Perte au feu (%)	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition Hypothétique du Clinker	Silicates tricalciques C3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C3A (%)	6.00-8.00

B. Essais physiques

- **La finesse**

La finesse du ciment influe d'une façon considérable sur la résistance mécanique, la consistance normale et le temps de prise. La finesse est déterminée par la surface spécifique de Blaine. Elle est calculée en fonction du temps à l'aide du perméabilimètre de Blaine. [37]

- **La consistance normale**

C'est la quantité d'eau de gâchage qu'il faut ajouter à une quantité de ciment préalablement pesée pour obtenir une pâte dite normale, elle est mesurée à l'aide de l'appareil de Vicat [37]

- **Le temps de prise**

Le début et la fin de prise sont déterminés à l'aide de l'aiguille de Vicat sur une pâte de consistance normale placée dans un moule tronconique [37] **(Le Tableau2.3)** résume les résultats des essais physiques sur le ciment utilisé.

Tableau.2.3. Caractéristique physiques du ciment [37]

Caractéristique	Valeur
Masse volumique absolue (g /cm3)	0.99
Masse volumique apparent (g/cm3)	3.04
Consistance normale de la pâte de ciment (%	25.5-28.00
Pr isométrie (Min) - Début de prise - Fin de prise	120-180 210-280
Classe de résistance (MPa)	≥ 42.5& 62.5
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1000
Finesse (BLAINE) (cm2/g)	4300-4800
Expansion (mm)	0.50– 2.50

C. Essais mécaniques sur le ciment

Les essais mécaniques sur le ciment été effectués sur des éprouvettes prismatiques 4x4x16 cm³ à raison de trois éprouvettes rapportées à la moyenne par âge. Le mortier utilisé est un mortier normalisé : 450 g de ciment, 1350 g de sable naturel et 225 g d'eau. Le Tableau .2.4 résume l'évolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge. [37]

Tableau.2.4. Evolution de la résistance du ciment en fonction de l'âge [37]

Ages (jour)	Résistance à la compression (MPa)
2	>20
28	≥42.5 et 62.5

2.2.3. Ajouts (fillers)

Les fillers utilises au cours de ce travail sont issus de broyage des déchets de marbre de l'industrie **(Figure.2.4)**. Rappelons que les fins de marbre sont les plus adaptés au béton de sable fluide et il donne tune meilleure performance. Leurs caractéristiques physiques sont mentionnées dans le Tableau.2.5.

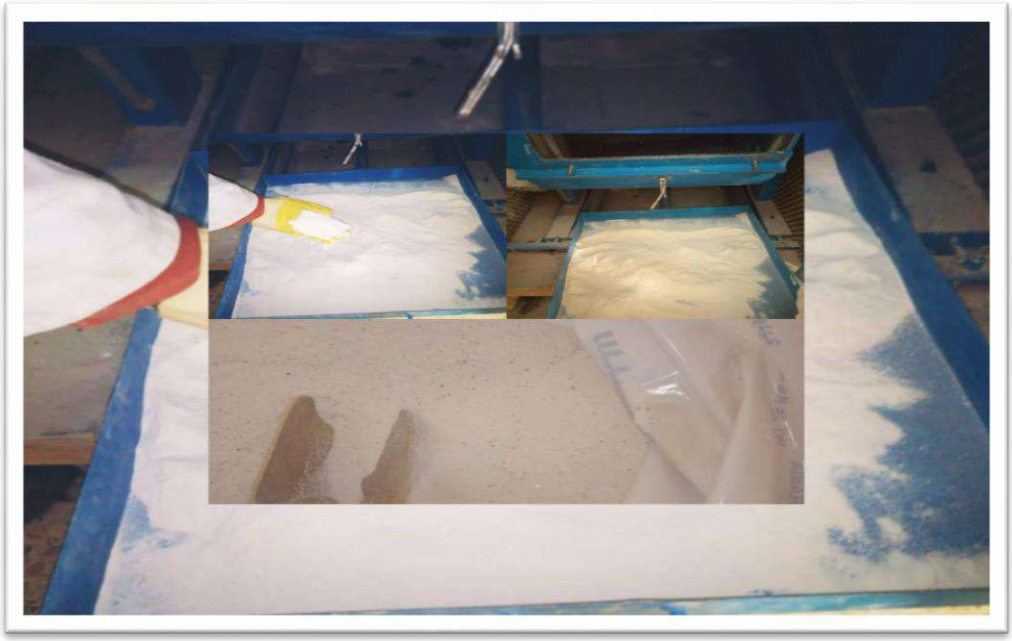


Fig.2.4. Procédure de broyage de fillers de marbre

Tableau.2.5. Caractéristiques physiques des fins de marbre utilisé [37]

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.083
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.73
La finesse	3200
La compacité(%)	39.6
La porosité(%)	60.4

2.2.4. Adjuvant

L'adjuvant utilisé au cours de ce travail est un Super plastifiant-Haut réducteur d'eau fabriqué par la société, Algérienne GRANITEX, commercialisé sous l'appellation 'MEDAFLOW30', de forme liquide ; de couleur brai clair ; d'un PH égal à 6-6.5, de densité 1,07 ± 0,01 et d'une teneur en chlore<0.1g/L [37]

2.2.5. Eau de gâchage

Pour la confection des éprouvettes on a utilisée est une eau potable du robinet, exempte d'impureté set propre.

2.2.6. Déchets de la laine de mouton

La laine du mouton utilisé au court de ce travail a été obtenus par la récupération des déchets de laine rejeté dans la nature .Après avoir été récupéré sont lavée séché et coupé en fibres et incorporé dans la masse de béton de sable fluide et mortier de ciment avec des pourcentages de (0.125%), (0.25%), (0.375%) et (0.42%) respectivement.



Avant **Après**

Fig.2.5. la laine de mouton.

Tableau.2.6. Caractéristiques physiques de la laine du mouton utilisé [37]

Caractéristiques	Valeurs
La masse volumique apparente (Kg/m^3)	16
La masse volumique absolue (Kg/ m^3)	1.16
La longueur (Cm)	0.7
Diamètre (mm)	0.08
Conductivité thermique W/m.K	0.04

2.3. Composition des mélanges

2.3.1. Composition de BSF

La composition du béton de sable pour la confection des éprouvettes est basée sur la méthode expérimentale de projet de SABLOCRETE 1994. La laine du mouton est incorporée dans la

masse du béton de sable fluide par ajout volumétrique (par rapport au volume de béton) avec des pourcentages (0.125%, 0.25%, 0.375% et 0.42%) Les familles du béton de sable obtenus sont répertoriées comme suit :

BSFT : Béton de sable fluide témoin.

BSF 1 : Béton de sable fluide à base de 0.125%de laine de mouton

BSF 2 : Béton de sable fluide à base de 0.25%de laine de mouton

BSF 3 : Béton de sable fluide à base de 0.375%de laine de mouton

BSF 4 : Béton de sable fluide à base de 0.42%de laine de mouton

Tableau.2.7. Compositions des Béton de sable fluide à base déchet laine du mouton pour ($1m^3$)

Béton	**Sable (Kg/m^3)**	**Ciment (Kg/m^3)**	**Fillers de marbre (Kg/m^3)**	**L M (g)**	**Adjuvant (%)**	**Eau (Kg/m^3)**
BSFT	1400	400	200	/	1%	260
BSF1 0.125%	1400	400	200	0.75	1.3%	260
BSF2 0.25%	1400	400	200	1.5	1.5%	260
BSF3 0.375%	1400	400	200	2.25	1.9%	260
BSF4 0.42%	1400	400	200	2.5	2%	260

2.4. Malaxage et conservation

Le malaxage des bétons de sable fluide se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L, pour la confection des éprouvettes 4*4*16cm. L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. [37]

Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les fillers et le ciment.
- En ajoute les gros grains (le sable) après on malaxe à sec pendant 30 sec.
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 minute.
- Après on ajoute de super plastifiant avec le tiers de la quantité d'eau nécessaire et on mélange à vitesse rapide pendant 1 minute.
- Après, on laisse le mélange repose 2 minute, puis on ajoute le déchet.
- Puis lancer vitesse rapide pendant 1 minute.
- Mesure la densité et l'ouvrabilité du béton frais immédiatement au fin malaxage [37].

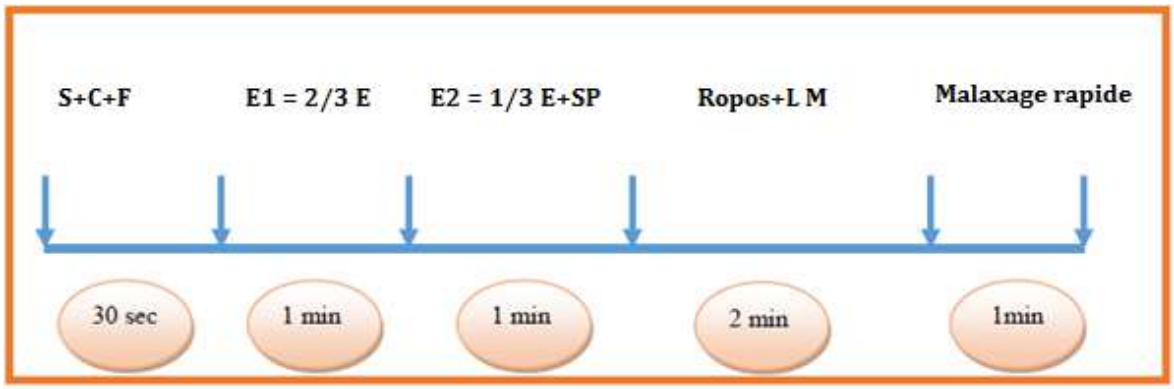


Fig.2.6. Séquence de malaxage du béton de sable fluide.

2.5. Essai réalisé sur le béton

- **A l'état frais**

2.5.1. L'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique place sur une surface horizontale lisse, une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaire, la moyenne est retenu. **Figure.2.7** montre les étapes de l'essai d'étalement mini cône selon la recommandation selon la recommandation EFNARC 2002**.**



Fig.2.7. Mesure de l'étalement du béton de sable fluide.

2.6. Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de bétons de sable fluide sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le béton de sable fluide a été coulé dans des moules métalliques de forme prismatiques 4x4x16 cm destinées aux essais de compression et de variation dimensionnelles, ainsi que des éprouvettes 4×10×10 cm destinées pour les essais thermiques conformément à la norme NF EN 12390-2 [38].



Fig.2.8. Fabrication des éprouvettes.

Après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 24 heures de la confection, les éprouvettes ont été démoulées et conservées dans l'eau à 20°C ± 2°C.

2.7. Essai réalisé sur le béton

- **A l'état durci**

Les différents essais réalisés sur le béton de sable fluide obtenus sont résumés dans le tableau ci-dessous :

Tableau.2.8. Essais sur bétons durci.

Essais	Appareil
Résistance à la compression	Presse Hydraulique (2000KN)
Résistance à la flexion	Presse Hydraulique (2000KN)
Conductivité thermique	CT METRE

2.7.1. Résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [NF EN 196-1][39]par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à l'âge 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme [NF P 18-412][40] **(fig.2.10)** pendant l'essai, la vitesse de chargement est constante.

La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur trois éprouvettes à chaque âge d'essai (7j.28j).

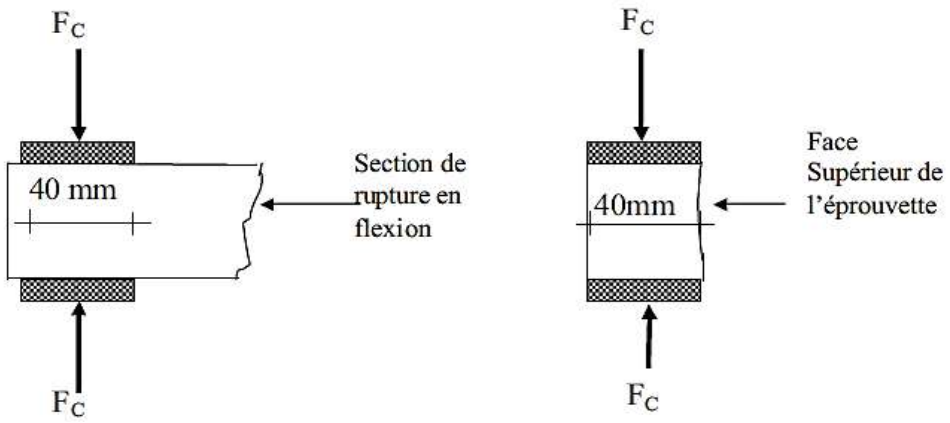


Fig.2.9. Dispositif de rupture à la compression.

La contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C = \frac{F_C}{b^2} \text{(Equation 2.1)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa) ;

F_C: Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.



Fig.2.10. Presse Hydraulique (2000KN).

2.7.2. Essai de la résistance à la traction par flexion

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN 196-1] [41]. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par

trois points), une éprouvette de (4x4x16) cm de côté **a** et de longueur L. **Fig (2.12)** montre les étapes de l'essai.

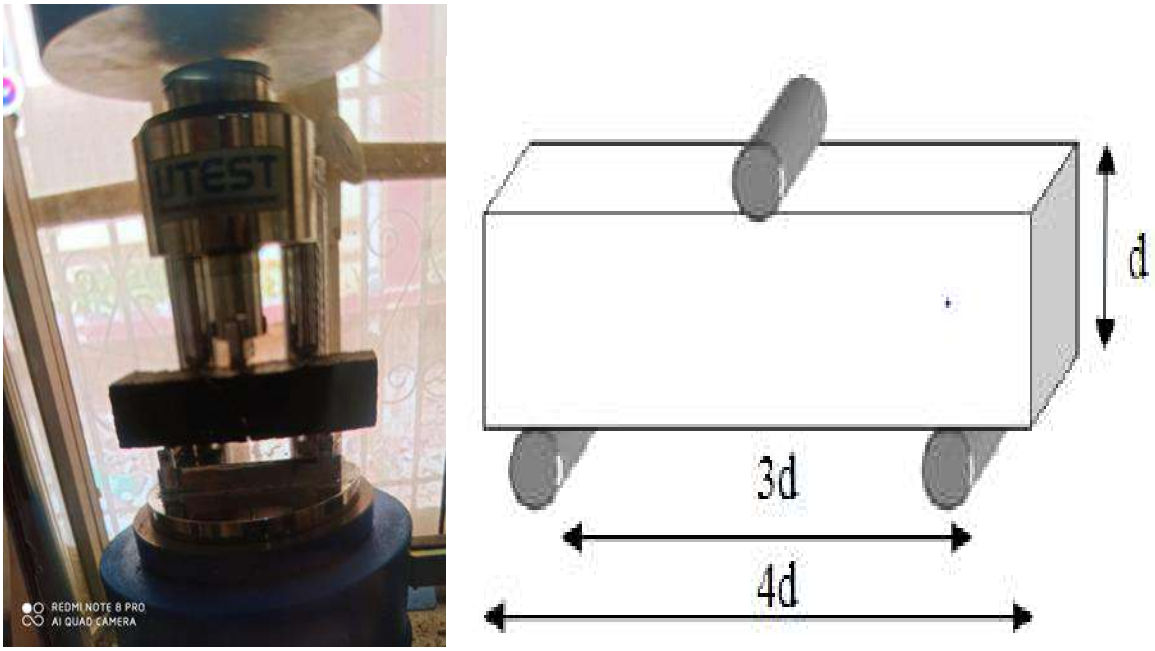


Fig.2.11. Essai de traction par flexion sur béton.

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $\mathbf{M} = \frac{Ff\,L}{4}$

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I} = \frac{d4}{12}$

v : La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $\mathbf{v} = \frac{d}{2}$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma_t = \frac{M15Ff\,L}{d3}$$

2.7.3. Les propriétés thermiques

Dans notre travail, nous avons étudié et tester les propriétés thermiques des bétons de sables à base de la laine de mouton par l'utilisation de l'appareil ''CT METRE''. Suivant la norme Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15

C’est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d’évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d’un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton. Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l’organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d’interpréter la courbe d’élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite. [42].



Fig2.12. Le CT-mètre utilisé

2.8. Variables étudiées

Les variables d’étude utilisés au cours de ce travail sont résumées dans la figure suivant :

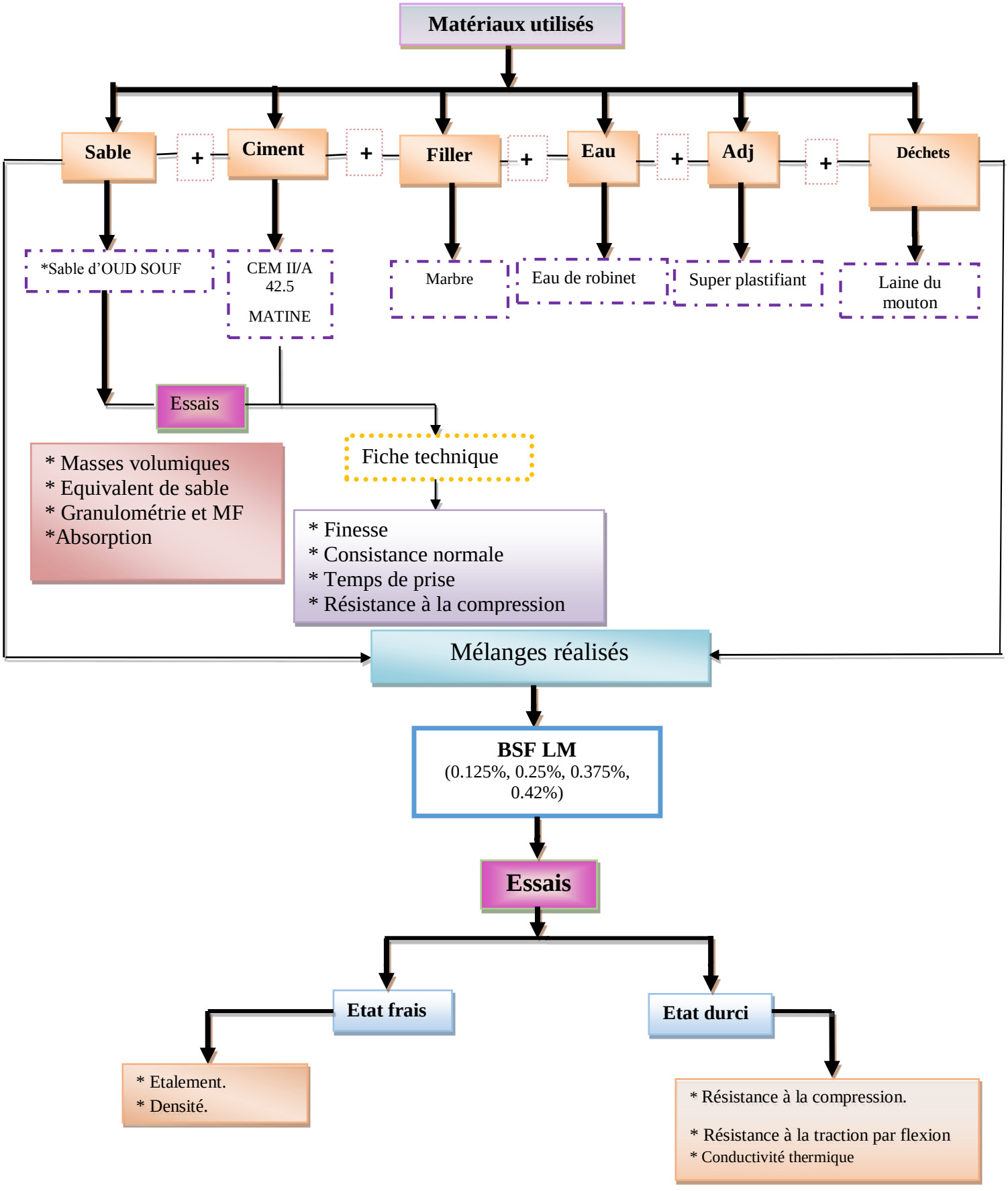


Fig.2.13. Variables étudiées.

2.9. Conclusion

La valorisation des déchets animaux dans la masse de béton de sable fluide constituent une alternative économique et technologique importante dans certains pays en voie de développement. Cette étude présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de la laine du mouton sur les propriétés frais et durci des bétons de sables fluide.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation des matériaux utilisés dans les compositions des BSF

- La méthode de formulation utilisée

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents mélanges à base de de la laine à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

Chapitre 03 :

Résultats et interpétations

3.1. Introduction

Les résultats des essais effectués sur les différents mélanges obtenus seront représentés dans ce chapitre.

3.2. Influence de déchets de la laine du mouton sur le comportement du BSF

3.2.1. Caractéristiques du BSF à l'état frais

3.2.1.1. Etalement

Les résultats sont représentés sur un histogramme **(Figure 3.1)** nous permet de comparer les valeurs du l'étalement des différents bétons de sable fluide réalisés.

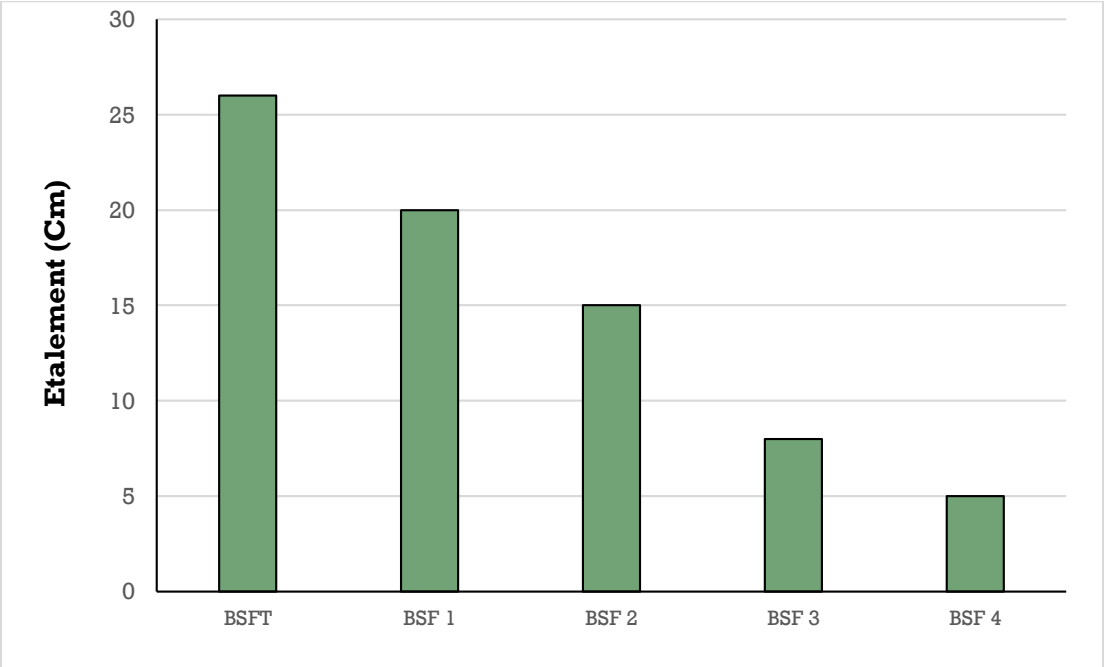


Fig.3.1. Étalement de BSF à base de la laine de mouton.

D'après les résultats obtenus on remarque clairement que l'étalement de bétons de sable fluide varie en fonction du pourcentage d'incorporation des déchets de la laine du mouton. On constate aussi que plus le pourcentage de la laine du mouton augmente, plus l'étalement est diminué .Cela est due à la forme des fibres de la laine du mouton qui jouent un rôle d'obstacle dans le mélange. Ces résultats confirment les résultats de plusieurs chercheurs dans le domaine [33].

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant (compris entre 26 (Cm) et 28 (Cm) est visé) (Voir tableau de formulation chapitre 02)

3.2.2. Caractéristiques du BSF à l'état durci

- **Résistance à la compression**

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

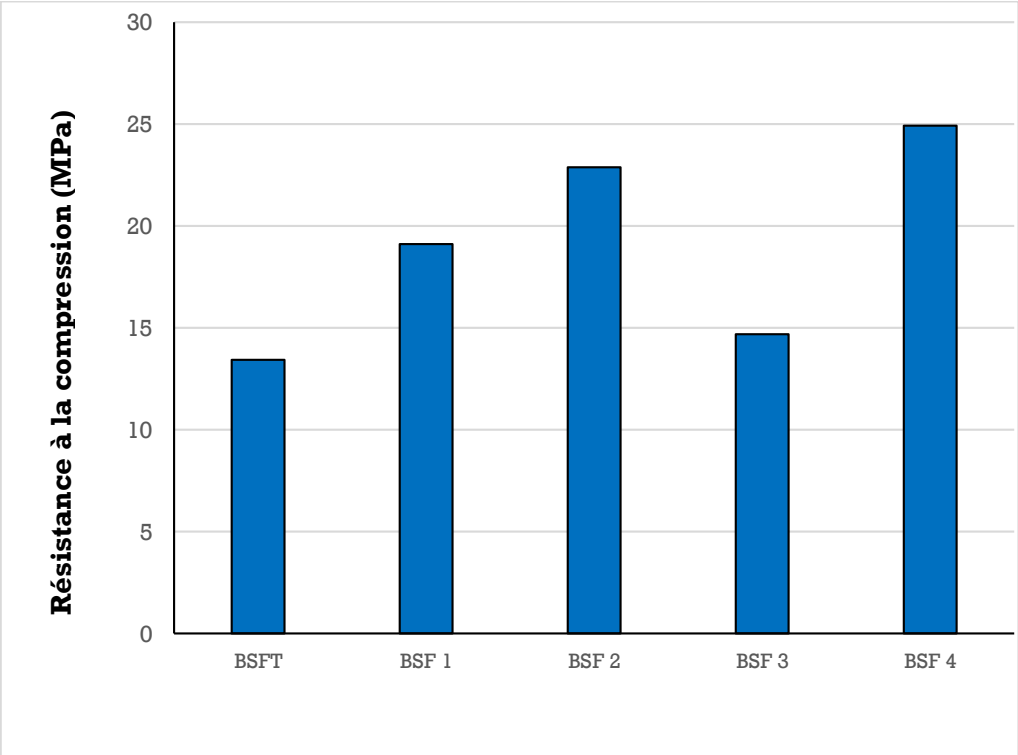


Fig.3.2. La résistance à la compression à l'âge de 7 jours des BSF à base de la laine de mouton.

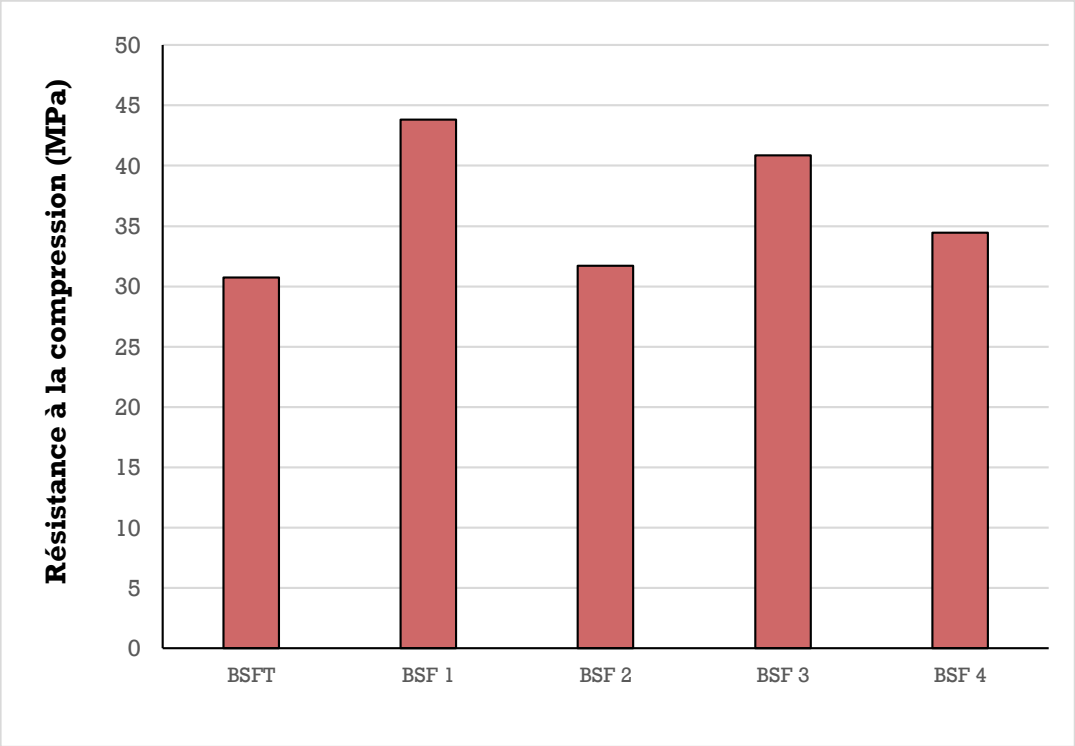


Fig.3.3. La résistance à la compression à l'âge de 28 jours des BSF à base de la laine de mouton.

Les résultats présentés montrent que la résistance à la compression de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'ajout de déchets de la laine du mouton. Le gain est estimé à 30% pour le BSF 1 qui représente l'optimum de la résistance des BSF. Cette augmentation de la valeur de résistance à la compression est liée essentiellement aux déchets de la laine du mouton qui engendre une bonne combinaison entre les fibres qui composent et la matrice cimentaire. Ces résultats confirment les résultats d'Alessandro et al [36]. Contraire, Valenza et al [35] ont trouvé que la résistance à la compression des ciments est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage des fibres de la laine du mouton. Alyousef [34] ont étudié l'influence de la laine du mouton sur la résistance à la compression du béton ordinaire. Ils ont constaté que plus le pourcentage de déchets de la laine du mouton augmente plus la résistance à la compression est diminué Finalement, l'utilisation de ces types des bétons est recommandée dans la construction de béton structurel (Poteaux, poutre, dalle)

- **La résistance à la traction par flexion**

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans les figures suivantes :

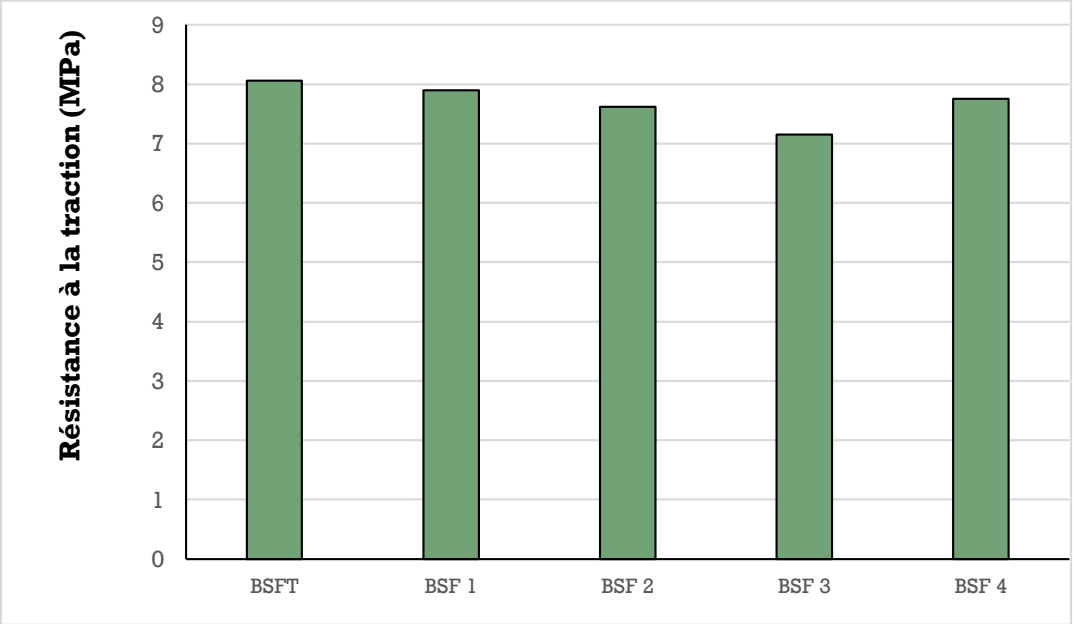


Fig.3.4. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 7 jours des BSF à base de la laine de mouton.

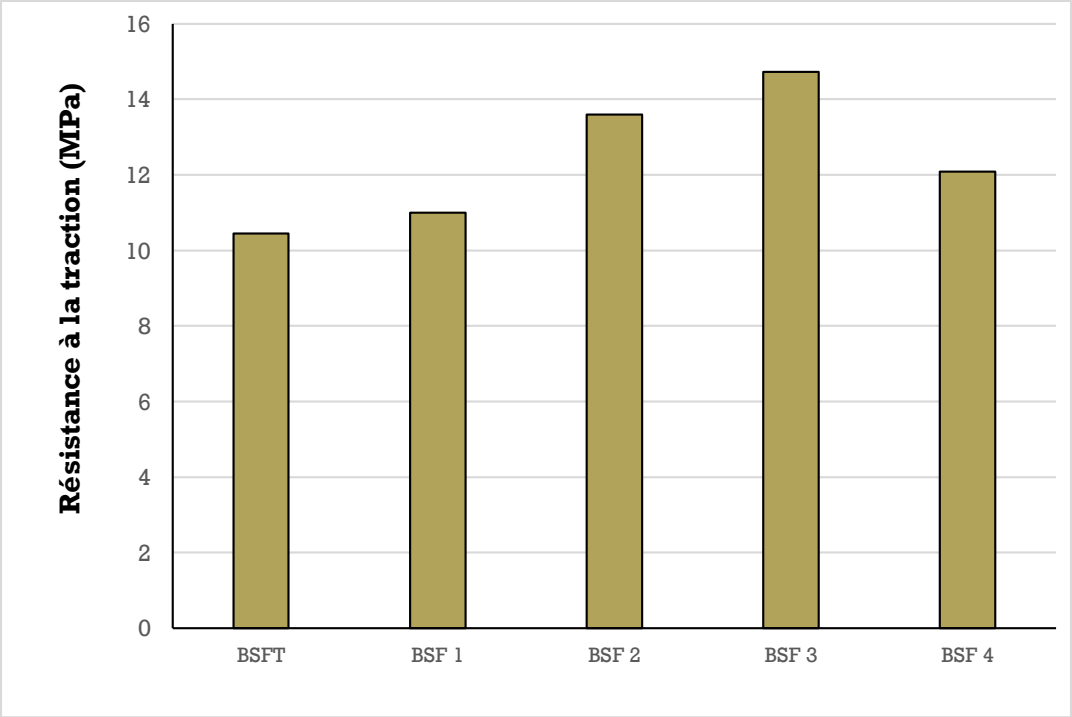


Fig.3.5. La résistance à la traction par flexion à l'âge de 28 jours des BSF à base de la laine de mouton.

Les résultats obtenus montrent que la résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'ajout de déchets de la laine du mouton. Le gain est estimé à 29% pour le BSF 3 qui représente l'optimum de la résistance des BSF. Cette augmentation de la valeur de résistance à la traction est liée essentiellement aux déchets de la laine du mouton

qui jouent un rôle de couture des fissures. Ces résultats est en contraire avec les résultats trouvés par les différents chercheurs dans le domaine [34,35].

- **Conductivité thermique**

Pour chaque essai, les résultats sont la moyenne de trois (03) mesures prises sur des éprouvettes de 4x4x16cm^3 à l'âge de 28 jours. Les résultats obtenus sont illustrés dans le tableau suivant :

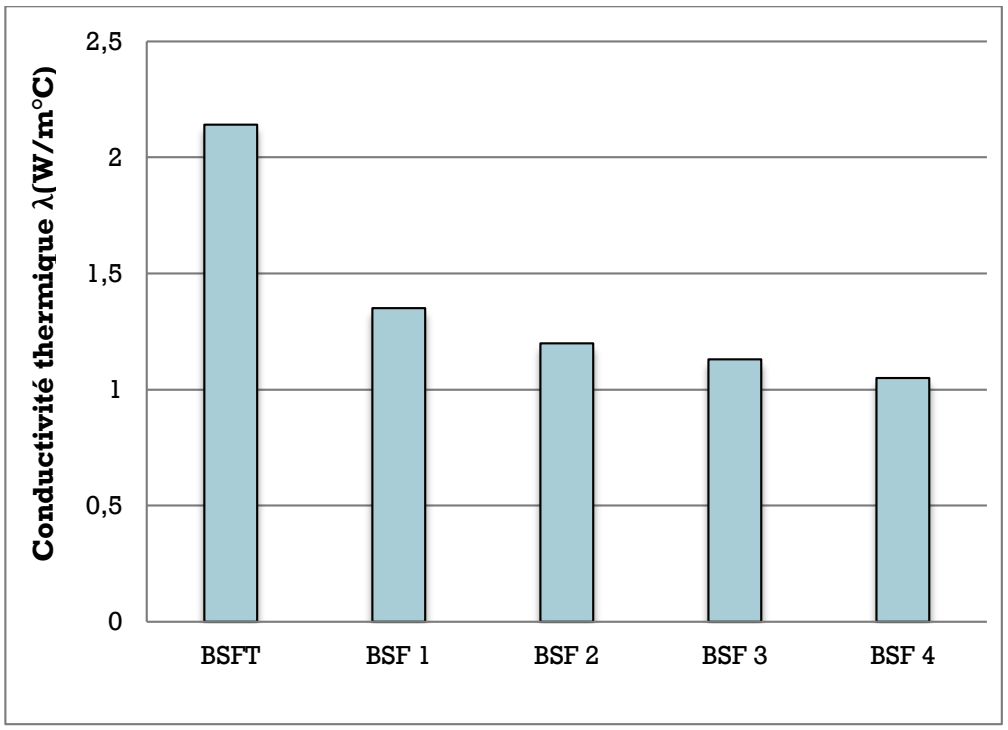


Fig.3.6. Conductivité thermiques des BSF à base de la laine de mouton.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de béton de sables fluide obtenus est diminuée avec l'augmentation du pourcentage du déchet de la laine du mouton. La dégression est estimée à 100% par rapport au mortier témoin. Cette diminution est due à la conductivité thermique du déchet de la laine du mouton qui est plus faible que celle du sable naturel (2 W/m°C). Ce résultat confirme les résultats trouvés par plusieurs chercheurs [34,35].

3.3. Conclusion

Sur la base des résultats obtenus on conclut que :

- L'étalement de BSF est diminué en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de la laine du mouton

- La résistance à la compression de BSF à l'âge 28 jours argumente d'environ 30% en fonction d'ajout de 0.42% de la laine du mouton

- La résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est améliorée en fonction d'ajout de la laine du mouton.

- La conductivité thermique du béton de sable fluide est diminuée en fonction d'augmentation de pourcentage de la laine du mouton.

Conclusions générales et Recommandations

Conclusions générales

L'objectif essentiel de ce travail et de voir l'influence de déchets de la laine du mouton sur les caractéristiques de béton de sable fluide à l'état frais et durci. Les résultats de cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- L'ajout de déchet de la laine du mouton influe négativement sur l'étalement du béton de sable fluide.

- La résistance à la compression de béton de sable fluide est nettement améliorée. Le gain est estimé à 30% pour un ajout de 0.42 % de fibres.

- La résistance à la traction par flexion de BSF est augmentée en fonction d'ajout de fibre de la laine du mouton. Une augmentation d'environ 29% de la résistance à la traction par flexion de béton de sable fluide est enregistrée en fonction d'ajout de 0.375% de la laine du mouton.

- La conductivité thermique du béton de sable fluide diminue en fonction d'augmentation de pourcentage de déchets de la laine du mouton et par conséquent son pouvoir isolant augmente.

Finalement, sur la base des résultats obtenus, l'application de ce type des bétons est recommandée dans les éléments de béton non structuraux (Panneaux préfabriqué, panneaux de sandwich, parois isolé. L'emploi et la valorisation des déchets de la laine de mouton comme un matériau alternative dans les domaines de construction peut contribuer à la protection de l'environnement et l'économie du pays.

Recommandations

Nous recommandons pour des futurs travaux l'étude :

- Durabilité du béton de sable fluide à base de déchets de la laine du mouton.
- Influence de fibre métallique et de la laine de mouton sur la performance de BSF.
- Influence des fibres végétal et la laine du mouton sur le comportement de béton de sable fluide.
- Etude de la pompabilité des bétons de sable fluide à base déchets de la laine du mouton.

Références bibliographiques

Références Bibliographiques

[1] http://www.vegetal-e.com/fr/la-laine-de-mouton-dans-la-construction_152.html

[2] https://previews.123rf.com/images/goldnetz/goldnetz1503/goldnetz150301381/72079848-fils-de-laine-textile-de-fond-surface-de-la-mati%C3%A8re.jpg

[3] https://www.princessefoulard.com/blog/tissu/laine/origine-laine/

[4] http://informations-documents.com/environnement.ecole/images3/fibre.jpg

[5] https://www.lalanguefrancaise.com/dictionnaire/definition/laine

[6] https://www.aquaportail.com/definition-11225-laine.html

[7] https://textileaddict.me/la-laine-une-fibre-naturelle-ancestrale/

[8] https://www.aufildutricot.com/post/la-laine-composition-structure-grosseur

[9] https://www.histoiresdelaine.fr/quels-sont-les-differents-types-de-laine/?fbclid=IwAR0K-pqTc45OArrq2WIuwTj7USyPjfDLwH7NFGCF14pWvomrtsWrZs2vCYk

[10] https://www.pashminacachemire.com/blog/wp-content/uploads/2014/03/histoire-origine-laine-mouton.jpg

[11] https://www.plaidissimo.fr/blog/laine-meirnos-pour-plaids/

[12] https://agriculture.sel-hoz.com/images/image077.jpg

[13]https://www.pashminacachemire.com/blog/wp-content/uploads/2019/05/laine-mohair-angora-quel-animal-differences-1024x682.jpg

[14]https://img.ulule.com/display/b9041f9a434fde714b63c4f69a2225cb18ad75a4/thumbnail/640x360/presales/0/0/2/37200/douceurange_lapin.2MSchQjW2CM7.jpg

[15]https://2.bp.blogspot.com/CABD5ju6ACY/TXOK94J5kPI/AAAAAAAABVk/mYLCMdZjmTs/s1600/ortho%2Bpara%2Bcortex%2Bcropped%2B.jpg

[16] https://www.samse.fr/isolation-combles-amenageables/laine-animale

[17] https://www.pashminacachemire.com/blog/matiere/laines/histoire-laine-mouton/

[18]https://www.toutsurlisolation.com/laine-de mouton?fbclid=IwAR21gk5UhqHazJ8f3cia7yylyNxGfp3N7tgmVIXlcQmj8nzGCsWSggY4lgA

[19]https://www.toutsurlisolation.com/sites/toutsurlisolation.com/files/2019-09/Isolants-en-laines-animales-Laine-de-mouton_reference.jpg

[20] https://www.isolation-info.fr/materiaux-isolants/laine-de-mouton

[21]https://www.toutsurlisolation.com/laine-de-mouton?fbclid=IwAR21gk5UhqHazJ8f3cia7yylyNxGfp3N7tgmVIXlcQmj8nzGCsWSggY4lgA

[22]https://www.renovationettravaux.fr/laine-de-mouton-en isolation?fbclid=IwAR2WXtwIMwBFefJeKRxqwj_6u0vZgmoKQhFR6ZFC6De1UcTtIPgItRCXU6k

[23]https://lh3.googleusercontent.com/proxy/rp2wvosBlk4qyALGWRv6HLrCxZUv9o2CVURRelXqe3focP_V0-6i7Um6bmttzVUPDSbey_sNwtTPe6jXfzve5ro52-hS2q0wSyRd-Duiu2_nHq_90RLs-qx2YkzthcX6sDKiuKGzJ7n6fjYX128QxUXfSwX7nN8WYq-Qp8o21v6RGdi8zA

[24]https://www.renovationettravaux.fr/laine-de-mouton-en-isolation?fbclid=IwAR2WXtwIMwBFefJeKRxqwj_6u0vZgmoKQhFR6ZFC6De1UcTtIPgItRCXU6k

[25] https://www.isolation-info.fr/materiaux-isolants/laine-de-mouton

[26]https://encrypted-tbn0.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcSepWwh0ZOIMgC4zhvmYzvIB1YydEwf_wUQwt7AeBZqYSQkrcOlxKBO9sFV-7s&s

[27] CNERIB, Centre National d'Etudes et Recherches Intégrées du Bâtiment, " Bétons de Sable ", Rapport de recherches. Tipaza, Algérie, Décembre 1992.

[28] Desert-Map, 2012 Carte des déserts du monde, téléchargeable du site Internet : http://fr.mapsofworld.com/world-desert-map.htm#

[29] AFNOR, ″Bétons- Bétons de sable″, Projet P 18-500,1995.

[30] SABLOCRETE, « Béton de sable », Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, 1994, France

[31] Ambroise J., Prea J. et Sari M., "L'adjuvantation des bétons de sable", Rapport de recherche, Institut National des Recherches Appliquées, INSA, Lyon, Septembre 1993.

[32] CHAUVIN J.J., GRIMALDI G., « Les bétons de sable », Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°157, Sept. 1988.

[33] Rayed Alyousef , Hisham Alabduljabbar , Hossein Mohammadhosseini , Abdeliazim Mustafa Mohamed , Ayesha Siddika , Fahed Alrshoudi , Abdulaziz Alaskar. Utilization of sheep wool as potential fibrous materials in the production of concrete composites. Journal of Building Engineering, 2020, 30(24):101216

[34] Rayed Alyousef, Khaled Aldossari, Omar Ibrahim, Haretha Al Jabr, Hisham Alabduljabbar , Abdeliazim Mustafa Mohamed1 and Ayesha Siddika, Effect of sheep wool fiber on fresh and hardened properties of fiber reinforced concrete. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET), Volume 10, Issue 05, May 2019, pp. 190-199

[35] A. Valenza, V. Fiore, A. Nicolosi, G. Rizzo, G. Scaccianoce, G. Di Bella, effect of sheep wool fibres on thermal-insulation and mechanical properties of cement matrix , First International Conference on Bio-based Building Materials , June 22nd - 24th 2015 Clermont-Ferrand, France

[36] Alessandro P. Fantilli , Silvio Sicardi , Francesca Dotti, The use of wool as fiber-reinforcement in cement-based mortar, Construction and Building Materials xxx (2016) xxx–xxx

[37] Medina C, Rojas MIS, Frias M. Reuse of sanitary ceramic wastes as coarse aggregate in eco-efficient concretes. Cem Concr Compos 2012 ; 34(1) :48–54.

[38] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique », AFNOR.

[39] CEN EN 196-1, Normes AFNOR : « Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15- 471) », Aout 1995.

[40] Norme Française, NF P 18-412 « Béton : Caractéristiques communes des machines hydrauliques pour essais de compression, flexion et traction des matériaux durs», Norme enregistrée, Déc. 1981.

[41]https://www.google.com/search?q=le+carrelage+de+murs&tbm=isch&ved=2ahUKEwi8KPjy8rpAhXB0YUKHZmIAZsQ2cCegQIABAA&oq=le+carrelage+de+murs&gs_lcp=CgNpbWcQAzIECCMQJ1DwF1jEH2DOJmgAcAB4AIABhwGIAY0DkgEDM

C4zmAEAoAEBqgELZ3dzLXdpei1pbWc&sclient=img&ei=WGjJXrxswaOXBJm
RhtgJ&bih=654&biw=1366&client=firefox-b-d#imgrc=Ajd5wq7BYDi0DM
[42] Boukerma Tarek et Mechentel Abdellah, UNIVERSITÉ Dr YAHIA FARÈS DE MÉDÉA, Projet de Fin d'études, le béton de sable à base du marc de café, juin 2016

Annex

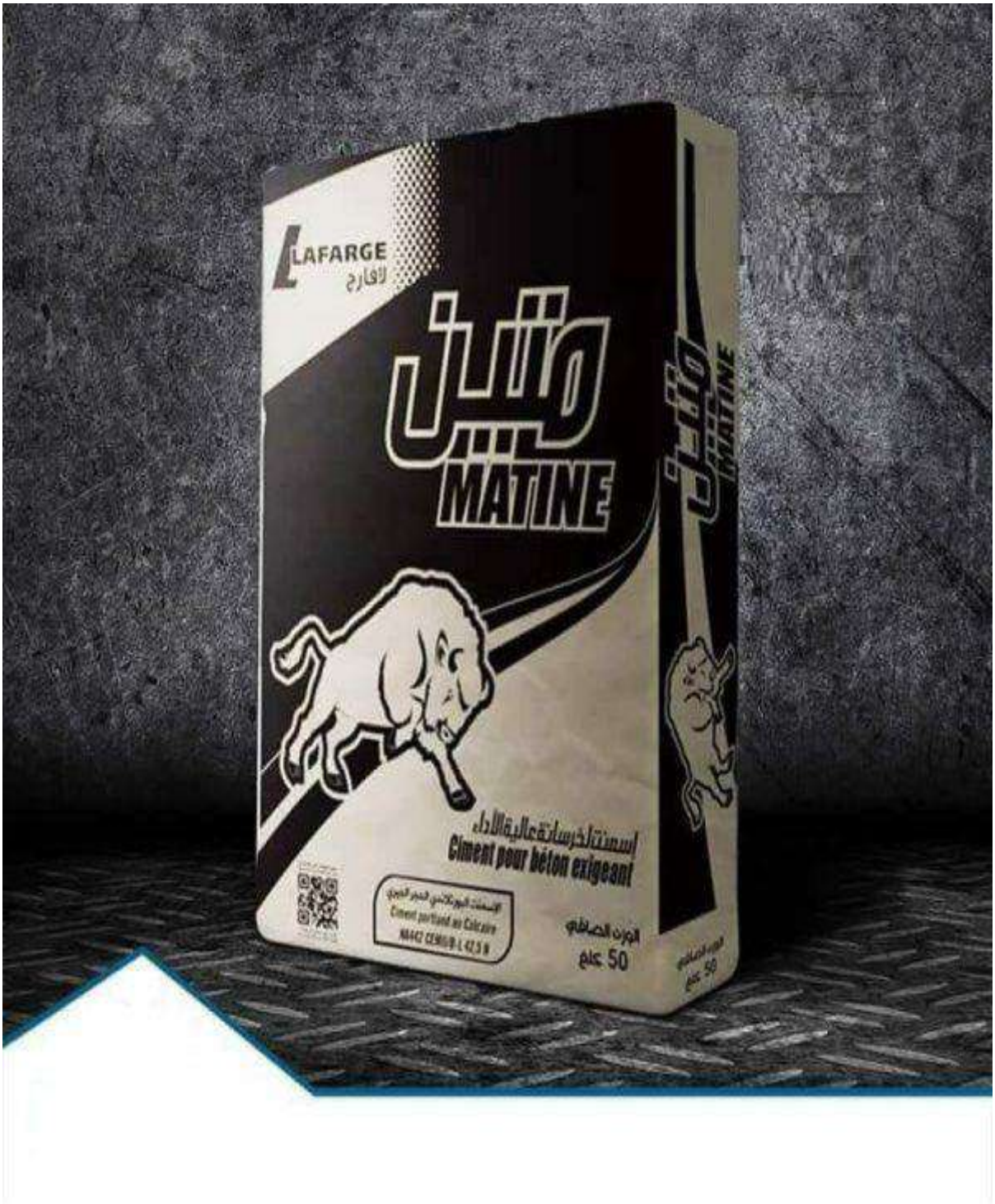


Fig.A.1. Ciment MATINE utilisé

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CIM IPA 42.5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Fig.A.2. La fiche technique ciment utilisé



Fig. A.3. Malaxeur



Fig.A.4 L'appareil de l'essai a la compression et à la traction par flexion utilisé



Fig.A.5. Le CT-mètre



Fig. A.6. L'étuve



Fig.A.7. Les éprouvettes avant l'écrasement



Fig.A.8. Les éprouvettes apré l’écrasement