REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

**UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA**

**F**aculté de **T**echnologie

# Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

---

# Etude du comportement du béton de sable allégé par copeaux de bois

---

Présenté par

**M$^{elle}$ ELHOUANNES Khaoula**

**M$^{elle}$ BOUKIRAT Assia**

Proposé et Dirigé par

**Pr. DEBIEB Farid**

**M$^{elle}$ BENCHAOUF Amina**

**Promotion 2019**

# REMERCIEMENTS

*Le présent travail*

*A été réalisé au sein du laboratoire du béton*

*De Hall de Technologie de Médéa.*

*On tient à remercier en premier lieu DIEU "Allah" Miséricordieux*

*Qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.*

*On adresse nos remerciements à notre promoteur le professeur*

*DEBIEB Farid, on le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.*

*On remercie également Me/le. BENCHAOUF Amina et Mr OULDKHAOUA younes à la fois présents et disponibles,*

*Nos sincères remerciements pour ses patiences, Ses disponibilités*

*Et surtout ses judicieux conseils.*

*Et sans oublier à remercier les responsables de laboratoires GC de l'UV de Médéa*

*Qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.*

*On voudrait remercier nos familles*

*(Qu'on dédie ce travail) pour leurs soutiens et leurs encouragements.*

*Finalement, merci pour toutes personnes qui*

*Nous ont aidées de près ou de loin.*

# DEDICACE

*Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.*

*Je dédiée ce modeste travail :*

*A mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère ABLA*

*Aces qui m'ont soutenu, encouragée, apprécie mon efforts et crées le milieu favorable, l'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour mon procurer ce travail, mes chers sœur à dieu:YOUSRA BATOUL*

*A mes chères amies*

*A Toute ma promotion.*

*A tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment.*

*Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.*

**KHAOULA**

# DEDICACE

*Avant tout, nous remercions DIEU pour nous avoir donné la force et la*

*Patience pour mener à terme ce travail*

Je dédie ce lapidaire travail :

***A** ma mére ma source de tendresse pour son soutien , sa présence pour ma réussite « que Dieu te garde pour nous »*

***A** cher pére pour avoir toujours été présent pour moi et pour m'avoir appris a donner le meilleur de moi-même « que Dieu le protège »*

***A*** **mes *chères sœurs*** :

*Souhila et hakima et ma jumelle lila et son fils younes*

***A*** ***mon cher frère*** **:**

*Aymen*

***A*** **toute la famille**

BOUKIRAT *sans exception*

***A*** **ma fiancé abd-el madjid et sa famille**

***A*** ***tous mes chers amie*** ***A*** *tous ceux qui me connaissent.*

***A*** *tous mes collègues de la promotion* ***2019.***

. الى كل من وسعتهم ذاكرتي ولم تسعهم مذكرتي اليك انت يا من تتصفح مذكرتي....

## ملخص

هذه الدراسة جزء من موضوع بحث رئيسي والذي يركز على استعادة واستغلال النفايات الصناعية. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير الخشب على سلوك الخرسانة الرملية، بنسب مختلفة من 0٪ حتى 40٪. النتائج التي تم الحصول عليها تبين أن الطريقة المستخدمة لتخفيف الخرسانة قد قللت من الخواص الميكانيكية مثل: من قوة الضغط. رافق ذلك زيادة امتصاص الماء والانكماش بسبب زيادة محتوى الخشب مع تحسين الخصائص الحرارية للخرسانة الرملية

## Résumé

Cette étude fait partie d'une thématique de recherche principale axée sur la valorisation et L'exploitation des déchets industriels. L'objectif principal du présent travail est l'étude effet des coupeaux de bois traités sur le comportement du béton de sable, Avec différents pourcentages 0% jusqu'à 40%. Les résultats obtenus montrent que le procédé d'allégement adopté a diminué les propriétés mécaniques telles que la résistance à la compression. De plus, l'absorption d'eau et les retraits ont été augmentés par l'augmentation du taux de coupeaux de bois tout en améliorant les caractéristiques thermiques du béton de sable.

## Abstract

This study is part of a main research theme focused on the recovery and exploitation of industrial waste. The main objective of this work is the study of the effect of treated wood shaving on the behavior of sand concrete; with different percentages 0% up to 40%. The results obtained show that the lightening process adopted has decreased the mechanical properties such as the compressive strength. In addition, water absorption and shrinkage were increased by the increase in wood shaving content while improving the thermal characteristics of sand concrete.

# TABLE DES MATIERES

**REMERCIEMENT**

**DEDICACE**

**DEDICACE**

**INTRODUCTION GENERALE** ..... 1

CHAPITRE I

I.1 Aperçu général sur les Bétons de sable ..... 4

I.1.1 Historique ..... 4

I.2 Préambule du béton de sable ..... 6

I.3 Définition du béton de sable ..... 6

I.3.1 Constituants du béton de sable ..... 6

I.4 Propriétés du béton de sable à l'état frais ..... 10

I.4.1 Compacité ..... 10

I.4.2 Maniabilité du béton frais ..... 11

I.5 Comportement mécanique du béton de sable ..... 12

I.6 Durabilité ..... 13

I.6.1 Phénomène de ségrégation des constituants ..... 13

I.6.2 Le retrait du béton de sable ..... 13

I.6.3 Fluage de béton de sable ..... 14

I.7 Les ajouts minéraux dans le béton de sable ..... 16

I.8 Intérêts et limites des bétons de sable ..... 17

I.8.1 Intérêt des bétons de sable ..... 17

I.8.2 Limites des bétons de sable ..... 17

***Table des matières***

I.9 Domaines d'application.....18

I.9.1 La préfabrication :.....19

I.9.2 Béton de sable coulé: .....19

I.9.3 La projection :.....20

I.10 Formulation de béton de sable .....20

I.10.1 Méthode théorique de formulation béton sable .....20

I.10.2 Méthode expérimentale de la formulation béton sable .....21

I.11 Conclusion .....26

CHAPITRE II: ..... 27

II.1 Généralités sur les Bétons légers .....28

II.1.1 Introduction.....28

II.1.2 Historique.....28

II.2 Définition béton léger.....29

II.3 Type des bétons légers .....31

II.3.1 Le béton cellulaire .....32

II.3.2 Le béton caverneux.....33

II.4 Les bétons de granulats légers .....34

II.4.1 Différents types de granulats légers .....35

II.5 Copeaux De Bois (pin, sapin, bouleau) :.....35

II.6 Les propriétés des bétons légers .....36

II.6.1 La porosité .....36

II.6.2 La légèreté.....37

II.6.3 La perméabilité l'eau .....37

II.6.4 La résistance à la compression des bétons légers.....37

II.6.5 Propriétés élastiques des bétons légers .....38

II.6.6 La masse volumique .....38

***Table des matières***


II.6.7 La durabilité .....38

II.6.8 La rhéologie à l'état frais.....38

II.7 Classification du béton léger.....39

II.8 Domaine d'utilisation des béton légers .....39

II.9 Les avantages des bétons légers.....40

II.10 Béton de bois.....41

II.10.1 Définition .....41

II.10.2 Les Granulats de Bois.....41

II.10.3 Caractéristiques physiques du Bois .....42

II.10.4 Différents procédés de traitement des granulats de bois .....43

II.10.5 Les composites de bois .....44

II.10.6 Caractéristiques physiques et mécaniques du béton de bois.....44

II.10.7 Influence des différents procédés de traitements sur les .....49

II.11 Conclusion .....50

CHAPITRE III: ..... 51

III.1 INTRODUCTION .....52

III.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS.....52

III.2.1 Ciment .....52

III.2.2 Sable : .....54

III.2.3 Eau de gâchage .....55

III.2.4 Superplastifiant .....55

III.2.5 Fillers calcaire.....55

III.2.6 Recyclage et caractérisation des déchets de coupeaux de bois.....56

III.3 Formulation du béton.....57

III.3.1 Préparation du mélange (Malaxage) : .....58

III.3.2 Confection et conditionnement des éprouvettes : .....59

***Table des matières***

III.4 Les essais effectués sur le béton du sable .....59

III.4.1 Essais à l'état frais.....59

III.4.2 Essai à l'état durcis :.....63

III.4.3 Absorption d'eau par capillarité.....68

III.4.4 Porosité.....69

III.4.5 Conductivité thermique .....70

III.4.6 Résistance au feu.....70

III.5 CONCLUSION : .....71

CHAPITRE IV: ..... 73

**ANALYSES ET INTERPRETATIONS**..... 73

IV.1 INTRODUCTION.....74

IV.2 Béton frais .....74

IV.2.1 La Maniabilité.....74

IV.2.2 La Densité.....74

IV.2.3 L'air occlus.....75

IV.1 Béton durcie .....76

IV.1.1 Résistance à la compression .....76

IV.1.2 Résistance à la traction par flexion .....77

IV.1.3 Absorption d'eau :.....78

IV.1.4 Porosité.....78

IV.1.5 Conductivité thermique .....79

IV.1.6 Retrait.....80

IV.1.7 Gonflement.....81

IV.1.8 Résistance au feu .....83

**CONCLUSION GENERALE** ..... 88

***Table des matières***

**RECOMMANDATION** ..... 89

**REFERENCES** ..... 90

# LISTE DES FIGURES

Figure I-1:. **:** Phare de port Saïd réalisé en béton aggloméré Coignet (Egypte)……5

Figure I-2: les constituants de béton .....7

Figure I-3: Fines sphériques et fines anguleuses .....8

Figure I-4: Différence entre le béton de sable chargé et le béton ordinaire .....9

Figure I-5: Effet des dosages en fines sur la compacité du béton de sable .....10

Figure I-6: Temps d'écoulement en fonction du module de finesse.....11

Figure I-7 : Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C).....12

Figure I-8: Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire .....12

Figure I-9: Eprouvettes non vibrées, non piquées .....14

Figure I-10: Retrait d'auto-dessiccation.....14

Figure I-11: Retrait total.....14

Figure I-12: Fluage d'auto-dessiccation.....15

Figure I-13: Fluage total.....16

Figure I-14: Le béton de sable dans la Préfabrication .....19

Figure I-15: Le béton de sable en projection. (Projection sur surface ancienne - Vue de détail avec nouveau ferraillage) .....19

Figure I-16: Le béton de sable coulé.....19

Figure I-17: Organigramme de la méthode théorique.....22

Figure I-18: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton Pour deux tailles du sable……..25

Figure I-19: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton Pour deux tailles du sable……25

Figure II-1: Classification des bétons légers.....28

Figure II-2: Représentation schismatique des différents types de béton léger.....29

## ***Liste des Figures***

Figure II-3:: Béton cellulaire .....32

Figure II-4: Le béton léger caverneux.....34

Figure II-5: coulage par béton léger.....34

Figure II-6: Coupeaux de bois .....36

Figure II-7: Porosité du béton.....36

Figure II-8: Béton léger.....41

Figure II-9: Evolution de la densité sèche en fonction de la teneur massique en bois .....43

Figure II-10: Variation de la résistance à la compression du béton de bois en fonction de la densité.....44

Figure II-11: Variation de la résistance à la compression en fonction de la porosité .. 45

Figure II-12: Résistance à la traction en fonction de la densité …… 46

Figure II-13: V influence du pourcentage massique de copeaux de bois sur la résistance à la flexion**.** .....48

Figure II-14: Variation de la conductivité thermique en fonction de la porosité**]…….** 49

Figure III-1: Essais de Vicat.....53

Figure III-2 : Analyse granulométrique de Sable utilisée .....54

Figure III-3: Broyage avant et après de filer calcaire .....54

Figure III-4: Traitement des coupeaux de bois.....55

Figure III-5: Le malaxage du béton de bois .....57

Figure III-6: Maniabilimètre à béton de sable avec la tige de piquage.....58

Figure III-7: Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable.....59

Figure III-8: Mesure de la densité du Béton de sable……..60

Figure III-9: Mesure de l'aire occlus …… ……....63

Figure III-10: Dispositif de rupture à la compression …….. ...64

Figure III-11**:** Dispositif pour l'essai de résistance à la traction**……...**64

## ***Liste des Figures***

Figure III-12**:** Mesure de variation dimensionnelle **……**66

Figure III-13**:** Absorption d'eau par succion capillaire **……**..... 68

Figure III-14**:** Essais de porosité **……**……69

Figure III-15: Essais de conductivité thermique ……..70

Figure III-16**:** Essais de résistance au feu **……**……71

Figure IV-1: Temps d'écoulement de BSB .....74

Figure IV-2: Densité de BSB .....75

Figure IV-3: l'air occlus de BSCB…… ..75

Figure IV-4: Résistance a la compression de BSB .....76

Figure IV-5: Résistance à la traction par flexion de BSB .....77

Figure IV-6: Absorption d'eau de BSB .....78

Figure IV-7 : Porosité de BSB .....78

Figure IV-8: Conductivité thermique de BSB .....79

Figure IV-9 : Retrait des de BSB .....80

Figure IV-10: Perte de masse de BSB…….81

Figure IV-11: Gonflement de BSB……...82

Figure IV-12: Gonflement de BSB……...82

Figure I.13: Résistance au feu en fonction (RC) de température …….....83

Figure I.14: Résistance au feu en fonction de % CB…….....84

Figure I.15: Résistance au feu (RI) en fonction de % CB……..85

# LISTE DES TABLEAUX

Tableau II.1: Les propriétés comparées des bétons cellulaires …….31

Tableau II.2: Caractéristiques de béton de granulats léger…… 33

Tableau III.1: L'analyse chimique du ciment et composition du clinker……50

Tableau III.2 : les caractéristiques physiques du ciment utilise…….51

Tableau III.3: Propriétés physiques d'identification de sables utilisé……. 52

Tableau III.4: Caractéristiques physiques du bois traité et non traite ……. 53

Tableau III.5: Composition des différentes BSB étudié dans un 1 $m^3$……..54

***Abréviation***

# LISTE DES ABREVIATIONS

**BS :** Béton de sable

**BSB:** Bétons de sable à base des copeaux de bois

**BS CON :** bétons de sable concasé

**BL :** béton léger

**CB :** copeaux de bois

**C.P.A :** Ciment portland artificiel

**C.P.J :** Ciment portland composé

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

$\mathbf{D_{max}}$ : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

**E/C :** Eau / Ciment

**E.S.P :** Equivalent de sable à piston

**E.S.V :** Equivalent de sable à vue

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

**G/S :** Gravillons / sable

**Ps(V)** : Porosité du sable d'étendue 80 µm et $D_{max}$

$\boldsymbol{\rho}$ : Densité du constituant exprimée en $g/cm^3$

**I** : Moment d'inertie de la section transversale

$\mathbf{R_c}$ : Résistance à la compression

$\mathbf{R_f}$ : Résistance à la flexion

$\mathbf{R_t}$ : Résistance à la traction

**V** : Volume des vides du mélange granulaire;

$\mathbf{V_0}$ : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8

**v** : La distance de la fibre la plus éloignée

# INTRODUCTION GENERALE

# INTRODUCTION GENERALE

La demande mondiale en énergie augmente et devrait se poursuivre augmenter chaque année. De 1980 à 2012, la consommation d'énergie augmentée d'environ 85%, trois des plus grandes économies du monde. Il est intéressant de noter que la demande en énergie du secteur du bâtiment aurait augmenté à un taux supérieur à celui du secteur commercial. En 2010, la demande énergétique mondiale dans le secteur des bâtiments était d'environ 115 EJ, soit 32% de la consommation énergétique mondiale totale. La plus grande partie est dépensée pour conditionner la température dans les maisons et les bâtiments surtouts dans les régions climatique chaude et humide. Afin de réduire la consommation d'énergie, les matériaux de construction doivent présenter une bonne isolation thermique. Conventionnellement, les propriétés thermiques du béton peuvent être améliorées en incorporant simplement des vides d'air dans le mélange de béton au moyen d'utiliser des granulats poreux ou d'utiliser une pâte de ciment aérée. Bien que la présence des vides dans le béton améliore l'isolation thermique, elle interfère également avec les propriétés mécaniques. Il On s'attend à ce que 5% de la résistance à la compression diminue pour chaque 1% de volume d'air inséré dans le béton.

La réduction croissante des ressources naturelles a suscité un intérêt mondial pour le recyclage des déchets. Des nombreux auteurs ont étudié la possibilité d'utiliser différents déchets industriels, pour produire du ciment et du béton. Ces matériaux se sont avérés appropriés comme matériaux de construction et respectent rapidement les exigences de conception. La possibilité d'utiliser ces matériaux a permis d'améliorer le recyclage des déchets et développer certaine propriétés de béton.

Les copeaux de bois sont des déchets provenant par l'industrie du bois, générés par les opérations de coupe, de fraisage et de forage lors de la préparation des produits du bois. Les propriétés des copeaux de bois peuvent varier considérablement selon des facteurs tels que l'origine géographique du bois, le type de bois, la partie de l'arbre, le type de processus industriel qui produit les copeaux, etc. le problème de l'utilisation des copeaux de bois dans le béton et par son absorption de l'eau adéquat de mélange. Certains projets de recherche ont utilisé des traitements avant utilisés dans les bétons et les mortiers.

# ***Introduction générale***

Le béton est un produit fabriqué à partir de granulats (gravier, sable), ciment, eau et ajouts divers. Lorsque on utilise uniquement des sables, on parle alors un type spécieux c'est le béton de sable où de béton de sable chargé lorsque ce dernier contient des graviers avec une proportion dont le rapport G /S ne dépassant pas un 1. Le Béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau,: excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, bonne qualités esthétiques, etc.

C'est dans ce contexte que s'inscrit ce travail de mémoire. L'accent sera mis d'un point de vue écologique et économique, l'objective de notre investigation en premier lieu est de produire un béton de sable à base des co-produit et déchets industrielle plus particulièrement en tant que granulats afin a réduira l'extraction des granulats et les émissions de $CO_2$ tout en prolongeant la vie des décharges qu'ils aident actuellement à saturer. En deuxième lieu ce travail vise à étudier les propriétés, physiques, mécaniques et suivi la durabilité surtouts aspect thermique du béton de sable incorporant des copeaux de bois comme granulats fin (sable).

Outre l'introduction générale, la présente thèse s'articule en quatre chapitres :

- **Chapitre I** : donne une définition détaillée sur les bétons de sable (définition, avantage, application dans le monde……..).

- **Chapitre II** : donne un aperçu général sur les principaux constituant du béton léger ; comment formuler un BL ; les propriétés des BL à l'état frais et l'état durcis.

- **Chapitre III** : regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant notre étude, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués.

- **Chapitre IV :** donne une analyse et discussion des résultats des différents essais réalisés dans la partie expérimentale.

Finalement, la conclusion résume les résultats obtenus dans ce travail ainsi que des perspectives de recherche dans le futur.

# CHAPITRE I:

## Béton De Sable

# *Chapitre I: Béton de sable*

## I.1 Aperçu général sur les Bétons de sable

### I.1.1 Historique

Le béton de sable est une technique connue de très longtemps en Union Soviétique, l'actuelle Communauté des Etats Indépendants (C.E.I). Il semble qu'elle lI a technique) soit parvenue dans ce pays par la Belgique et l'Allemagne **[1]**.Il y a plus de deux milles ans, les romains utilisaient comme liant la chaux vive obtenue par la cuisson du calcaire. Ils employèrent cette chaux mélangée à du sable après avoir constaté que lorsque ce sable était d'origine volcanique, ils obtenaient un produit très résistant, durable et capable de faire prise avec l'eau. De grands monuments tels les « Panthéon », les « Colisée » témoignent de la durabilité du premier matériau composite de l'histoire des techniques industrielles **[2]**

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 **[1]** 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. (Figure I.1) **[3]**.

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. 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 **[3]**.

En 1918, le Comte Nicolas de Rochefort publie (en russe) à Pétrograd (actuel Leningrad), aux éditions Rickler, un ouvrage de génie civil où il décrit la technique du béton

de sable; de Rochefort donne des détails d'une surprenante fraîcheur technique: il signale dans son ouvrage que, si l'on broie en même temps du clinker et du sable dans un rapport de un pour un, on obtient un produit qui, mélangé au sable naturel dans un rapport de un pour trois, conduit aux mêmes rés istances qu'un mélange 1/3 de clinker broyé seul et de sable, c'est-à-dire que l'on double les performances du ciment! Le Comte de Rochefort a poussé l'expérience sur les compositions de broyage clinker/sable encore plus faible: 1/8 pour obtenir des résistances étonnantes **[1]**



**Figure I-1:** Phare de port-said « égypte » réalisé en béton aggloméré coignet

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 **[3]**.

## I.2 Préambule du béton de sable

Le béton de sable est un matériau confectionné a partir de sable ; de ciment ; d'eau et de fillers naturels ou industriels. Dans un pays comme l'Algérie de plus de deux million de km2 avec un désert très vaste occupant l'essentiel de la superficie, les prix de revient du transport de pierres ou de granulats sur des certaines de kilomètres, revient très cher . or justement le sud algérien est très riche en sable de différents granulométries ainsi que des fines naturelles (Laghouat ; Ouargla , etc……) **[4]**

## I.3 Définition du béton de sable

Le béton de sable est un béton formé par mélange de sable, de ciment, d'addition(s) et d'eau. Des ajouts (adjuvants,fibres ... ) peuvent également être incorporés au mélange. Il est donc principalement constitué de sable. Son dosage en ciment est du même ordre que celui des bétons classiques soit entre 250 à 400 kg/m3. Cette similitude lui vaut, entre autre, le terme de "béton". lI se distingue du mortier par, notamment, son dosage en ciment, celui d'un mortier étant de 400 à 700 kg/m3, et par son domaine d'utilisation **[1]**

### I.3.1 Constituants du béton de sable [3]

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajouts, de ciment et d'eau. Par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants (Figure I.2)

#### I.3.1.1 Les sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541 (ES≥ 75 si le sable est roulé et ES≥ 65 s'il est broyé) **[1]**. Il peut s'agir d'un sable alluvionnaire, de ballastière ou de concassage 0/D.Aucun critère granulométrique n'est exigible à priori, la seule restriction d'emploi réside dans la propreté. Les sables de plage ou des dunes pourraient donc être utilisés **[5, 7]**

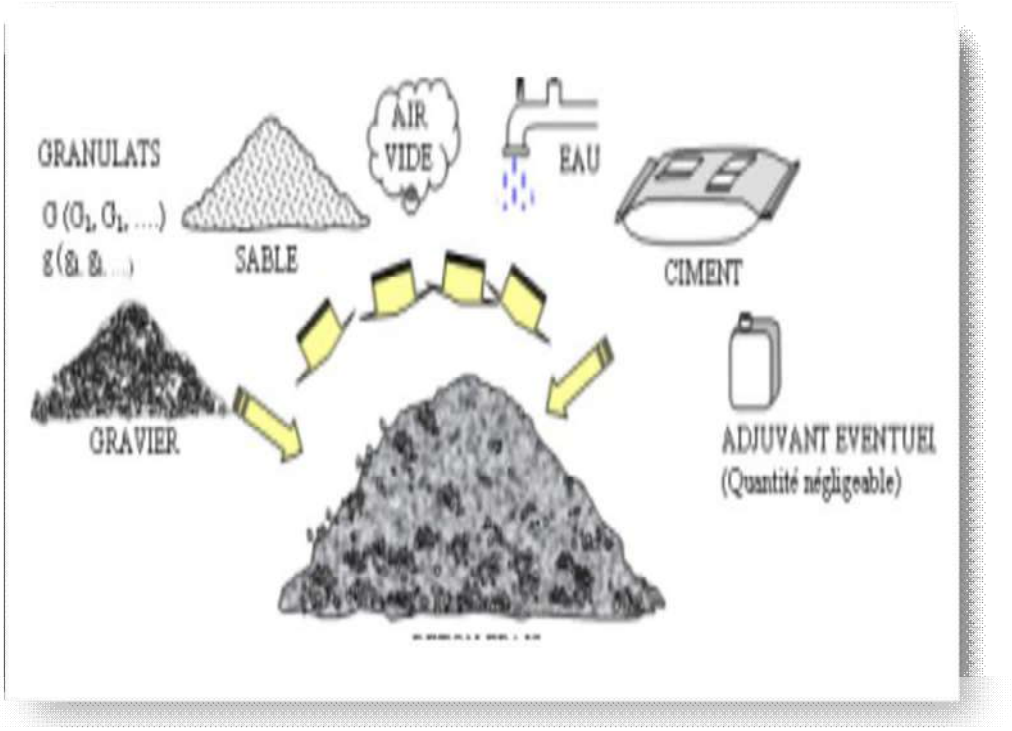



**Figure I.2 :** les constituants de béton **[5]**

### I.3.1.2 Les ciments

Ceux utilisés sont conformes à la norme NFP15-301 [8], ils sont utilisés comme liants hydrauliques, servent à combler les vides entre les grains de sable et jouent le rôle de fillers. Les dosages en ciments sont du même ordre de grandeur que ceux des bétons classiques (entre 200 et 400 Kg/m3). Dans cette fourchette et pour un même usage que des bétons classiques, le dosage retenu pour le béton de sable est généralement plus élevé; dans la plus part des cas. **[2]**

### I.3.1.3 L'eau

Elle est conforme à la norme NFP18-303. La proportion élevée d'éléments fins nécessite un volume de mouillage plus important, élevant le rapport E/C au-dessus de celui des bétons ordinaires; on utilise la valeur E/C la plus faible possible en augmentant la compacité et en utilisant des plastifiants (adjuvants réducteurs d'eau) **[8]** ; l'incorporation de plastifiant réducteur d'eau et la sélection de fillers adéquats peuvent réduire la quantité d'eau dans des proportions non négligeables **[7]**.

### I.3.1.4 Les fines d'ajouts

Il s'agit de produits chimiques utilisés à faible dose, de la même façon et dans le même but que pour les bétons classiques à savoir l'amélioration des performances. Dans la technique du béton de sable sont principalement utilisés des plastifiants permettant de réduire le dosage en eau et, de ce fait, d'augmenter la résistance et la compacité et de diminuer les rrsques de retrait excessif; les adjuvants améliorent aussila maniabilité c'est-à-dire la facilité de mise en oeuvre du béton **[1].**

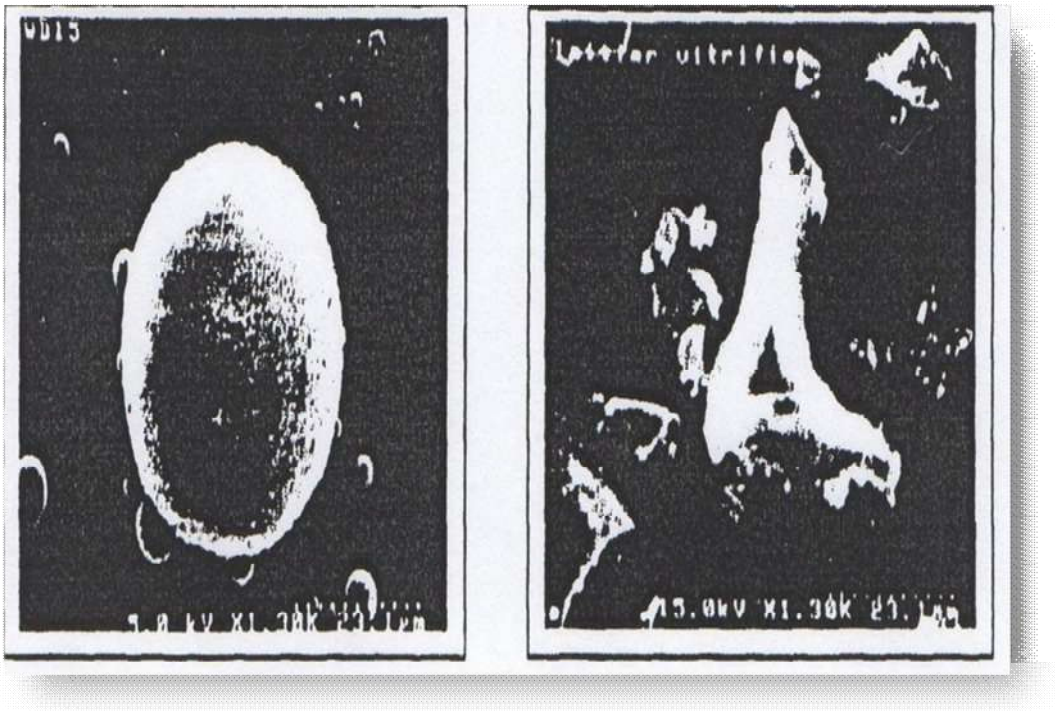


**Figure I.3 :** Fines sphériques et fines anguleuses **[3]**

### I.3.1.5 Les adjuvants

Les adjuvants employés devront être conformes aux normes NFP 18-340 **[8]** Généralement on utilise des plastifiants ou super plastifiants dont l'objectif est d'améliorer la maniabilité du béton de sable en réduisant la quantité d'eau ce qui augmente les caractéristiques du béton. Ils ont un rôle essentiel dans la technique des bétons de sable; ils dé floculent les éléments fins et permettent de limiter le dosage en eau; le rapport E/C dans les bétons de sable est plus élevé que dans les bétons traditionnels: diminuer ce rapport permet d'augmenter les performances (accroissement de la compacité et résistances) et de réduire les risques de retrait excessif **[2,9]**

### I.3.1.6 Les fibres

Elles sont surtout utilisées dans le but de réduire le retrait au premier âge : dosage et nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de cet ajout. On utilise dans la plupart des cas des fibres organiques (polypropylène.) pour contrecarrer les effets du retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte pour limiter les effets de retrait. Si l'on veut améliorer la ductilité, on pourra utiliser des fibres d'acier ou des fibres de fonte amorphe **[3].**

### I.3.1.7 Les gravillons

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et conserver sa dénomination de « béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable, et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste le même, l'ajout de gravillons en faible dosage peut améliorer certaines caractéristiques du béton de sable telles que la maniabilité, le retrait, le fluage et la résistance mécanique. En pratique, on pourra considérer qu'on a affaire à un béton de sable tant que le rapport massive G/S (gravillon/sable) reste inférieur à 0,7 **[8.]**

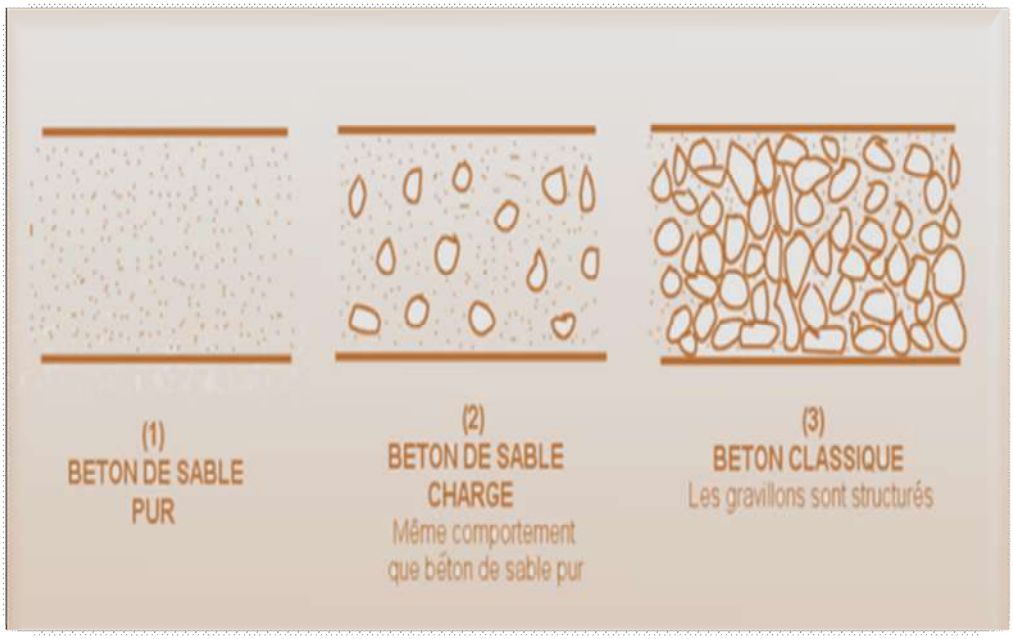



**Figure I.4 :** Différence entre le béton de sable chargé et le béton ordinaire **[8]**

## I.4 Propriétés du béton de sable à l'état frais

### I.4.1 Compacité

La compacité est une qualité essentielle qui influe sur les performances du béton. L'optimisation de la compacité relève d'une démarche visant à minimiser la quantité d'eau à ajouter au mélange sec et à optimiser la teneur des ajouts.

#### I.4.1.1 Effet de la granulométrie du sable sur la compacité

D'après plusieurs études expérimentales **[7]**, il a été montré qu'un sable alluvionnaire (Dmax*5mm) nécessite moins de fines qu'un sable de dune (Dmax<1mm). Ceci pourra s'expliquer par le fait que la porosité dépend de la granulométrie du sable qui est une fonction de la nature du sable, et plus le sable est poreux (le cas d'un sable dunaire) plus on a besoin de fines. Bien que dans ce cas cet inconvénient soit compensé par l'ajout de fines qui améliore la compacité, le béton de sable reste toujours moins compact que le béton ordinaire **[9]**

#### I.4.1.2 Effet de l'addition des fines

En fonction de la finesse, du dosage en fines et du dosage en ciment, on a pu remarquer qu'il existe un dosage optimal à partir duquel la compacité commence à diminuer la figure I.5

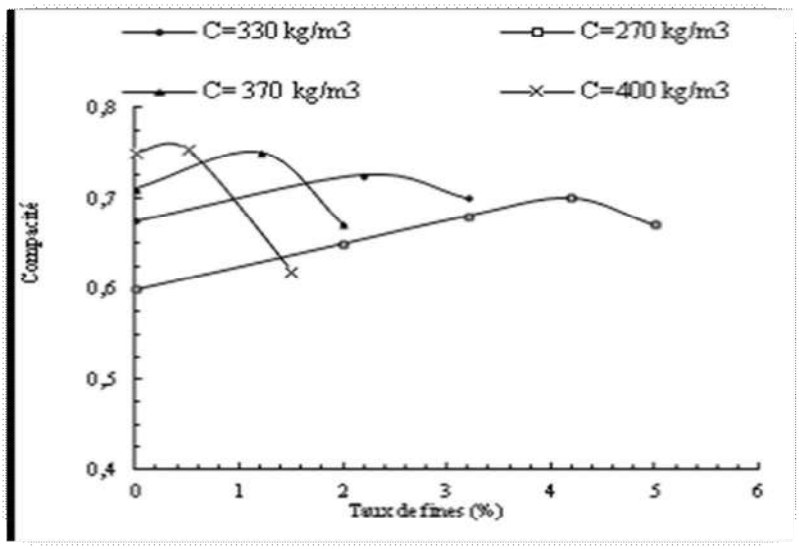


**Figure I.5 :** Effet des dosages en fines sur la compacité du béton de sable **[10]**

### I.4.2 Maniabilité du béton frais

La maniabilité est l'une des caractéristiques de grande importance, elle dépend essentiellement de la qualité et de la quantité d'eau utilisée. La granulométrie du sable influe sur les besoins en eau de mélange; plus le sable est riche en éléments grossiers plus la maniabilité s'améliore comme le traduit la figure I.6 qui exprime une relation entre le module de finesse et la maniabilité

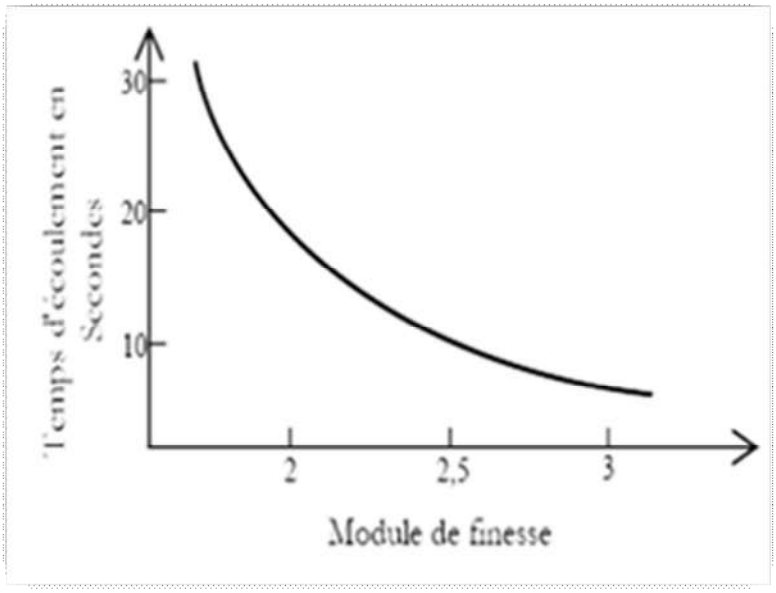



**Figure I.6 :** Temps d'écoulement en fonction du module de finesse **[11]**

La figure I.7 montrent clairement que la maniabilité est améliorée quand le rapport E/C augmente. Cependant, pour un rapport E/C fixe, la maniabilité dépend de la nature des fines d'ajout. La faible étendue granulaire du béton de sable et donc la grande homogénéité combinée à une bonne maniabilité attribuent au béton de sable un meilleur comportement que les bétons traditionnels, vis-à-vis de la ségrégation. En suivant les règles de formulation, basée sur une optimisation complète de la compacité, les bétons de sable doivent présenter une bonne ouvrabilité, de l'ordre de 7 à 10 secondes au maniabilimétre LCL à mortier **[7]**.

La figure I.8 observent que la maniabilité des bétons de sable dunaire augmente considérablement si on augmente E/C. **[12]**

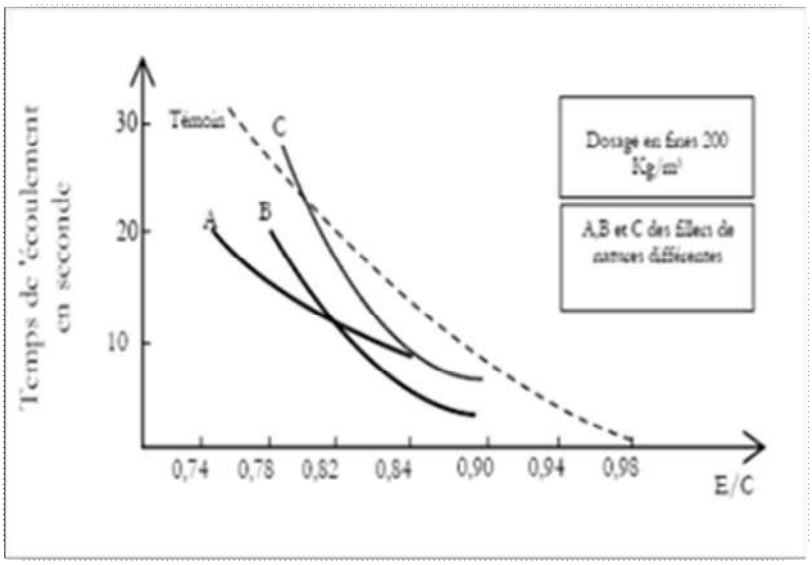



**Figure I.7 :** Variation du temps d'écoulement en fonction de (E/C) **[7]**

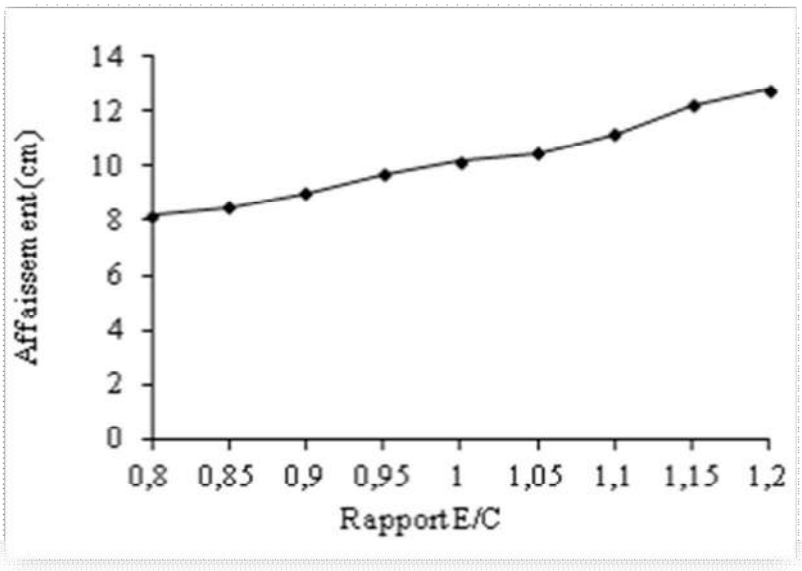



**Figure I.8 :** Influence du rapport E/C sur la maniabilité d'un béton de sable dunaire **[12]**

## I.5 Comportement mécanique du béton de sable

Les performances mécaniques ne sont pas les seuls critères de jugement de la qualité d'un béton, même si la classification des bétons selon des performances mécaniques reste un repère dans l'esprit des utilisateurs. Aussi, même s'il est vrai que les résistances des bétons de sable sont en général inférieures à celles des bétons classiques d'une part, et que la cinétique de montée en résistance est plus lente ce qui peut en limiter l'usage pour des ouvrages mis en charge précocement, d'autre part, il est aisé d'obtenir des bétons de sable à hautes performances mécaniques, même à court terme. La résistance dépend d'un certain nombre de paramètres tels que : La finesse des fines d'addition, la nature de fines d'addition, la dimension du Dmax …**[6]**

## I.6 Durabilité

Les paramètres tels que porosité, répartition géométrique des pores et perméabilité sont des paramètres physiques de premier ordre de la durabilité. D'une façon générale, les bétons de sable sont plus poreux que les bétons traditionnels. Leur pores sont plus nombreux, plus petits et davantage monodimensionnels. Cette distribution poreuse particulière contribue pour une bonne part à leur bon comportement vis à vis des essais de durabilités **[7,13]**

### I.6.1 Phénomène de ségrégation des constituants

Du fait de leur faible étendue granulaire, et donc de leur plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, cela confèrent aux bétons de sable un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels. Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en oeuvre variables. Les deux figures qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastiques équivalentes (cône de 14 cm)[3].(Figure I.9)

### I.6.2 Le retrait du béton de sable

Le retrait d'auto-dessiccation est caractérisé par une cinétique semblable à celle du béton classique. Une différence de l'ordre de 10% existe par rapport à ce dernier. Cette différence, couramment observée à l'intérieur même de la gamme des bétons, est due à une perte en masse plus rapide pour le béton de sable. Le rapport des déformations de retrait de dessiccation des deux bétons, en fin d'essai (6 mois), est égal à 1.6 correspondant globalement au rapport de perte en masse au même âge,. En conclusion nous pouvons dire que le retrait est une fonction croissante de l'eau évaporable (taux de séchage) **[22, 31, 32]**. Notons que la valeur du retrait du béton de sable est voisine de celle du béton ordinaire s'il est conservé dans un milieu étanche. Si la conservation se fait dans un milieu sec, la valeur du retrait du béton de sable est double de celle du béton ordinaire (Figure I.10) **[3].**



Béton Ordinaire Béton De Sable

**Figure I.9 :** Eprouvettes non vibrées non piquées **[7]**

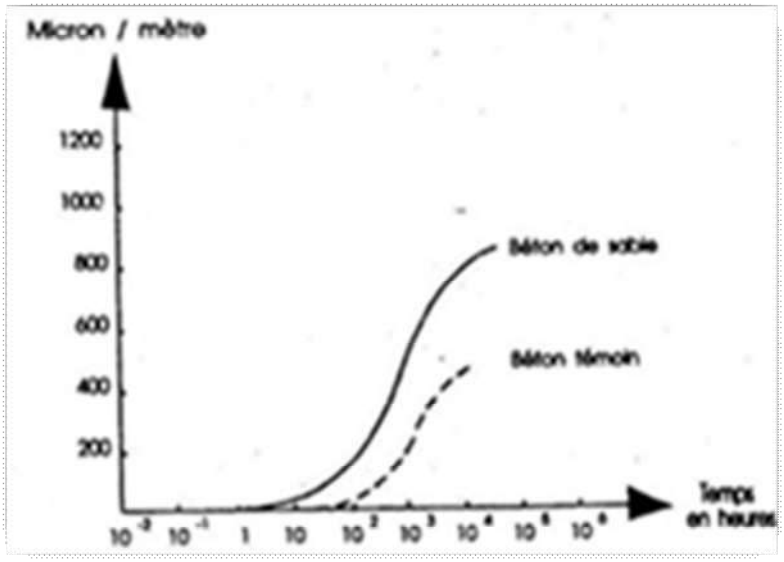


**Figure I.10 :** Retrait d'auto-dessiccation **[7]**

### I.6.3 Fluage de béton de sable

La cinétique de fluage propre n'est pas très différente des bétons ordinaires aux bétons de sable, alors que le fluage de dessiccation du béton de sable a une cinétique extrêmement rapide, deux fois plus importantes. Les valeurs du fluage du béton de sable, sont deux fois que celles du béton ordinaire (Figures I.12 et I.13).Ces résultats correspondent à un niveau de résistance en compression de 25MPa. [14,15].

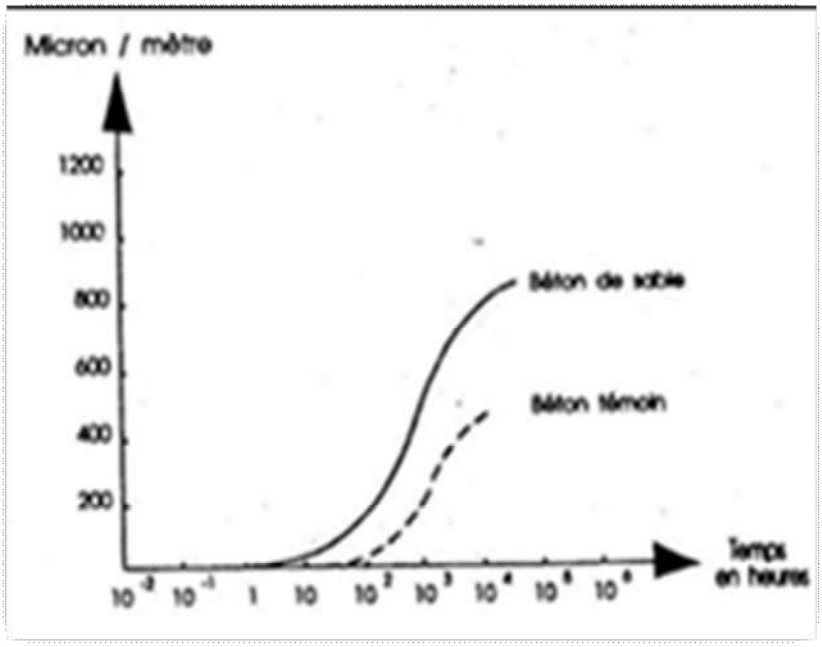



**Figure I.6 :** Temps d'écoulement en fonction du module de finesse **[11]**

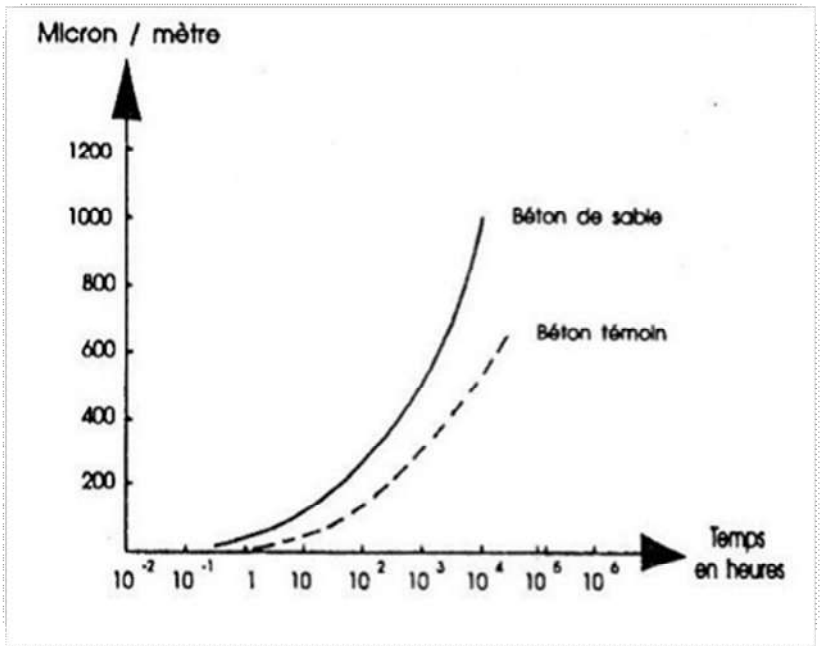


**Figure I.12 :** Fluage d'auto-dessiccation

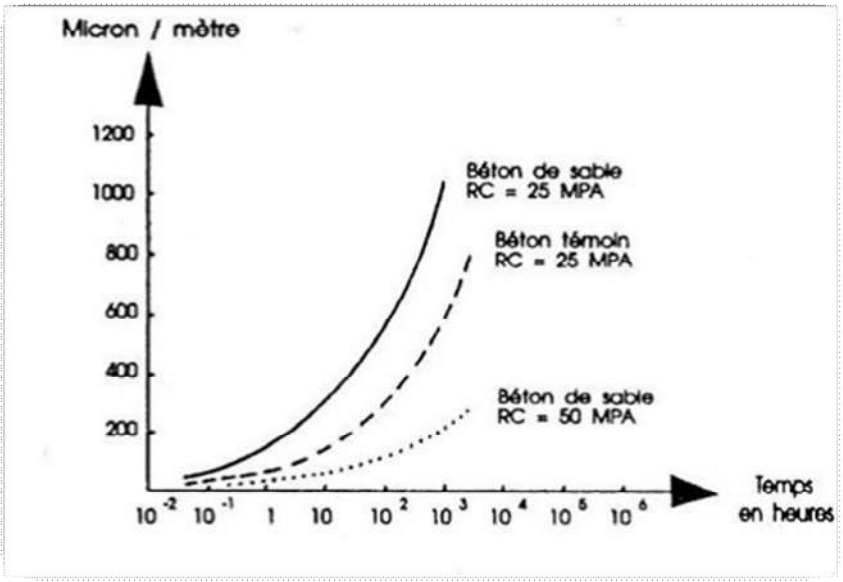



**Figure I.13 :** Fluage total

## I.7 Les ajouts minéraux dans le béton de sable

Les ajouts sont particulièrement importants puisque ce sont eux qui vont modifier le matériau de base pour le rendre apte à l'usage envisagé [7];en effet les fillers comblent les vides inter granulaires du sable, améliorant ainsi sa compacité naturelle et permettant l'augmentation des performances du béton de sable envisagé[16]. Les performances des bétons de sable dépendant du dosage en ciment et de celui en fillers ainsi que la nature pouzzolanique ou non de ces derniers.les fillers inertes peuvent, non seulement combler les vides, mais aussi influencer la résistance des mortiers d'une façon favorable. Les poudres réactives [17] telles que fumée de silice, laitiers de haut fourneau, poudres de basalte, silexites, cendres broyées de balles de riz [18] cendres volantes [19] tufs volcaniques, diatomites, etc.…agissent par un double effet : correction granulométrique et effet pouzzolanique. Le rôle des fillers dans le béton de sable assure deux fonctions principales :l'une grossière ,de remplissage, l'autre complexe, d'améliorationde l'enchevêtrement cristallin et de la cohésion du mélange .Ces deux fonctions se retrouvent d'ailleurs au

niveau de la rhéologie du béton de sable frais [7]. Les ajouts minéraux peuvent être naturels ou artificiels et sont classés en actifs et inerte scomme suit :

- Les ajouts minéraux actifs : la pouzzolane, la fumée de silice, les cendres volantes, le laitier de haut fourneau……etc.
- Principaux ajouts minéraux inertes: fillerscalcaires, la poussière……etc**.[6]**

## I.8 Intérêts et limites des bétons de sable

Le béton de sable, comme tout autre matériau, a des intérêts et des limites :

### I.8.1 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 :

#### I.8.1.1 La maniabilité

le béton de sable, étant plus maniable, permet de faciliter la mise en œuvre, de diminuer l'énergie de la mise en place et d'augmenter les longueurs de pompage.

#### I.8.1.2 La cohésion et l'absence de ségrégation

le béton de sable assure une assez bonne cohésion et une absence de ségrégation qui est due à la variation peu importante entre les dimensions des grains.

#### I.8.1.3 Le poids plus faible

C'est une propriété recherchée dans les travaux de réhabilitation des structures anciennes ou pour le remplissage des structures neuves.

#### I.8.1.4 Faible granularité

Ce qui rend le béton de sable utile dans les travaux d'injection et pour le bétonnage d'un milieu fortement ferraillé.

### I.8.1.5 Aspect de surface

le béton de sable permet la réalisation d‘effet architectonique tant sur la forme que sur l‘aspect. Ajoutons à tout ceci l‘abondance de la matière première dans certaines régions et la raréfaction des gros granulats.

### I.8.2 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.

### I.8.2.1 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.

### I.8.2.2 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 [20].

## I.9 Domaines d’application

Le domaine d'emploi actuel du béton de sable est sensiblement équivalent à celui du béton traditionnel. D'ailleurs, l'usage du béton de sable est plus ancien et s'il a été délaissé, c'est qu'il a été possible d'obtenir à moindres frais des résistances élevées avec des granulats de plus gros diamètres. En définitive: - ou bien, dans l'usage envisagé, le béton de sable apporte un "plus" technique par rapport au béton classique, et même àcoût équivalent il est plus intéressant; dans cette éventualité le coût du sable n'est pas obligatoirement une donnée plus importante qu'elle ne l'est d'ordinaire.

Dans le cadre du projet national **SABLOCRETE,** en France, beaucoup de réalisations pilotes ont été faites dans les domaines des routes (dalles de chaussées rigides, bordurescaniveaux), du bâtiment (dallage parpaings, poutres en béton précontraint l et des ouvrages d'art (pieu foré à la tarière creuse, pieu foré sous bentonite) . (cf annexe Fl. En outre, nous notons des réalisations quasi centenaires en Union Soviétique Pont de Chernavskif, l'aérodrome militaire de Pevek ...) [1].

Le béton de sable peut être utilisé dans différents domaines, et sous plusieurs formes. La plupart des applications actuelles tiennent davantage à ses propriétés spécifiques. Les figures suivantes illustrent ces applications :

### I.9.1 La préfabrication :

Le béton de sable peut être utilisé dans la préfabrication pour des murs architecturaux, pour des mobiliers urbains, en bâtiment et en voirie (Figure I.14)

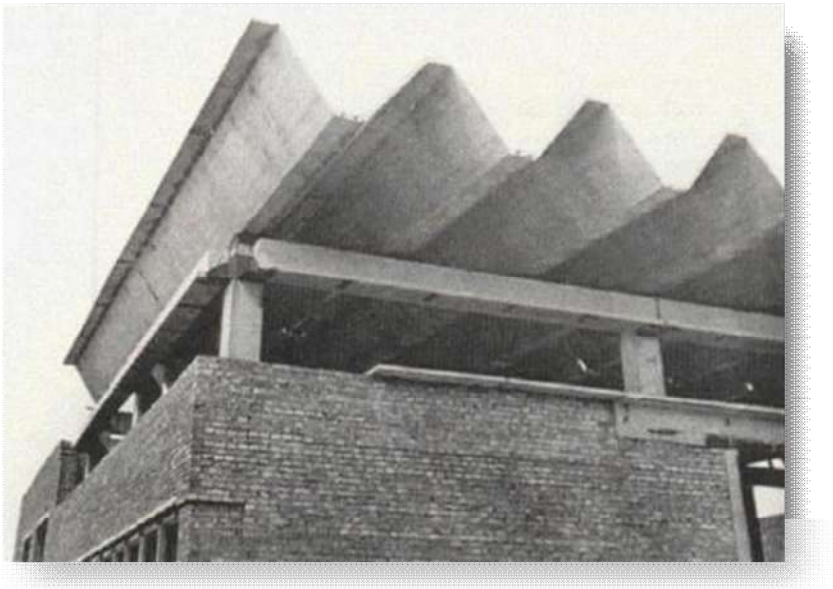


**Figure I.14 :** Le béton de sable dans la Préfabrication. **[20]**

### I.9.2 Béton de sable coulé:

Il peut être coulé sur place dans les routes et autoroutes, dans les aérodromes et en bâtiment (Figure I.15).

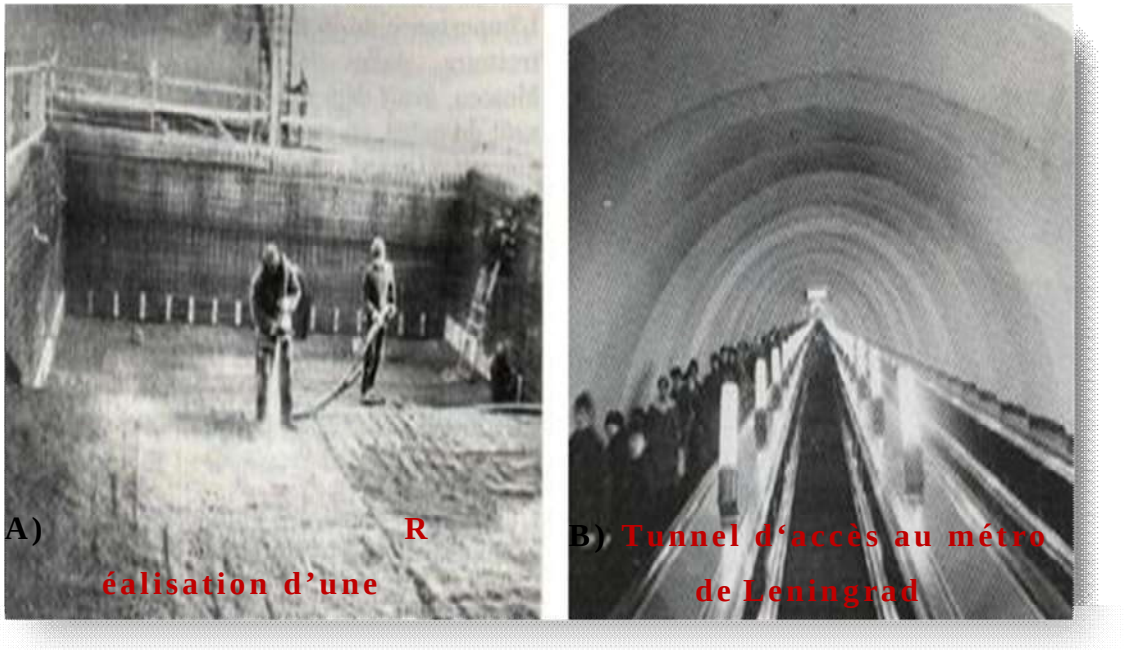



**Figure.15 :** Béton de sable coulée



**Figure I.16 :** Le béton de sable en projection. (Projection sur surface ancienne - Vue de détail avec nouveau ferraillage). **[20]**

### I.9.3 La projection :

Le béton de sable peut être également utilisé en projection dans des travaux de rénovation, de ponts, d'égouts visitables et de bâtiments (Figure I.15)

## I.10 Formulation de béton de sable

Le béton de sable est un matériau nouveau encore au stade de la recherche. Le principal problème posé par son emploi est la conception de méthode de compositions compatibles avec les divers usages qu'on en fait. Les performances d'un béton de sable sont extrêmement dépendantes de la qualité et de la rigueur de la formulation.

### I.10.1 Méthode théorique de formulation béton sable

Quelques exemples de formulations théoriques **[21],** qui fournissent des ordres de grandeurs très plausibles des dosages des différents constituants, ont été proposés pour des matériaux bien déterminés. La démarche, dans la plupart des cas de ces formulations, demeure très empirique. Elle consiste à optimiser la compacité du béton et à estimer ensuite ses performances potentielles. L'estimation de la résistance a été menée en vue d'une optimisation du dosage en fillers. La formulation dispose alors de la possibilité, pour un jeu de constituants donné, de faire varier le dosage en ciment pour affiner la résistance, en demeurant à la compacité optimale. Ces méthodes théoriques de formulation, malgré les limitations faites de nombreuses hypothèses qui la jalonnent, constituent une base pour la mise au point d'une formule de béton de sable qui doit ensuite être validée et ajustée expérimentalement (Figure I.17). Il existe d'autres méthodes expérimentales qui peuvent différer en fonction de l'approche théoriques adoptées à la base. Toutefois, l'objet reste le même : formuler un béton de sable qui soit le plus compact possible en accord avec les autres caractéristiques recherchées (possibilité de pompage, facilité de moulage et aptitude à la projection) **[4].** Les approches de formulation des bétons de sable sont complétées par, la méthode de formulation théorique basée sur l'optimisation de la compacité de squelette granulaire, et la méthode expérimentale basée sur la réalisation de gâchées successives.

### I.10.2 Méthode expérimentale de la formulation béton sable

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 enjeu 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 fixe, 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 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. Différentes 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. Les différentes étapes de la formulation expérimentale basé de déterminer un BS sans fines d'addition et par la suit avec fine d'addition

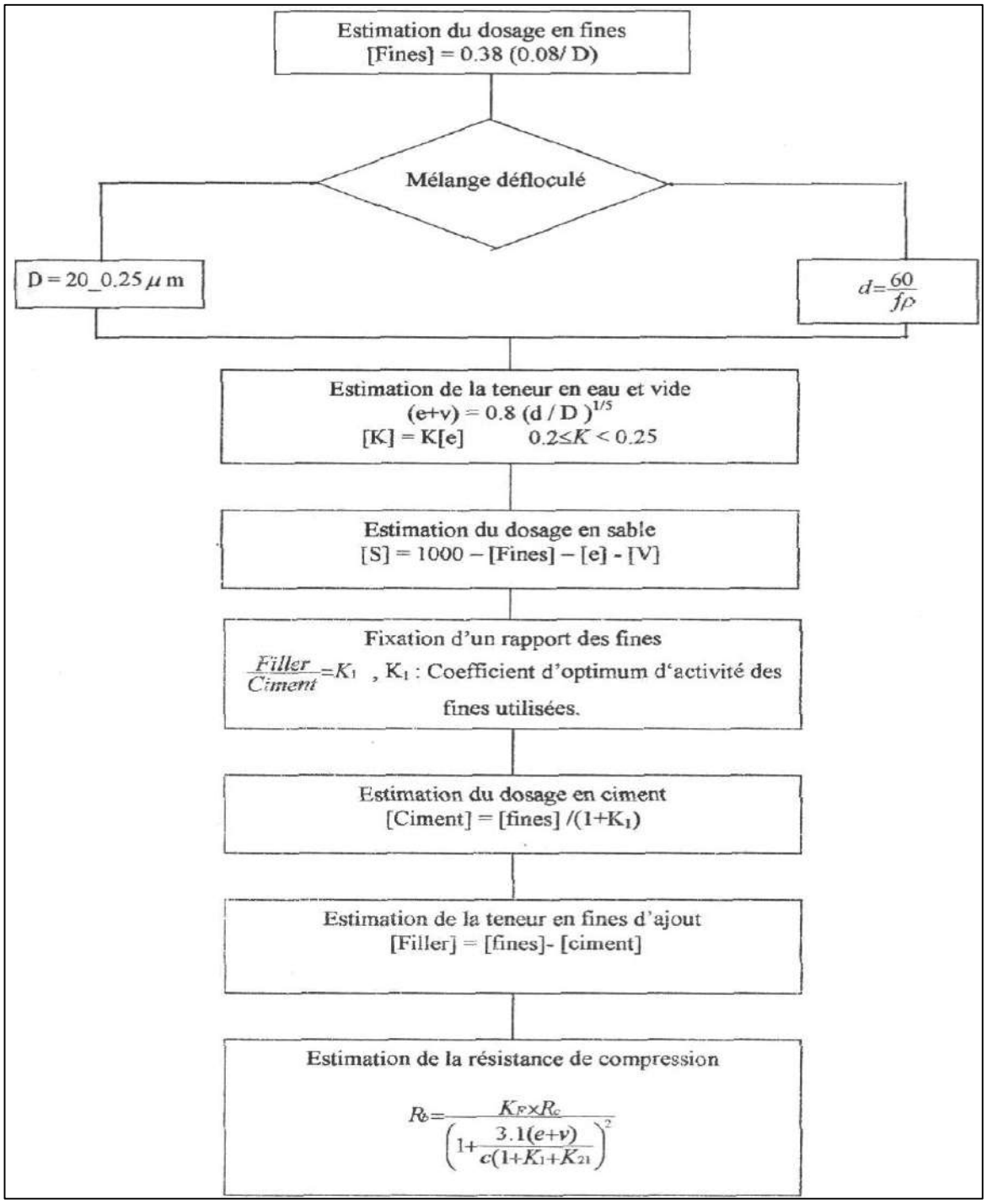



**Figure I.17 :** Organigramme de la méthode de la formulation théorique [3]

### I.10.2.1 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** ($1/m^3$), suffît. Pour estimer ce dosage, les praticiens s'appuient sur l'expérience. Par exemple, on peut prendre 230 litres d'eau pour 350 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 dé floculer 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 laformule par du sable de manière à obtenir un mètre cube de béton; on aboutit à la relation suivante:

$$\mathbf{V_{air} + V_{c} + V_{E} + V_{adj.} + V_{sable} = 1\,000} \qquad \textbf{Eq. I.1}$$

Les masses volumiques des constituants du béton sont connues, alors, on peut connaître la masse de sable pour une formule de un mètre cube du béton S ($Kg/m^3$).

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

Lorsqu'on fait la confection de la formule initiale du béton, et la détermination de :

- La valeur du temps d'écoulement au Maniabilimètre à mortier LCL.
- La masse volumique apparente réelle du béton (MVAR).

Cette formule doit être corrigée à l'aide de l'équation itérative suivante :

Tel que : MVAT et MVAR représentent respectivement la masse volumique apparente théorique et la masse volumique apparente réelle du béton. Si le temps d'écoulement au Maniabilimètre est inférieur à la valeur visée il faut retrancher un volume V d'eau (+V dans l'équation) ; si le temps d'écoulement est supérieur, il faudra rajouter un volume V d'eau de manière à rendre le béton plus maniable (-V dans l'équation).Après chaque correction, la masse volumique apparente théorique devra être comparée à la masse volumique apparente réelle.

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm V \times MV_{sable} \qquad \textbf{Eq. I.2}$$

### I.10.2.2 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 :

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \qquad \text{Eq. I.3}$$

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 :

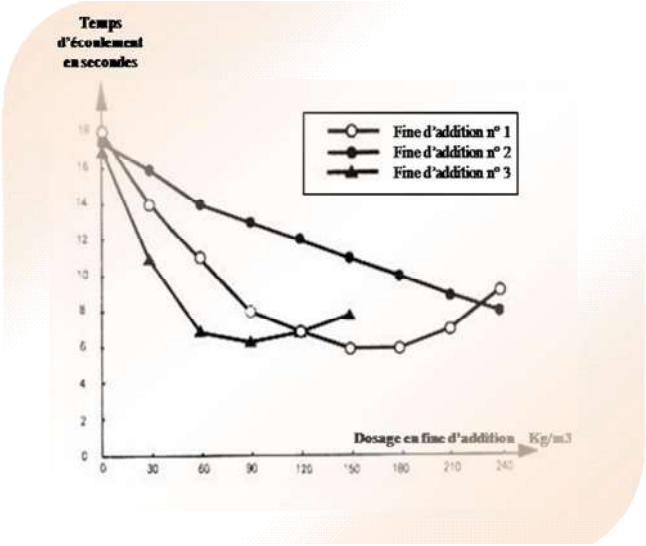



**Figure I.18** Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton

Pour deux tailles du sable [58]

❖ **Fine d'addition N°1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 180 Kg/m$^3$ de fines. Figures II.23, II.24.

❖ **Fine d'addition N°2** : Dans sa plage de dosage (0 à 240 Kg/m$^3$) 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/m$^3$ de fines en fines d'addition.

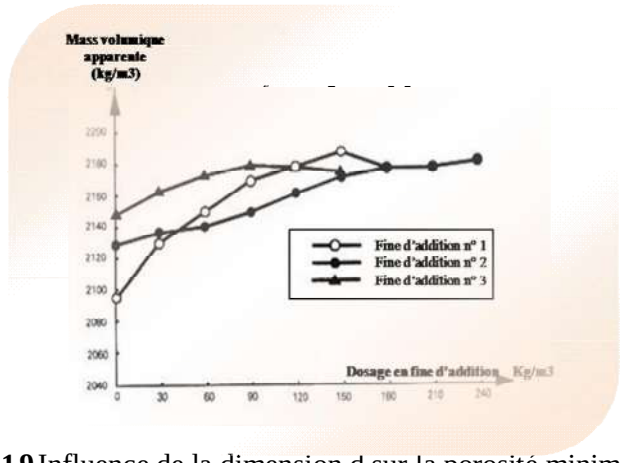



**Figure I.19** Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton

Pour deux tailles du sable [58]

## I.11 Conclusion

D'après cette partie de recherche bibliographique, l'essentiel est résumé sur la formulation du béton de sable, ces constituants ainsi que l'importance de son utilisation. La formulation des bétons de sables relève de l'optimisation de la compacité d'un mélange quaternaire : sable, ciment, filler et microfiller. En effet, l'avantage du béton de sable c'est qu'il est un matériau présentant moins de fissures. Cette hypothèse est expliquée par l'absence des gros granulats et du faible module d'élasticité, de plus son uniformité de séchage, et aussi par la porométrie et l'homogénéité de ce matériau.

# CHAPITRE II:

## Bétons Légers et Béton De Bois

## II.1 Généralités sur les Bétons légers

### II.1.1 Introduction

Le béton léger offre comme avantages sa faible densité et son pouvoir isolant élevé et comme inconvénients sa plus faible résistance et son coût plus élevé. Grâce au développement de la production industrielle des granulats légers, on a pu améliorer ces propriétés fondamentales, notamment l'important rapport résistance: densité. Ainsi aujourd'hui, les bétons légers conservent un très bon pouvoir isolant en ayant malgré cela des résistances appréciable. Si pour des objets déterminés, on examine les quatre propriétés déjà mentionnées, à savoir: résistance, densité, pouvoir isolant et coût, on constate bien souvent qu'il y a avantage à utiliser le béton léger comme béton de construction. Ce qui est déterminant dans cette étude, c'est surtout la diminution du poids propre des éléments de construction, ainsi que les simplifications qui résultent du fait que la construction comporte en elle-même une excellente isolation. Les granulats légers artificiels modernes sont fabriqués à partir de grains de schiste ou d'argile plastique. Soumis à la chaleur, ces matériaux gonflent, ce qui leur confère une structure fortement poreuse. Dans cet état, ils sont soumis à une cuisson qui les solidifie. C'est pourquoi ces matériaux légers sont désignés après leur traitement par schistes expansés et argiles expansées [27].

### II.1.2 Historique

L'idée d'utiliser, pour la confection du béton, des granulats légers en vue d'obtenir un matériau qui possède à la fois un faible poids et une résistance appréciable, et une isolation thermique ou acoustique est assez ancienne. L'historique de la production des agrégats légers à partir des sources naturelles remonte au temps des Préromains et continue aujourd'hui avec les roches volcaniques poreuses mais ces ressources sont limitées aux régions d'activités volcaniques.En effet le Panthéon de Rome est un exemple de construction ayant nécessité l'emploi de béton léger. Cette structure est remarquable tant du point de vue architectural que structural. Son dôme, d'un diamètre de 43m est une réalisation architecturale majeure pour l'époque (138 avant J.C). A la base de la structure on retrouve un béton ordinaire, alors qu'un béton léger, contenant des pierres ponces, a été utilisé pour la construction de la coupole.

A partir de la fin du 19ème siècle, avec le développement du béton armé, et à cause de la rareté des agrégats naturels poreux et à leur existence dans la plupart des pays développés, des recherches pour la fabrication d'agrégats légers artificiels commencèrent [28]. Avant 1917, S. J. Hayde1, par un traitement au four rotatif, parvint à obtenir l'expansion thermique des schistes et des argiles pour fournir un matériau dur servant à la fabrication d'un béton qui possédait à la fois un faible poids et une résistance appréciable. A peu près à la même époque, F. J. Straub1 commença à utiliser des cendres de charbon bitumineux comme granulats pour la fabrication des blocs en béton ; leur production devint importante après la première guerre mondiale et ils sont encore fabriqués de nos jours. La production commerciale de laitier expansé a commencé en 1928 ; et, c'est en 1948, que le premier bon granulat léger de structure à base de schiste fritté fut produit à partir d'un schiste carbonifère [6].

L'une des plus anciennes utilisations du béton léger armé fut la construction de bateaux et de péniches pour la flotte improvisée pendant la première guerre mondiale. Le béton dont on exigeait une résistance à la compression de 35 MPa, fut obtenu avec une densité égale ou inférieure à 1760 kg/m3, en utilisant un granulat de schiste expansé. Richart et Jensen2 (1931), sont probablement les premiers investigateurs, qui conduisaient une étude très poussée à l'université d'Illinois en 1930 sur les bétons légers avec de l'argile expansée (haydite). Leur recherche est considérée comme une contribution majeure à la première acceptation du béton léger comme matériau de structure. Pendant la deuxième guerre mondiale, la construction de 105 bateaux en béton léger permit de réserver des tôles d'acier pour d'autres utilisations essentielles [6].A partir de 1950, de nombreuses constructions à plusieurs étages furent conçues entièrement en béton léger pour bénéficier de l'avantage d'un faible poids mort. De telles applications dans la construction stimulèrent la recherche concertée des diverses organisations nationales et internationales sur les propriétés des bétons légers [29]

### II.2 Définition béton léger

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

En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m3, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m$^3$ [30]. D'après ce que n'a vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 Kg/m$^3$. Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m3 [31]. Ces bétons à des fins d'isolation et d'allégement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues, Donc les bétons légers de construction affectés par leurs masses volumiques et ces résistances variées. Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction. En fin Le béton léger se caractérise essentiellement par leur faible masse volumique, adaptable aux exigences, par leur excellent rapport poids/résistance et par leur bonne isolation thermique, leur résistance à la chaleur et au feu, leur résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction.

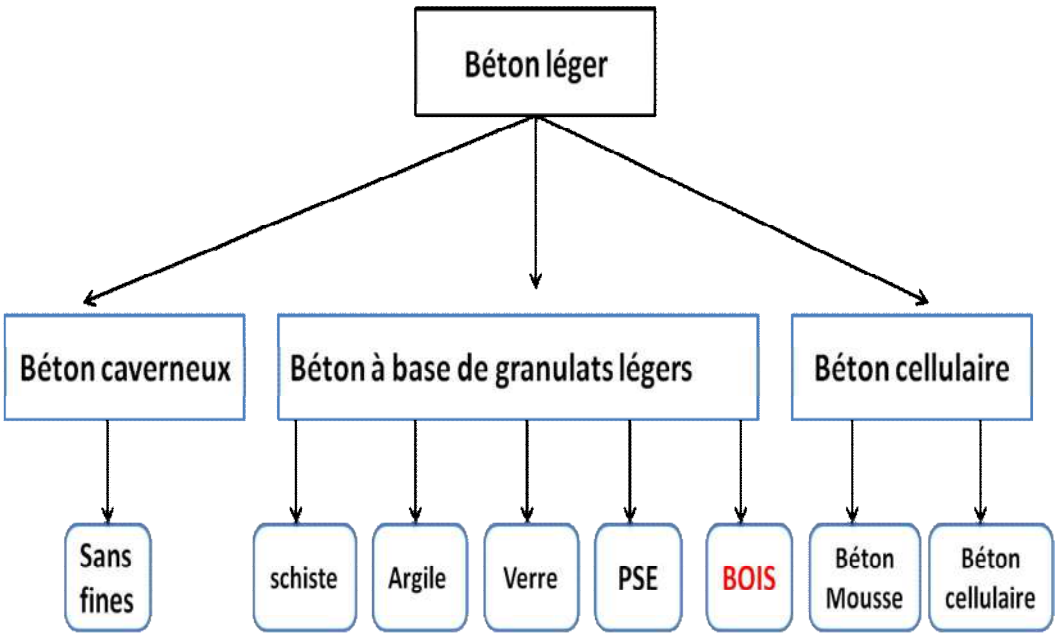



**Figure II.1 :** Classification des bétons légers [32]

## II.3 Type des bétons légers

Pour développer un béton léger, ont doit prendre en considération deux aspects :

- les particularités en matière de formulation des bétons légers,
- la source des constituants spécifiques à la confection de bétons légers dont les matériaux légers naturels, artificiels et recyclés.

Ces deux aspects sont reliés avec la masse volumique qui diminue en remplacent une quantité de matériaux par de l'air. Ces vides d'air peuvent être incorporés à trois endroits :

- soit dans les granulats ;
- soit dans la pâte de ciment ;
- Ou entre les gros granulats par élimination de granulats fins.

Ceci produit trois types de dénominations pour ces bétons soient :

- les bétons cellulaires ;
- les bétons sans fines (caverneux) ;
- les bétons de granulats légers (argile expansé…).

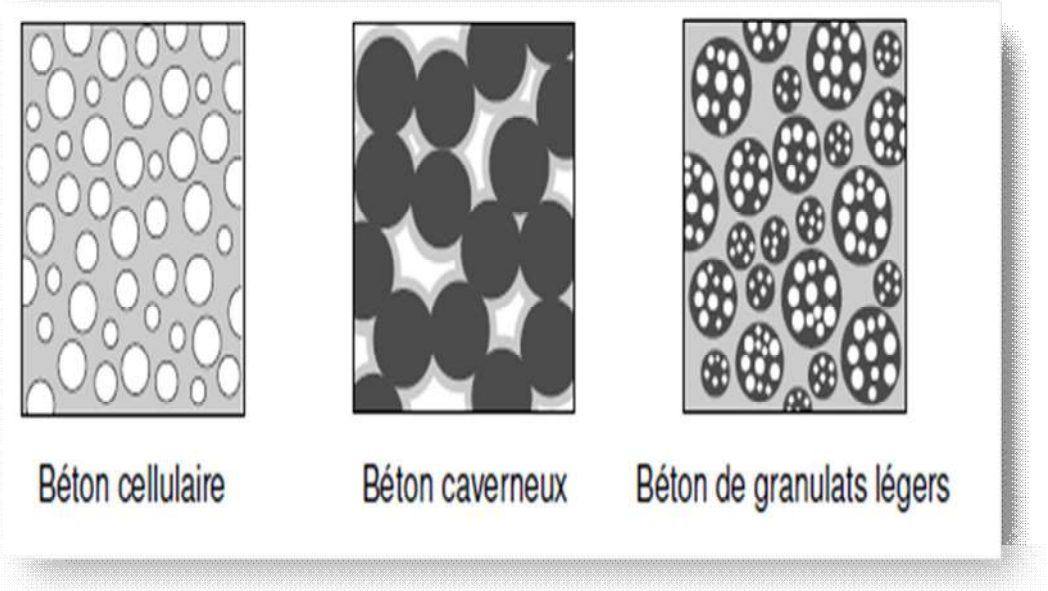
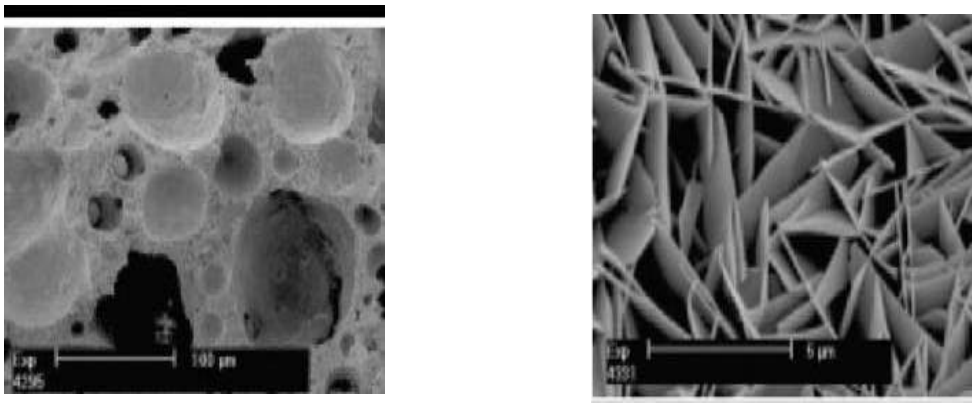



**Figure II.2 :** représentation schismatique des différents types de béton léger [33].

### II.3.1 Le béton cellulaire

Les bétons cellulaires sont en général des mortiers remplis de petites bulles d'air. Ces mortiers sont des mélanges de sables (granulats à base de silice ou légers) et de ciment portland. Les bulles sont créées à l'intérieur de la pâte grâce aux agents moussants qui sont utilisés dans le béton pour produire un volume d'air important. On cite parmi Ces agents, la poudre d'aluminium ou soit par gâchage avec de l'eau savonneuse. La poudre d'aluminium réagit chimiquement avec le ciment et l'eau lors du malaxage pour donner, d'une part, un sel et, d'autre part, de l'hydrogène qui compose ainsi les petites bulles. Ces processus demandent une grande précision et des calculs de dosage précis; ils doivent être réalisés en atelier, et non pas sur le chantier.



X20 X500

**Figure II.3 MEB d'un béton cellulaire**

Les résistances et le module d'élasticité augmentent en fonction de l'augmentation de la masse volumique du béton (voir tableau 1). En conséquence, il est possible d'obtenir une masse volumique souhaitée pour une résistance spécifique. Il est à noter que la résistance en flexion peut être améliorée par l'ajout d'armature ou de microfibres, celles-ci reprennent les efforts de flexion, et aide à contrôler la microfissuration lors de l'application d'une charge [31].

Le béton léger « cellulaire » ou « aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau moulable, malléable, léger, durable et relativement résistant. Ce sont toutes des propriétés que les auteurs Agustín et al. (1990) démontrent comme étant des propriétés à rechercher pour l'habitation à faible coût. Le béton cellulaire non traité à l'autoclave, nécessite peu d'outillage spécialisé et peut être assemblé sans trop de machinerie [33].

Les bétons cellulaires ont généralement une masse volumique et une résistance à la compression extrêmement faibles. L'utilisation la plus courante des bétons cellulaires se limite au béton de remplissage dans des murs, plafonds, planchers ou comme matériaux de remblai [31].

**Tableau II.1 :** Les propriétés comparées des bétons cellulaires [31

| Masse volumique sèches | Résistance en compression | Résistance en flexions | Module d'élasticité | Conductivité thermique |
|---|---|---|---|---|
| $Kg/m^3$ | Mpa | Mpa | Gpa | $Jm/m^2s\ c^o$ |
| 450 | 3.2 | 0.65 | 1.6 | 0.12 |
| 525 | 4.0 | 0.75 | 2.0 | 0.14 |
| 600 | 4.5 | 0.85 | 2.4 | 0.16 |
| 675 | 6.3 | 1.00 | 2.5 | 0.18 |
| 750 | 7.5 | 1.25 | 2.7 | 0.20 |

### II.3.2 Le béton caverneux

Béton léger et très poreux en raison de la présence dans sa masse de vides dus à l'absence de sable ou d'éléments fins. Il est obtenu à partir de gros granulats (courants ou légers) humidifiés et enrobés dans une pâte de ciment ou un mortier, et se met en place par couches épaisses (au moins 50 cm) et piquage. Il est utilisé comme béton de remplissage ou pour s'opposer aux remontées capillaires [34].



**Figure II.4 :** le béton léger caverneux

## II.4 Les bétons de granulats légers

Les bétons de granulats légers trouvent de nombreuses applications dans le domaine du bâtiment et des ouvrages d'art. Ils sont utilisés notamment pour alléger les structures telles que les poutres, les poteaux, les planchers, les tabliers de ponts etc. Les bétons légers sont également connus pour améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments ou l'absorption acoustique des écrans acoustiques protégeant les riverains des nuisances sonores. Ils sont utilisés dans les structures préfabriquées ou réalisées sur chantier. Dans l'industrie du béton, cette famille de bétons est utilisée pour les produits de structure destinés aux bâtiments ou aux ouvrages de génie civil qu'ils soient en béton armé ou précontraint. Les bétons légers pour les produits de structure présentent des masses volumiques réelles sèches comprises entre 1 200 et 2 000 kg/m3 et des résistances à la compression comprises entre 25 et 80 Mpa [36].



**Figure II.5** Coulage par béton léger

**Tableau II.2 :** Caractéristiques de béton de granulats léger

| Type des Béton spécieux | Propriété, caractéristique particulière | Utilisation, Domaine d'application |
|---|---|---|
| Béton de granulats légers | ✓ Masse volumique réduite entre (1000 et 1800 Kg/$m^3$)<br>✓ Bonne résistance mécanique | ✓ Allégement des produits et des ouvrages ;<br>✓ Isolation thermique et phonique |

### II.4.1 Différents types de granulats légers

Les granulats légers se différencient des autres granulats par leur faible masse volumique, celles-ci est inférieur à 1200 kg/m3 selon Rilem [37] tandis que celle de la pierre naturelle est de2700 kg/m3.L'écart de la masse volumique s'explique par la porosité élevée du granulat, ce qui se traduit par une faible densité apparente [38] c'est-à-dire une importante proportion volumique de vides d'air contenus dans le granulat. Nous pouvons distinguer les granulats légers selon leur origine naturelle ou artificielle. Parmi les granulats on trouve :

- Pierre ponce ;
- Diatomite ;
- Laitier volcanique ;
- Argile expansé ;
- Schiste expansé ;
- Polystyrène ;
- Copeaux de bois.

## II.5 Copeaux De Bois (pin, sapin, bouleau) :

Des morceaux de bois de 5 à 25mm obtenus par découpage et broyage seront déshydratés, traités chimiquement et stabilités suivant deux méthodes différentes :

- l'élimination de la cellulose puis par une attaque acide suivis par le chlorure de calcium et fini par lavage et séchage ;

- l'ajout du silicate de soude. Les densités sèches s'échelonnent entre 250 et 400 kg/m3. le malaxage du béton préparé à l'aide de ce type de granulat ne devra pas être trop énergétique ( pour ne pas défibrer et endommager le bois).



**Figure II.6** Coupeaux de bois

## II.6 Les propriétés des bétons légers

### II.6.1 La porosité

Le béton est constitué de plusieurs éléments solides (granulat, liant) et de plusieurs familles de vides dont la taille varie de quelques dizaines d'Angstrom (Å) à quelques millimètres selon l'origine de ces porosités. Les granulats possèdent une porosité intrinsèque a due à la présence de l'air intraparticule .compte tenu de la taille caractéristique des capillaires (de l'ordre de la dizaine de μm), la porosité du granulat sera qualifiée de porosité microscopique. [46]

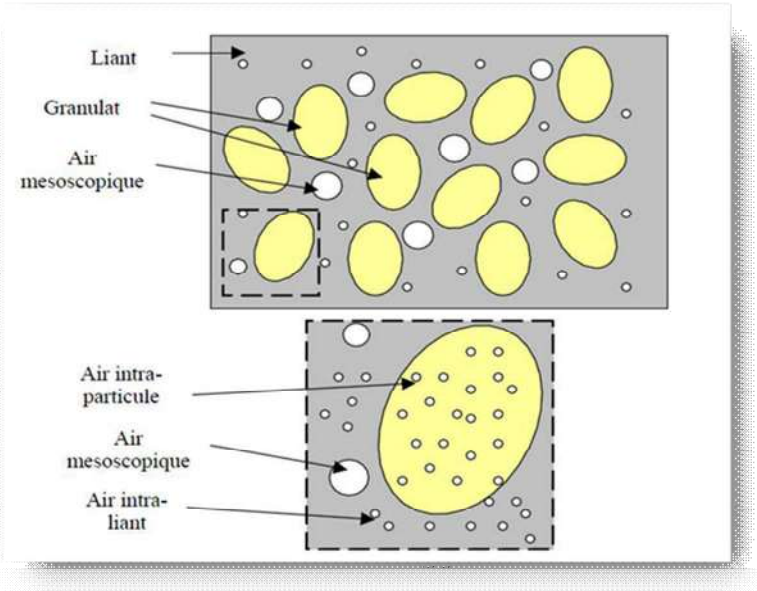


**Figure II.7** Porosité du béton [**47**]

### II.6.2 La légèreté

L'emploi de granulats légers a pour première conséquence une diminution de 20 à 30 %.De la masse volumique de bétons. A titre de comparaison, la masse volumique d'un béton hydraulique est de l'ordre de 2300 kg/m3 alors qu'elle se situé autour de 1600 kg/ m3 pour un béton d'argile expansée, entre 600 et 900 kg/m3 pour un béton de bois et qu'elle varie entre 350 et 650 kg/m3 pour un béton cellulaire (norme NF P 14-306). L'intérêt est d'avoir un matériau facile un mettre en oeuvre lorsqu'il est vendu manufacturés sous forme de parpaings. De plus, ce matériau allégé nécessite des fondations moins importantes lors de la construction [46]

### II.6.3 La perméabilité l'eau

Les granulats, poreux et perméabilité, permettant les transferts sous forme liquide et sous forme vapeur. Dans le cas d'eau liquide, on parle d'absorption et dans le cas d'eau vapeur, on parle de sorption-désorption. La perméabilité représente la faculté qu'a un matériau de laisser un fluide s'écouler en son sein, sous l'effet d'un gradient de pression. Cette propriété de perméabilité n'existe donc que si le matériau possède une porosité non négligeable et que celle-ci est connectée. En revanche, un matériau peut être très poreux (le béton cellulaire) et peu perméabilité car lespores, non relies entre eux, ne constituent pas des chemins continus, dans lesquels le fluidepeut s'écouler. Porosité et perméabilité sont doc liées mais la première n'applique pasforcément le deuxième. [46]

### II.6.4 La résistance à la compression des bétons légers

A la différance du béton traditionnel, la rupture en compression d'un béton léger se produit en général par cassure des granulats légers, dans des plans qui coupent le plus grand nombre possible de granulats légers la rupture des éprouvettes est ainsi caractérisée par un ou plusieurs plans parallèles au chargement et par le fendage des granulats. Les principaux facteurs ayant une influence sur la résistance en compression des bétons de granulats légers sont des caractéristiques des granulats et la composition du béton. [46]

### II.6.5 Propriétés élastiques des bétons légers

Le module d'Young d'un béton léger est évidement inferieur à celui du béton traditionnel en raison de sa faible masse volumique. Généralement Le module d'Young d'un béton léger est considère comme valant 0.5 à 0.75 de celui d'un béton traditionnel de même résistance. Une plus faible rigidité peut être parfois souhaitable pour les structures soumises à une sollicitation dynamique ou pour des structures en coques. Un faible module d'Young peut être à l'origine de désordre dans les structures en bétonprécontract suite à une relaxation des câbles de précontrainte et à la chute de tension qui en découle. [46]

### II.6.6 La masse volumique

La masse volumique du béton représente l'une des caractéristiques les plus importantes dans le cadre de la présente recherche. La réduction de la masse volumique est rendue possible en changeant le type de granulat et en faisant varier les proportions des différents constituants.[27]

### II.6.7 La durabilité

Les conditions d'exposition conditionnent souvent la conception du béton. En effet, les cycles de gel-dégel en présence ou non des sels fondants représentent un aspect critique de la durabilité des bétons légers exposés aux intempéries. Il est important de faire la distinction entre les deux types d'attaque par le gel, avec ou sans sels fondants, puisque les mécanismes de détériorations sont différents. [31]

### II.6.8 La rhéologie à l'état frais

La rhéologie du béton à l'état Frais définit la relation contrainte déformation du matériau en référence à ses propriétés d'élasticité, de plasticité et de viscosité.On qualifie la rhéologie du béton à l'état frais en fonction de l'énergie nécessaire à lamise en place par rapport à la qualité recherchée du fini. En conséquence, les paramètres dont on doit tenir compte lors du dosage relativement à la rhéologie du béton léger à l'état frais sont : les méthodes de moulage et de mise en place, la qualité de la finition et la dimension des granulats et des coffrages. [31]

## II.7 Classification du béton léger

Les granulats légers peuvent être classés selon leur nature comme suit **[2]**

1. **Matériaux minéraux naturels non préparés** : Par définition ce sont des matériaux qui n'ont subi que des traitements mécaniques tels que lavage, broyage, tamisage. Les granulats les plus connus dans cette catégorie sont : la ponce les pouzzolanes, roches d'origines volcanique, les tufs calcaires ou volcaniques **[7, 22].**
2. **Matériaux minéraux naturels préparés :** Ce sont des matériaux spécialement traités en usine en vue de leurs emplois dans le béton légers, cette catégorie de granulats est la plus importante et on y trouve en particulier : l'argile, le schiste et l'ardoise expansées ou frittées, la perlite expansée et la vermiculite exfoliée.
3. **Déchets industriels non préparés :** Ce sont des déchets de l'industrie qui ne subissent pas de traitement particulier à part, dans certains cas un traitement mécanique de tri. Le principal granulat dans ce type est le mâchefer, résidu de la combustion des charbons gras du coke ou des ordures ménagères **[22].**
4. **Déchets industriels préparés :** Ce sont en générale des sous-produits de l'industrie qui doivent subir divers traitements en vue de leur transformation en granulats légers. Les granulats de ce type les plus répandus sont : le laitier expansé ou granulé, les cendres volantes frittées ou expansés et le verre expansé.
5. **Matériaux organiques :** dans cette catégorie on classe des produits qui sont soit des

## II.8 Domaine d'utilisation des béton légers [48]

Selon leur résistance, les bétons légers sont utilisés soit comme :

- **Béton de structure** : c'est le cas des bétons léger de haute performance, les bétons au laitier expansé, à l'argile frittée Expansée, aux cendres volantes.etc.
- **Isolant porteur** : c'est le cas des bétons à la pierre ponce, béton à l'argile expansé…etc.
- **Isolants** : leur résistance est faible, dans cette catégorie on peut citer : Les bétons cellulaires.

Dans la construction on les utilise comme :

- Bloc de maçonnerai ;
- Panneau préfabriqué. ;
- Mur antibruit. ;
- Bardage. ;
- Ouvrage extérieur. ;
- Elément de cave ;
- Entrevous et hourdis.
- Les pavés.

On retrouve le béton léger dans diverses applications :

- **Fondation :** On peut retrouver du béton léger dans les fondations. En effet, ce dernier étant moins lourd que le béton classique, il peut être placé sur une structure demandant une résistance moins élevée à la charge. Ceci peut être un avantage car la structure est donc plus facile à mettre en place et par conséquent,des économies sont faites [49].
- **Rénovation :** Ce béton étant plus léger qu'un béton classique, cela permet donc de réaliser des rénovations sans avoir à renforcer au préalable la structure surlaquelle on souhaite l'appliquer [50].
- **Isolation :** Le béton léger a comme particularité d'être à la fois un bon isolant thermique et phonique. De ce fait, il est très utilisé lors de la conception de mur ou de dalle.
- **Chape :** Le béton léger peut aussi être utilisé afin de concevoir une chape sèche, qui est d'ailleurs considérée comme un bon isolant phonique et thermique [51]. Il s'utilise pour toutes les étapes de la construction, en intérieur comme en extérieur (murs, cloisons, plafonds,…), du gros oeuvre extérieur aux divers aménagements et finitions intérieurs.

### II.9 Les avantages des bétons légers

Le béton léger est utilisé pour plusieurs avantages, on peut citer : [27]

- **Légèreté :** plus léger qu'un béton classique, le béton léger a une densité de 0,4 à 1,2 en comparaison de 2 ,2 à 2,5 pour un béton classique.

- **Isolant** : Le béton léger a un pouvoir isolant thermique et phonique beaucoup plusimportant qu'un béton classique.

- **Non inflammable** : La chape en béton léger est classées M0 au test de réaction au feu à partir d'un certain dosage en ciment.

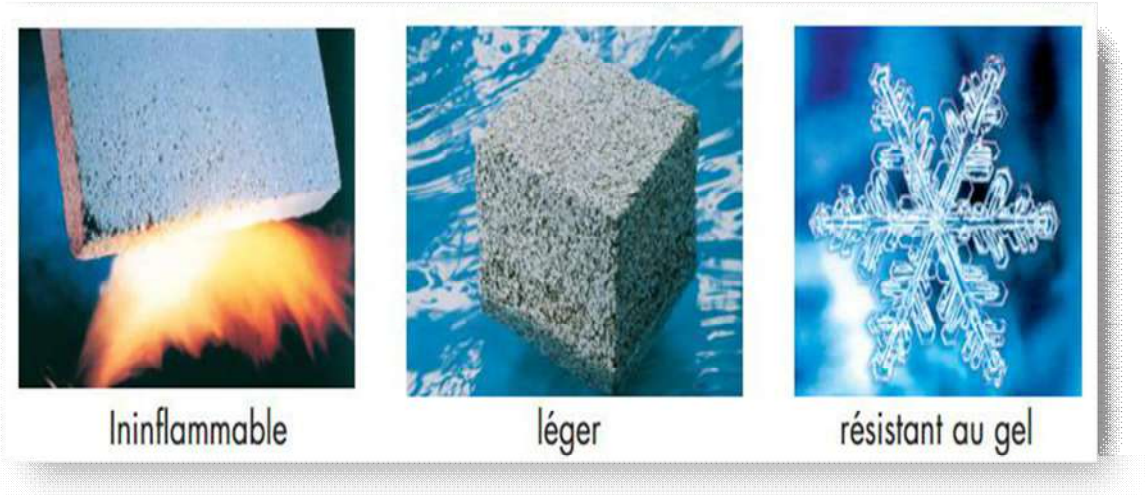



**Figure II.8** béton léger d [**47**]

## II.10 Béton de bois

### II.10.1 Définition

Le bois est un matériau composite complexe formé d'un ensemble de tissus cellulaires hétérogènes et organisés. Trois principaux niveaux d'étude peuvent être définis :

- La structure présentant l'agencement du tronc ;
- La microstructure s'intéressant à l'organisation cellulaire ;
- L'ultra-structure étudiant la structure moléculaire.

### II.10.2 Les Granulats de Bois

De la préhistoire à l'avènement de l'ère industriel, le bois a joué un rôle fondamental dans le rapport de l'homme avec son environnement, globalement les essences productrices peuvent être classées en deux catégories:

- Les gymnospermes : groupe auquel se rattache l'ordre des conifères ou résineux ;

- Les angiospermes : groupe auquel appartient les dicotylédones ou feuillus.

A ces deux familles correspondent des structures anatomiques et par conséquent des propriétés (physiques, chimiques, mécaniques) différentes [53,54, 55].

- Les résineux : environ 400 espèces sont souvent des arbres de grande taille 40 à 50m de hauteur ils fournissent près de 3/5 de la production ligneuse mondiale ;
- Les feuillus (plusieurs milliers d'espèces), présentent une très grande variété dans leur forme, leurs feuilles et leurs fruits ;
- L'aspect hétérogène et anisotrope du bois apparaît nettement sur la plupart des essences.

### II.10.3 Caractéristiques physiques du Bois

Le bois est caractérisé par un certain nombre de propriétés qui influent évidement sur les caractéristiques physico mécaniques du béton de bois.

#### II.10.3.1 Masse volumique

Tous les bois n'ont pas la même masse volumique; certains sont légers (peuplier, épices), d'autres sont lourds (chêne, ébène). La résistance augmente en générale avec la masse volumique.

#### II.10.3.2 Dureté

La dureté caractérise la résistance opposée par le bois à la pénétration d'une pointe métallique, elle varié selon les essences, mais on considère en générale que plus les couches annuelles de croissance de l'arbre (cernes) sont étroites, plus le bois est dur [57].

#### II.10.3.3 Dilatation thermique

Les variations thermiques du bois sous l'effet de la température sont environ trois fois plus faibles que celles du béton ou de l'aciers [53,54,57].

#### II.10.3.4 Conductivité thermique

La conductivité thermique est environ 10 fois plus faible que celle de l'acier, elle varie selon les essences, en fonction de leur masse volumique et de leur taux d'humidité.

### II.10.3.5 Comportement à l'humidité

Le bois "travaille " c'est à dire se rétracte en séchant et gonfle en absorbant de l'humidité, mais les variations dimensionnelles ne sont pas égales dans touts les directions. Les variations dimensionnelles sont négligeables dans le sens axial relativement aux deux autres directions (tangentielle et radiale) [53,54,58].Ces variations dimensionnelles ont fait l'objet de beaucoup de recherches afin de les limiter au sein des bétons à base de bois [23,24 ,56,58]. On voit donc que le bois est un matériau complexe aussi bien par sa composition que par sa morphologie. Son introduction comme granulats légers dans les bétons nécessite donc des précautions d'emploi et par suite des traitements divers.

## II.10.4 Différents procédés de traitement des granulats de bois

Le but du traitement des granulats de bois est de les rendre inertes et stables afin d'éviter ces effets néfastes sur le béton de bois qui sont en générale l'effet de retardateur de prise et les instabilités dimensionnelles. Il existe plusieurs types de traitements :

### II.10.4.1 Traitement physique

Ces traitements ont pour but de limiter les transferts d'eau avec le milieu extérieur et d'éviter la libération de sucres très néfastes à la prise ces traitements peuvent être réalisés par :

- **Imprégnation** : il s'agit de remplir les vides cellulaires du bois au moyen de techniques d'imprégnation vide-pression. Des études réalisées ont montré que l'imprégnation à l'huile a permis de mettre en évidence le blocage de la libération des sucres néfaste à la prise du ciment [53,54].
- **L'enrobage superficiel :** Il a pour but d'isoler le bois en le rendant inerte vis-à-vis aux agents extérieurs, on utilise dans ce procédé de la résine ou du chlorure de calcium qui s'avère le plus efficace ou d'une solution de soude [53,61].

### II.10.4.2 Les traitements thermiques (par torréfaction) :

Il consiste à chauffer le bois par un gaz inerte jusqu'à une température de 280°C, ce qui provoque une dégradation des hémicelluloses [53,54].

### II.10.4.3 L'auto hydrolyse

L'auto hydrolyse du bois permet de solubiliser une grande partie des hémicelluloses responsables du gonflement. Le traitement à la chaux à 160°C sous pression pendant 15 heures conduit à une amélioration de la stabilité dimensionnelle de 40 à 60% [53,54].

### II.10.4.4 Traitement chimique

Il s'agit de modifier la structure chimique du bois en remplaçant les groupements OH responsables de l'hygroscopicité par d'autres groupements plus hydrophobes, on utilise pour cela l'oxyde butylène qui diminue le gonflement de 50% et l'absorption d'eau de 25%[53,61].Toutefois, même si les traitements sont plus ou moins efficaces, il faut toujours tenir compte des interfaces avec la matrice dans laquelle les granulats sont introduits.

### II.10.5 Les composites de bois

Les matrices utilisées dans les compositions des bétons de bois peuvent être à base de:

- Ciment ;
- Plâtre ;
- Chaux.

Dans des études récentes, certains auteurs utilisent des matrices argileuses stabilisées au ciment, les déchets argileux sont introduits dans les bétons à la place du sable siliceux. Ils montrent qu'avec une quantité faible de ciment on atteint des résistances mécaniques suffisantes et des performances thermiques excellentes sans quelles soient pas altérées par le caractère hygroscopique de l'argile [62,63].

### II.10.6 Caractéristiques physiques et mécaniques du béton de bois

Quelques propriétés physiques et mécaniques ont été établies à travers plusieurs études menées dans le cadre de travaux de recherche ou au niveau de laboratoires spécialisés. Nous allons établir dans ce qui suit quelques propriétés du béton de bois.

### II.10.6.1 Masse volumique

Si les bétons légers ont une masse volumique inférieure à 1800 kg/m3, celle des bétons de bois oscille entre 450 et 1200 kg/m3 [64, 53, 54,65]. Les valeurs comprises entre

600 à 900 kg/m3 correspondent d'après [53] à la fourchette raisonnable. Sachant qu'au delà de 900kg/m3 les performances thermiques diminuent considérablement et qu'en dessous de 600 kg/m3, la résistance mécanique se trouve nettement diminuée.

**A. Bouguerra et al [59]** ont élaboré un béton de bois à matrice argileuse, l'étude de la variation de la densité sèche en fonction de la teneur massique en bois comme le montre dans la Figure II.9 indique une diminution de la masse volumique lorsque le dosage massique en bois augmente

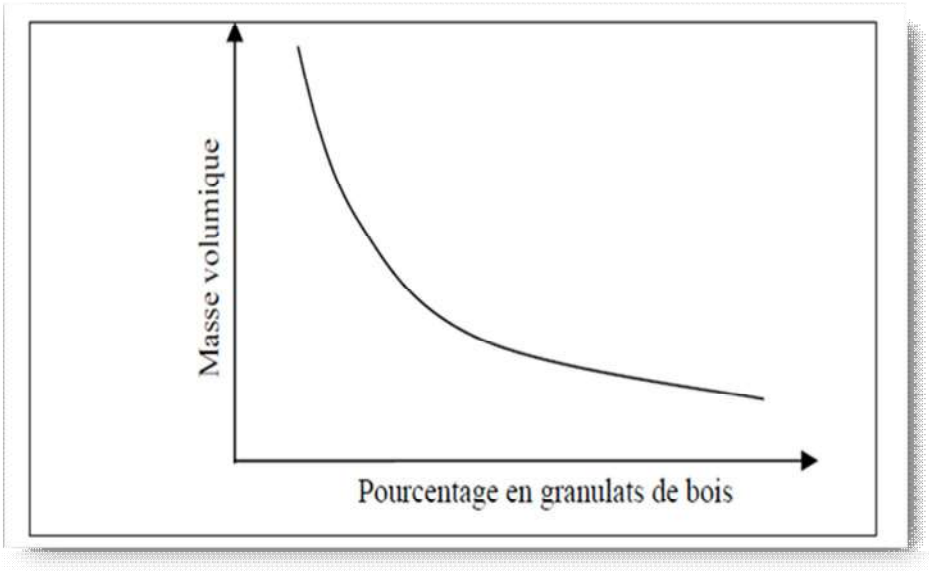



**Figure II.9** Evolution de la densité sèche en fonction de la teneur massique en bois **[59].**

### II.10.6.2 Résistance à la compression

La résistance mécanique des bétons de bois peut être apprécier en se référant à la Norme NFP 14-304 [67,53].La résistance mécanique en compression des bétons de bois est comprise entre 0.5 et 7MPa [64,53,54], bien entendu cette résistance peut être améliorer par des ajouts tels que la fumée de silice, ou par traitement des granulats de bois. Toutes les études réalisées sur les bétons de bois ont montré que la résistance à la compression diminue en fonction du dosage en granulats de bois. La résistance à la compression est liée à la

densité du matériau puisque celle-ci est en relation avec le dosage en granulats. En effet, d'après **A.Sarja [60]** et comme la montre dans la Figure II.10 la résistance évolue en fonction de la densité. Plus le matériau est dense, plus il est résistant.

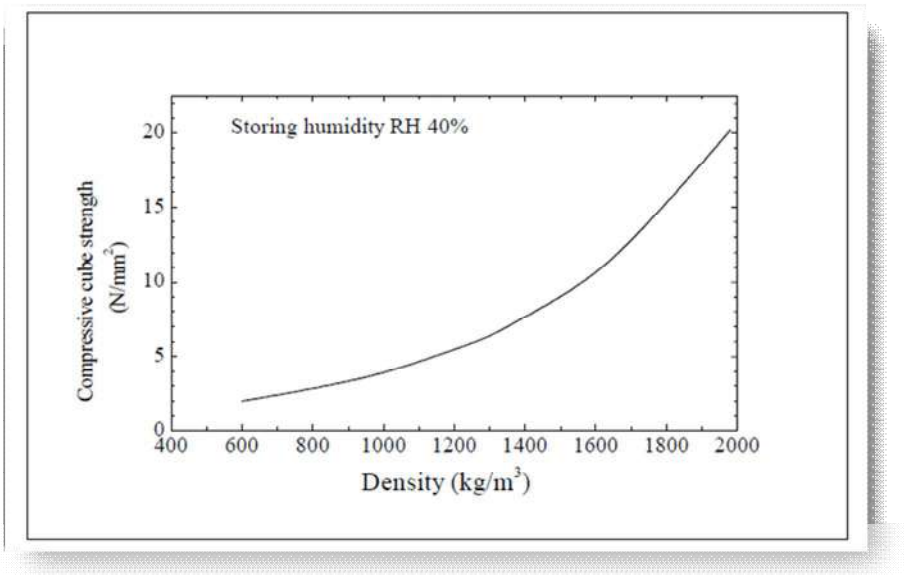



**Figure II.10 :** Variation de la résistance à la compression du béton de bois en fonction de la densité **[60].**

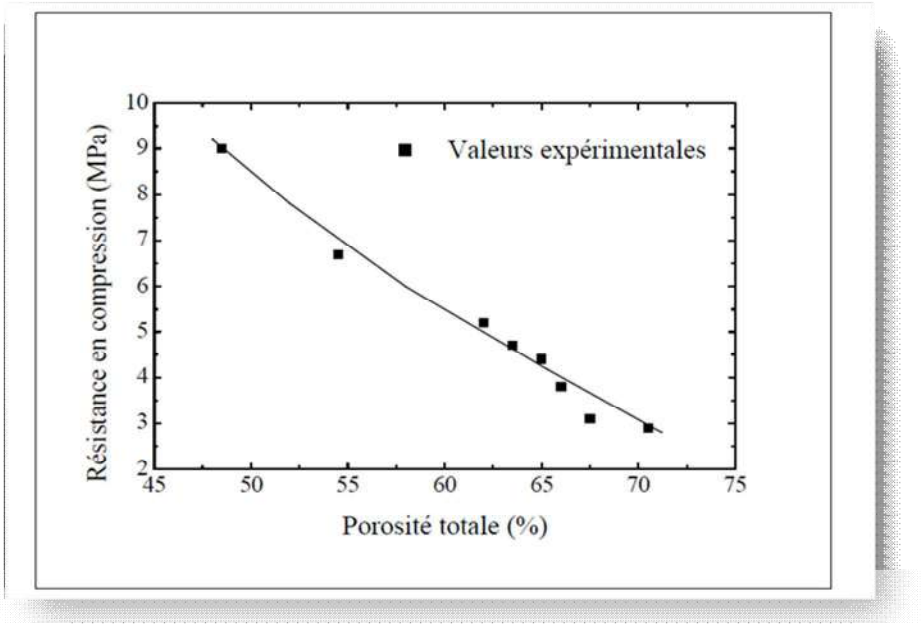



**Figure II.11 :** Variation de la résistance à la compression en fonction de la porosité **[12]**

La résistance à la compression est aussi liée à la porosité du béton, plus la porosité augmente, plus la résistance diminue. A titre bibliographique les résultats de Bouguerra et al [69] représenté dans la Figure II.11 confirment cet aspect.

### II.10.6.3 Résistance à la traction

Identiquement à la résistance à la compression, la résistance à la traction dépend de plusieurs facteurs, selon le type de granulats de bois utilisés et leur dosage, selon que ces granulats soient traités ou non, selon le dosage en ciment, elle peut atteindre une valeur 5.5 MPa en utilisant des granulats traités ou en introduisant des ajouts comme la fumée de silice ou par incorporation des fines [69,53, 54, 60]. Pour des bétons de bois ordinaires elle atteint des valeurs de 2.6 MPa [1, 58,60]. La résistance à la flexion diminue lorsque la densité diminue, c'est ce que confirme A.Sarja [60], comme le montre dans la Figure II.11. C'est en générale le cas des bétons de bois à matrice cimentaire. Cela n'est pas le cas des matrices à base d'argile. En effet, A.Ledhem [54] en étudiant un composite argile-ciment-bois a montré l'existence d'un optimum, c'est à dire que pour des dosages faibles en granulats, la résistance à la flexion augmente jusqu'à atteindre un maximum puis diminue pour des dosages élevés en granulats, comme le montre dans la Figure II.12

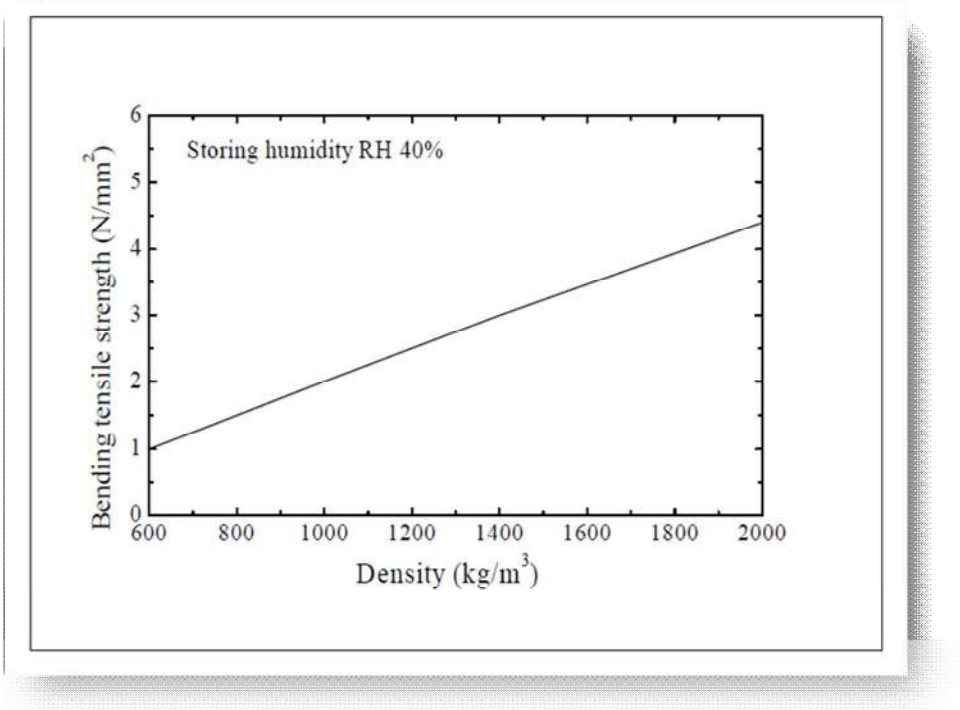



**Figure II.12 :** Résistance à la traction en fonction de la densité **[60]**

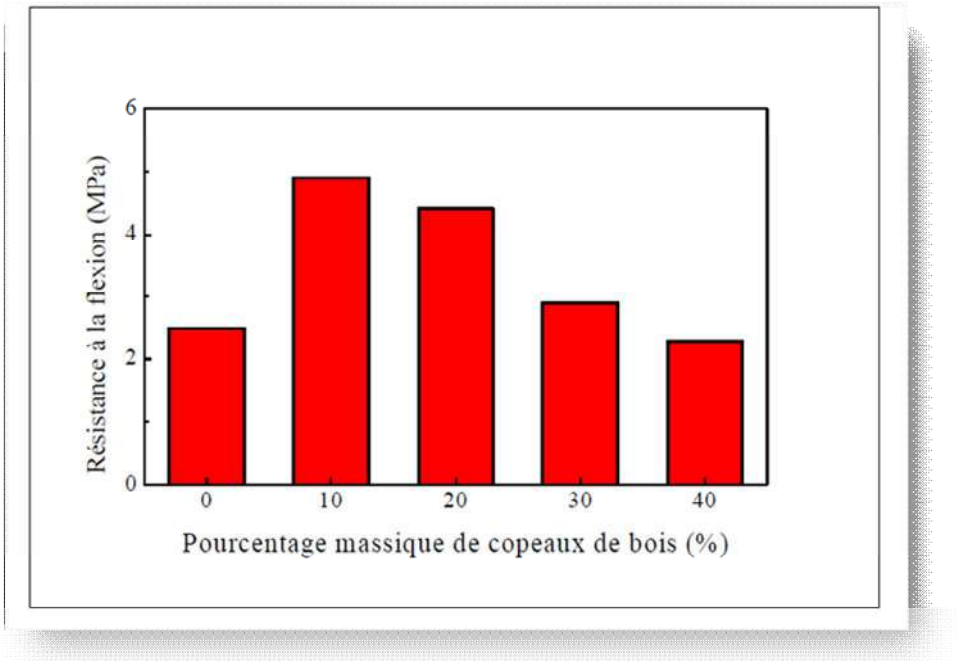



**Figure II.13 :** influence du pourcentage massique de copeaux de bois sur la résistance à la flexion **[54].**

### II.10.6.4 Isolation thermique

La conductivité thermique des bétons de bois varie entre 0.10 à 0.30 W.m-1.K-1[53,58], elle est de ce fait comparable à celle des bétons caverneux ou semi caverneux. Il est à noter que cette conductivité varie selon le taux d'humidité du matériau, elle peut être estimée par la formule empirique:

$$\lambda humide = \lambda sec\ (1+0.025\ \omega m) \qquad \textbf{Eq. II.1}$$

Où ωm est le taux d'humidité exprimé en masse pour les bétons de bois [53]

La Figure II.13 montre un exemple de la variation de la conductivité thermique en fonction de la proportion massique des granulats de bois pour un béton de bois à matrice argileuse. On voit bien que celle ci diminue lorsque la proportion massique en bois augmente.

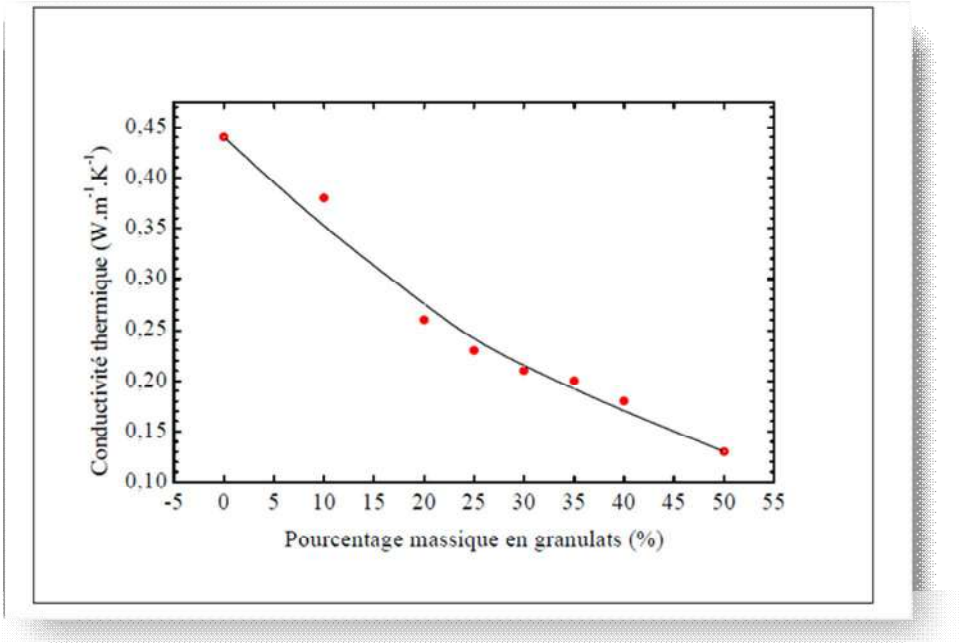



**Figure II.14 :** Variation de la conductivité thermique en fonction de la porosité **[70].**

### II.10.7 Influence des différents procédés de traitements sur les

### II.10.7.1 caractéristiques physico mécaniques des bétons de bois

Plusieurs procédés de traitement ont été employés afin d'améliorer les propriétés physicomécaniques des bétons de bois [62]. Le tableau I.13 récapitule les différents résultats escomptés..

### II.10.7.2 Absorption

Au niveau des granulats : le traitement à l'huile de lin est le meilleur traitement l'absorption de 82.5%. Au contraire l'absorption est maximale pour les granulats non traités.

Au niveau du composite : le meilleur traitement est de bouillonner dans l'eau +ciment, il réduit l'absorption du composite de 59,2%.

### II.10.7.3 Résistance à la compression

Le meilleur traitement est de bouillonner les granulats dans l'eau+chaux, il améliore la résistance à la compression de 1.47fois.

### II.10.7.4 Résistance à la flexion

C'est toujours le traitement à l'eau+chaux bouillie qui procure la meilleur résistance à la flexion.

## II.11 Conclusion

Cette étude bibliographique a permis de mettre en évidence l'influence notable du granulat léger en général et en particulier les copeaux de bois, objet de cette étude, sur les performances physico-mécaniques du béton léger et son utilité dans la construction. La principale distinction des bétons de granulats légers par rapport aux bétons de granulats rigides est la plus faible masse volumique qui diminue à la fois le module d'élasticité et la résistance du béton. La masse volumique du béton peut varier d'un peu plus de 300 à environ 1800 kg/m3 et la résistance correspondante de 0,3 à 70 MPa **.**De plus, les bétons de boissont caractérisés par leur pouvoir isolant avec leur faible conductivité thermique et Du point de vu de durabilité, la présence de bois diminue la de résistance aux gel/dégel du béton

# CHAPITRE III:

## Matériaux et Essais

## III.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre on présente en première partie les matériaux utilisés pour la confection des bétons de sable étudies avec leurs caractéristiques. On s'intéressera par la suite la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons. Dans une seconde partie, on exposera les différentes procédures expérimentales de fabrication, aux séquences de malaxage, de mise en place et de la conservation des différentes éprouvettes. Pour finir, on présentera les essais réalisés en laboratoire que se soit à l'état frais et à l'état durci.

## III.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS

### III.2.1Ciment

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Matine), est un ciment Portland ordinaire dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de Lafarge (M'sila) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme **[71] (Annexe B).** Le tableau III.1 résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clincker, selon la fiche technique du ciment **[72].** les caractéristiques physiques de ciment sont donner dans le tableaux III.2

**Tableau III.1:**L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

| Analyse chimique Du ciment | | | | | Composition hypothétique Du clincker | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Perte au feu (%) | Résidus Insolubles (%) | Teneur en Sulfates $SO^3$ (%) | Teneur en oxyde De magnésium MgO (%) | Teneur en Chlorures (%) | Silicates Tricalciques C3S (%) | Aluminates Tricalciques $C^3A$ (%) |
| 7.00-9.50 | 1.50-3.00 | 2.00-2.50 | 1.90-2.30 | 0.01-0.03 | 58.00-64.00 | 6.00-8.00 |

### III.2.1.1 Essai de consistance :

Le mesurer du temps de prise du liant hydraulique (ciment) à l'aide de l'appareil de Vicat, autrement dit, le temps qu'il faut pour qu'il se solidifie. Pour cela, on mesurera l'enfoncement de l'aiguille dans le ciment, du temps de gâchage, et le temps de début de prise. On procédera à deux manipulations, en présence du plâtre afin d'accélérer le processus de solidification.



**Figure III.1** Essais de Vicat

**Tableau III.2 :** les caractéristiques physiques du ciment utilise

| Essai réaliser | Caractéristiques physiques |
|---|---|
| **Masse volumique absolue** | 3100 kg/m$^3$ |
| **Masse volumique apparente** | 1030.05 kg/m$^3$ |
| **Consistance normale** | E/C= 0.28 |
| **Début de prise** | DP= 11.45 h |
| **Fin de prise** | FP=15.20 h |
| **Surface spécifique Blaine** | SSB=3700 cm$^2$/g |

### III.2.2Sable :

Pour cette étude Le sable utilisé est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf situé à 500 Km au sud de l'Algérie. La courbe de l'analyse granulométrique et les caractéristiques physiques de sable utilisée sont donnée dans la **Figure III.1** et **tableau III.2** respectivement:

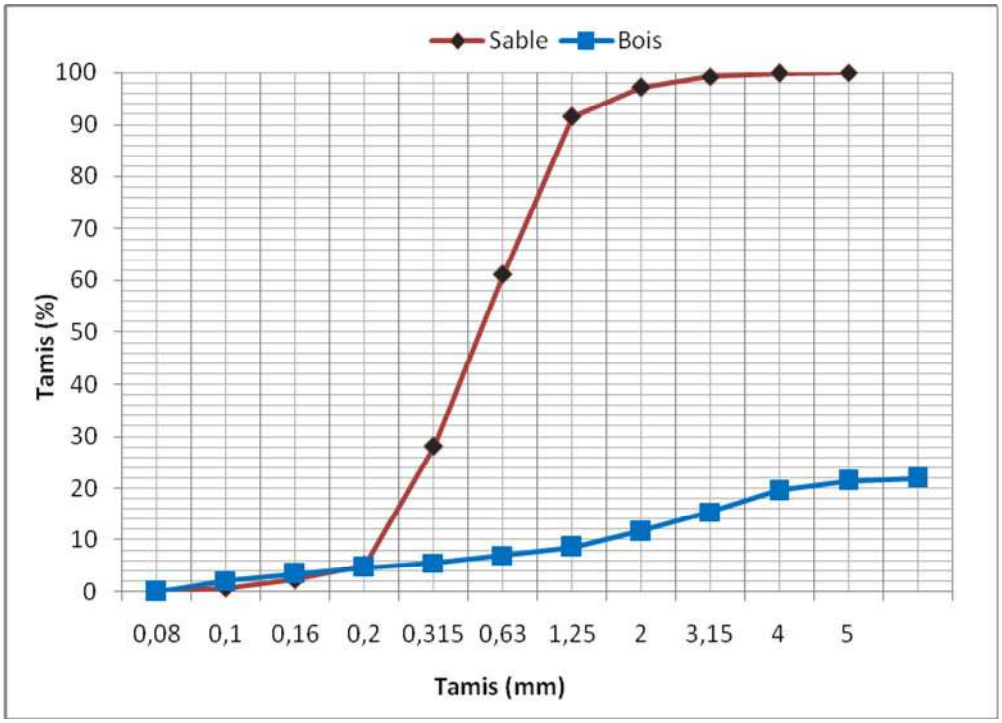



**Figure III.2 :** Analyse granulométrique de Sable utilisée

**Tableau III.2 :** Propriétés physiques d'identification de sables utilisé

| Caractéristiques | Type de sable | Norme |
|---|---|---|
| **Provenance** | Oued-Souf | / |
| **Classe granulaire** | 0/5 | / |
| **Module de finesse** | 2.3 | NF EN 933-1 [73] |
| **Masse volumique absolue (g/cm3)** | 2.63 | NF EN 1097-6[73] |
| **Masse volumique apparente (g/cm3)** | 1.63 | NF EN 1097-6[73] |
| **Taux d'absorption d'eau (%)** | | NF EN 1097-6[73] |
| **Equivalent de sable (%)** | 74.5 | NF EN 933-8[74] |

### III.2.3Eau de gâchage

L'eau utilisée pour gâcher les bétons de sable étudié est l'eau du robinet de notre laboratoire, sa température était comprise entre 10 et 22°C.

### III.2.4Superplastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération ET de forme liquide brun clair, d'un PH égal à 6± 1, de densité 1,06 ± fabriqué par la société SIKA et commercialisé sous le nom suivant : **VISCOCRETE TEMPO 12** sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment, **(Annexe B).**

### III.2.5 Fillers calcaire

Les fillers utilises dans notre cas sont du fillers de calcaires. Ils sont obtenus par broyage des déchets de concassage d'une carrière de meftah à la wilaya de Blida. la finesse est déterminée par le perméabilimètre de blaine sous forme de surface massique suivant la norme P15-476 [75] dont le principe est de mesurer le temps nécessaire mis par une quantité fixé d'air pour traverser un lit de poudre compacté à des dimensions et une porosité spécifiées, plus la surface massique de la poudre est importante et plus le temps de passage devient plus important, dans des conditions normalisées la surface massique est proportionnelle au √t. **(Figure III.2**)

Se calcaire il est destiné vers la fabrication du ciment au cimenterai de gika mefta. Rappelons que le calcaire le plus adaptés au béton et donnent de meilleures performances**.** Leur caractéristique physique est mentionnée dans le **tableau III.3** suivant.

**Tableau III.3:**Propriétés physiques d'identification de sables utilisé

| Caractéristique | Calcaire |
|---|---|
| **Masse volumique absolue ($g/cm^3$)** | 2.59 |
| **Finesse de mouture ($cm^2/g$)** | 3100 |

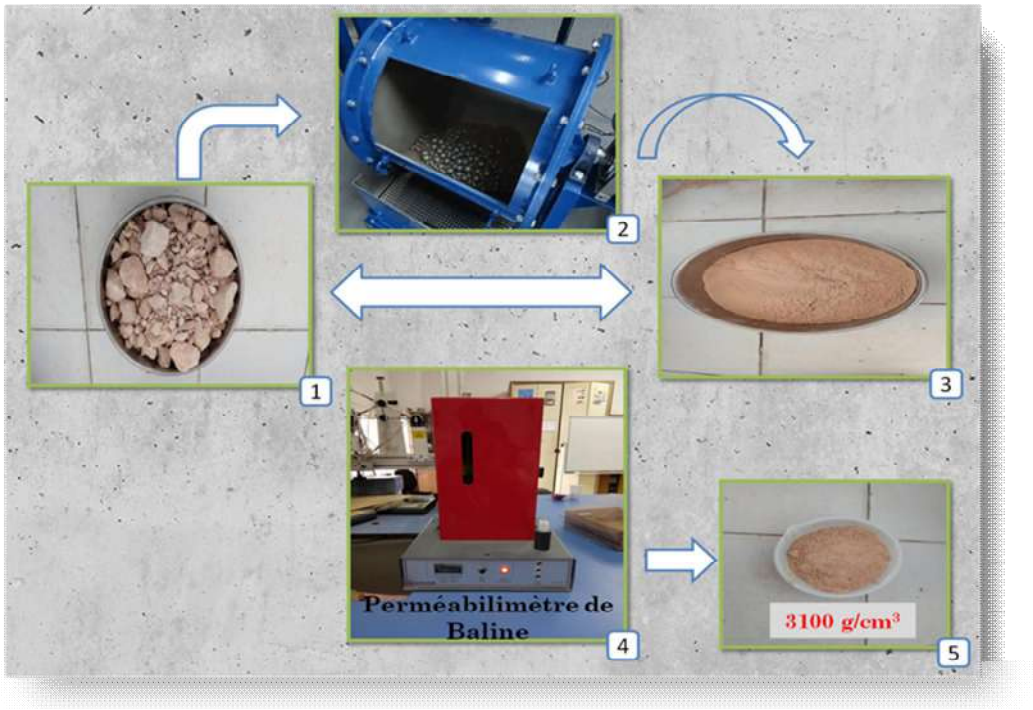



**Figure III.3 :** broyage avant et après de filer calcaire

### III.2.6 Recyclage et caractérisation des déchets de coupeaux de bois

Le but du traitement des coupeaux de bois est de les rendre inertes et stables afin d'éviter ces effets néfastes sur le béton de bois qui sont en générale l'effet de retardateur de prise et les instabilités dimensionnelles. Les coupeaux de bois broyé obtenu dont les grains dont les dimensions 0-5 mm. Puis, ce dernier a été immergé dans un bain de l'eau à une température 100 °C pendant une période de 10 minute, ce traitements ce fait afin de extraite la cellulose de bois. Les caractéristiques physiques du bois traité et non traité et Le procédure de traitement sont représentés dans le **tableau III.4 et Figure III.3**

**Tableau III.4**:Caractéristiques physiques du bois traité et non traite

| Caractéristique | Bois traite | Bois non traite |
|---|---|---|
| **Masse volumique apparente** | 0.16 | 0.07 |
| **Masse volumique absolue** | 1.30 | 0.86 |
| **Absorption d'eau (30min)** | 327.52 | 75.45 |
| **Absorption d'eau (24h)** | 14.44 | 8.98 |




**Figure III.4 :** Traitement des coupeaux de bois

## III.3 Formulation du béton

Cette formulation est fondée sur la méthode expérimentale de SABLOCRETE 1994 [76 ; 77; 78] qui est basé sur c 04 étapes du :

- Détermination d'une formule de base sans fines d'addition :
  - Fixation de la teneur en ciment ;
  - Choix d'une teneur en eau ;
  - Détermination d'un dosage en sable ;
  - Réglage de la maniabilité et du rendement.
- Détermination du dosage en fines d'addition ;
- Adaptation de la maniabilité de la mise en œuvre ;

➲ Contrôle des résistances.

Afin d'obtenir le mélange de référence l'incorporation de bois se fait par substitution volumique par rapport le volume de sable.

Le **tableau III.5** présente les différentes compositions des bétons confectionnés lors de la deuxième étape de cette étude.

**Tableau III.5:** Composition des différentes **BS**B étudié dans un 1 $m^3$

| Mélange | Composition ($kg/m^3$) | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | **Ciment** | **Sable** | **Bois** | **Eau** | **Adjuvant** | **Calcaire** |
| **BST** | 350 | 1376 | 0 | 220 | 2.1 | 110 |
| **BSB 10%** | 350 | 1323 | 86.11 | 220 | 1.75 | 110 |
| **BSB 20%** | 350 | 1176 | 121.76 | 220 | 1.80 | 110 |
| **BSB 30%** | 350 | 1029 | 182.65 | 220 | 3.20 | 110 |
| **BSB 40%** | 350 | 882 | 243.53 | 220 | 4.00 | 110 |
| **BSB 50%** | 350 | 735 | 304.47 | 220 | 6.00 | 110 |

### III.3.1 Préparation du mélange (Malaxage) :

La procédure de malaxage est effectuée dans malaxeur à axe vertical d'une capacité de 5 L pour la confection des éprouvettes 4 x 4 x 16.Après avoir pesé les quantités des matériaux suivant : le sable et le ciment en mélange les ingrédients en premier temps à sec pendant 1 min puis on ajoute 2/3 d'eau pendant 2 min et enfin 1/3 d'eau +adjuvant pendant 2 min. ajouter le polystyrène pendant 02 min .

Pour chaque gâcher, on veuille toujours a effectuer un bon malaxage qui a pour but d'obtenir une matière homogène et ouvrable.



**Figure III-5 :** Le malaxage du béton de bois

### III.3.2 Confection et conditionnement des éprouvettes :

Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés « éprouvettes 4×4×16 »). Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans un cure, dans l'eau à 20 C° ± 2 C° ou dans l'air libre selon la nature de l'essai, jusqu'au moment de l'essai de rupture. Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression. Les normes ENV 197-1 et NFP 15-301 définissent les classes de résistance des ciments d'après leur résistance à 7, 14 et 28 jours.

## III.4 Les essais effectués sur le béton du sable

### III.4.1Essais à l'état frais

#### III.4.1.1Essai de Maniabilimètre L.C.P.C

Selon les normes L.C.P.C [79] et [NF P 15-437] [80] le but de cet essai est de quantifier l'ouvrabilité qui est une qualité, évolutive dans le temps, du béton de sable avant

prise, et classer le béton de sable suivant une échelle de fluidité croissante (ferme, plastique, très plastique et fluide) [**81]**

Dans cet essai la consistance est caractérisé par le temps que met le béton de sable pour s'écouler sous l'effet d'une vibration. Ce temps sera d'autant plus court que le béton de sable sera plus fluide. L'appareil utilisé est appelé Maniabilimètre à béton de sable LCPC (figure III.6) et comporte :

- Unique boîtier parallélépipédique métallique (30 cm x15 cm x15 cm) ;
- Une cloison amovible ;
- Un vibrateur ;
- Un chronomètre.



**Figure III-6:** Maniabilimètre à béton de sable avec la tige de piquage

Le principe de fonctionnement du maniabilimètre à béton de sable est résume comme suite :

1. Huiler légèrement les parois internes de la cuve.
2. Remplir le béton de sable.

Le béton de sable est introduit dans la partie la plus grande délimitée par la cloison et mis en place en deux couches.

1. Chaque couche piquée de 15 coups au moyen de la tige de piquage.
2. Araser la dernière couche.

La cloison est retirée e, provoquant la mise en route du vibrateur et le déclenchement d'un chronomètren même temps que la cloison est retirée, sous l'effet de la vibration le béton de sable s'écoule.

Le chronomètre est arrêté quand le béton de sable atteint un trait repère sur la paroi opposée du boîtier.

Le temps t mis par le béton de sable pour s'écouler caractérise sa consistance, L'état du béton de sable avant et après l'essai est illustré dans la (figure III.7).

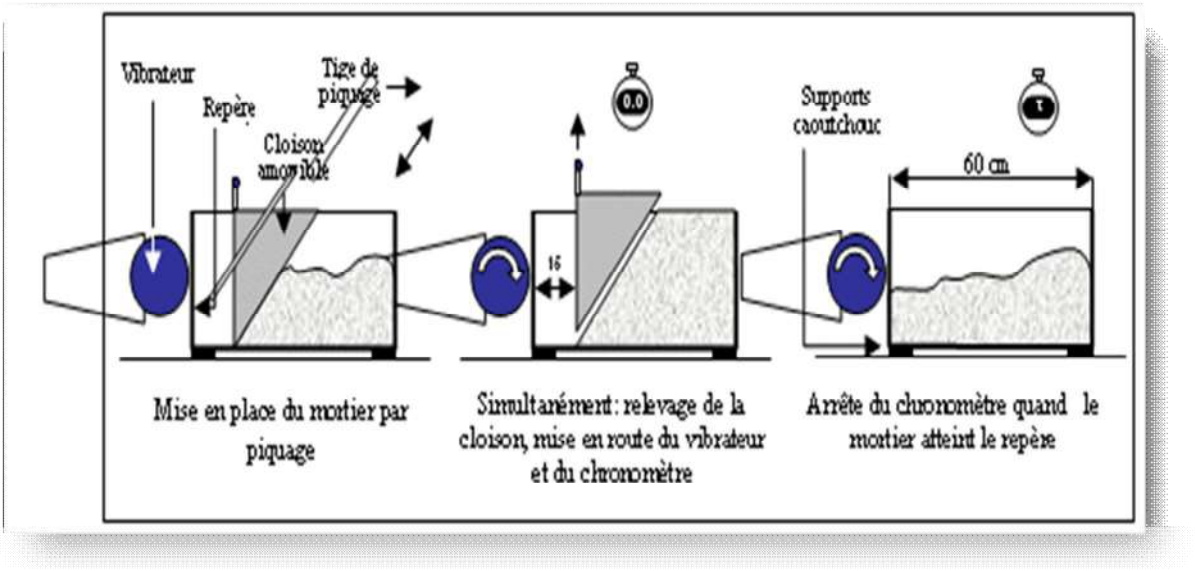



**Figure III-7:** Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable

### III.4.1.2 La densité

La masse volumique du Béton de sable a été mesurée selon la norme EN 12350-6 [82], voir (la Figure III-8)



**Figure III-8:** Mesure de la densité du Béton de sable

### III.4.1.3 L'air occlus

Pour la mesure de l'air occlus dans le béton de sable frais, on a utilisé la méthode dite « par pression ». Comme le seul élément compressible dans le béton frais est l'air occlus, la compression de l'air fait chuter la pression appliquée au béton de sable frais. Cette diminution est proportionnelle à la quantité d'air présente dans le béton. Cet essai est effectué à l'aide d'un aéromètre à mortier de capacité de 1litre (Fig III.9) selon la norme française NF EN 12350-7[83].On commence par remplir la chambre inférieure de l'appareil, sur trois couches égales tout en vibrant à chaque fois. On fixe ensuite la chambre supérieure, on injecte de l'eau l'aide d'un tube dans le premier robinet. Le deuxième est ouvert. Quand l'eau commence à sortir par ce dernier, on ferme les deux robinets et on applique une pression en actionnant la pompe manuelle intégrée jusqu'à ce que l'aiguille du manomètre de l'appareil indique la valeur de référence 0 ٪

On ouvre la valve qui sépare les volumes des deux chambres (supérieure et inférieure), le mélange est alors comprimé et le pourcentage d'air occlus est directement indiqué par l'aiguille du manomètre.



**Figure III.9:** Mesure de l'aire occlus

### III.4.2 Essai à l'état durcis :

#### III.4.2.1 Essai de compression :

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme NF EN 196-] [20] par compression axiale pour demi-prisme d'éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28 jours, à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 kN conforme a la norme NF P 18-353 [84]. 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.14j.28j).

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure III.10, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$Rc = Fc / b2 \qquad \text{Eq. III.1}$$



**Figure III.10:** Dispositif de rupture à la compression

### III.4.2.2 Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] [85] c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure III.11), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (4×4×16) cm, à 3, 7, 28 jours.



**Figure III.11** Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

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

$$\sigma t = (M / I)\, v \qquad \text{Eq. III.2}$$

Avec :

**M** : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge :

$$M = Ff\, L/4 \qquad \text{Eq. III.3}$$

**I** : Moment d'inertie de la section transversale :

$$I = a4/12 \qquad \text{Eq. III.4}$$

**v** : La distance de la fibre la plus éloignée :

$$v = a/2 \qquad \text{Eq. III.5}$$

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

$$\sigma t = (1.5Ff\, L)/ a3 \qquad \text{Eq. III.6}$$

Et ;

$$ft28 = 0.9\, Ft.L / a3 \qquad \text{Eq. III.7}$$

### III.4.2.3 Retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. (Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16cm) conformément à la norme NF P 15-404 **[86].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 heure placées dans un réctractomètre) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (de 1j jusqu'à 28 jours). La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C, et le gonflement la conservation des éprouvettes est fait à un bac d'eau de température de 25à 30°C.



**Figure III.12:** Mesure de variation dimensionnelle

### III.4.2.4 Mesure des variations de longueur

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots, etc.), et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 1600 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).même métal que l'appareil.

### A. Mesure des variations de masse :

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g près l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.

### B. Expression des résultats :

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

- **ΔL:** Variation de longueur par apport à la longueur origine,
- **L0** : Longueur de base, prise égale à 280mm.
- **ΔM:** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,
- **M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

### C. Conduite de l'essai :

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t) \qquad \textbf{Eq.III.9}$$

Soit l ($t_0$) la longueur de l'éprouvette au temps t0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \qquad \textbf{Eq.III.9}$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par **ε**et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \qquad \textbf{Eq.III.9}$$

Δ L (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air ΔL (t) est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, Δl(t) peut-être positif: il y a alors gonflement).

### III.4.3 Absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé ($m_0$), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (**Figure III.12**), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé ($m_i$- $m_0$) (NE 13057) **[87]**.



**Figure III.13:** Absorption d'eau par succion capillaire

### III.4.4 Porosité

À la fin de la cure, les demi-prismes d'éprouvette 4x4x16cm sont séchés dans une étuve ventilée à 40 ± 5 °C jusqu'à poids constant ; elles sont ensuite prolongé dans l'eau, jusqu'à Poids constant. L'échantillon est passé ensuite à imbibition sous vide, et après saturation une pesée sous eau ($M_{eau}$) et une autre dans l'air ($M_{air}$) sont réalisées (Figure III.14). L'échantillon est séché dans une étuve ventilée à 105 ± 5 °C jusqu'à poids constant et à nouveau, une mesure de masse ($M_{sec}$) est réalisée selon la recommandation l'AFPC-AFREM.

La porosité volumique accessible à l'eau ε exprimée en pourcentage, est donnée par l'équation :

$$\varepsilon(\%) = \frac{1}{1} \times 100$$

**ε(%)**: La porosité totale

**Mair:** La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air

**Msec**: La masse d'éprouvette sèche

**Meau**: La masse d'éprouvette immergée dans l'eau.



**Figure III.14:**essai de porosité

### III.4.5 Conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement des matériaux lors du transfert thermique par conduction. Notée λ, elle représente la quantité de chaleur transférée par unité de surface et par une unité de temps sous un gradient de température de 1 degré par mètre. Elle s'exprime en W/m°C. Cette valeur permet de quantifier le pouvoir isolant de chaque matériau. Plus elle est faible, plus le matériau sera isolant. Dans notre cas la conductivité thermiques des différents bétons a été mesurée à l'aide d'un CT Mètre conformément la norme NF EN 993 sur des échantillons de 4 ×10×10 cm.(Figure III.15)

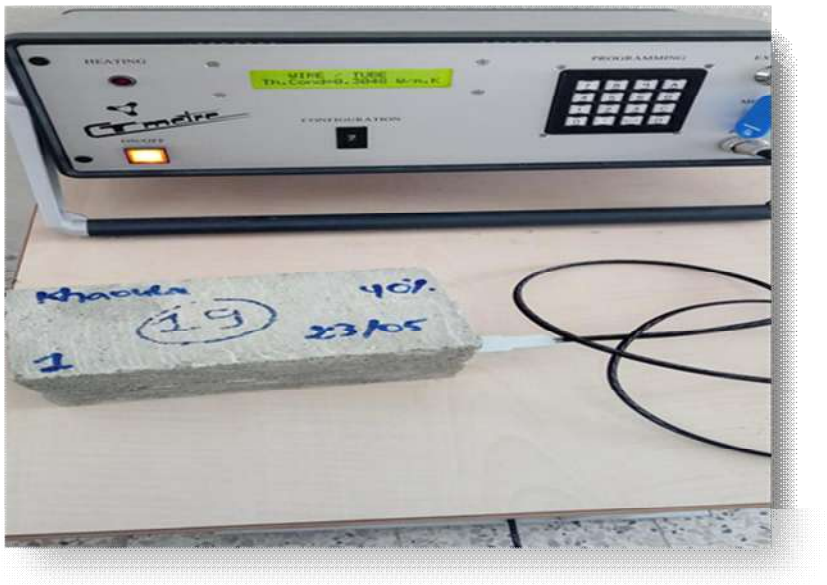


**Figure III.15:** Essai conductivité thermique

### III.4.6 Résistance au feu

Préparer des demi prismes d'éprouvettes (4×4×16cm3) pour le traitement thermique, elles sont exposées à l'air libre au laboratoire pendant 6 jours puis étuvées à 105°C Pendant plusieurs jours jusqu'à stabilisation de leurs masses. Ensuite, elles sont chauffées dans un four à moufle à différentes températures 200°C, 400°C et 600°C et avec une vitesse de chauffage égale à 10°C/min maintenues la température constante dans le four pendant une heure conformément à la norme ISO 834. (Figure III.16)

Tous les demi-prismes d'éprouvettes sont ensuite refroidis à l'air (en dehors du four) pendant 24 heures puis écrasés. Pour chaque température, des mesures de pertes de masse ont été effectuées. Le degré de déshydratation (Perte de masse (%)) est évalué par la relation suivante :

[Perte de masse (%)] = [(M1-M2)/M1)] x 100…… **Eq.III.9**

Avec M1, M2 les masses des éprouvettes avant et après le chauffage respectivement.



**Figure III.16:** Essai de résistance au feu

## III.5 CONCLUSION :

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant).

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons de sables, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (maniabilité, densité),

Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, absorption d'eau, retrait, gonflement).

Des essais menée au domaine thermique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés de l'isolation est de transfert de chaleur .Pour reconnaitre l'effet du bois sur le béton de sable ce soit à l'état frais ou durci.

# CHAPITRE IV:

## ANALYSES ET INTERPRETATIONS

# IV.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre l'ensemble des résultats trouvés dans la réalisation expérimentale sont exposés, analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la littérature.

# IV.2 Béton frais

## IV.2.1 La Maniabilité

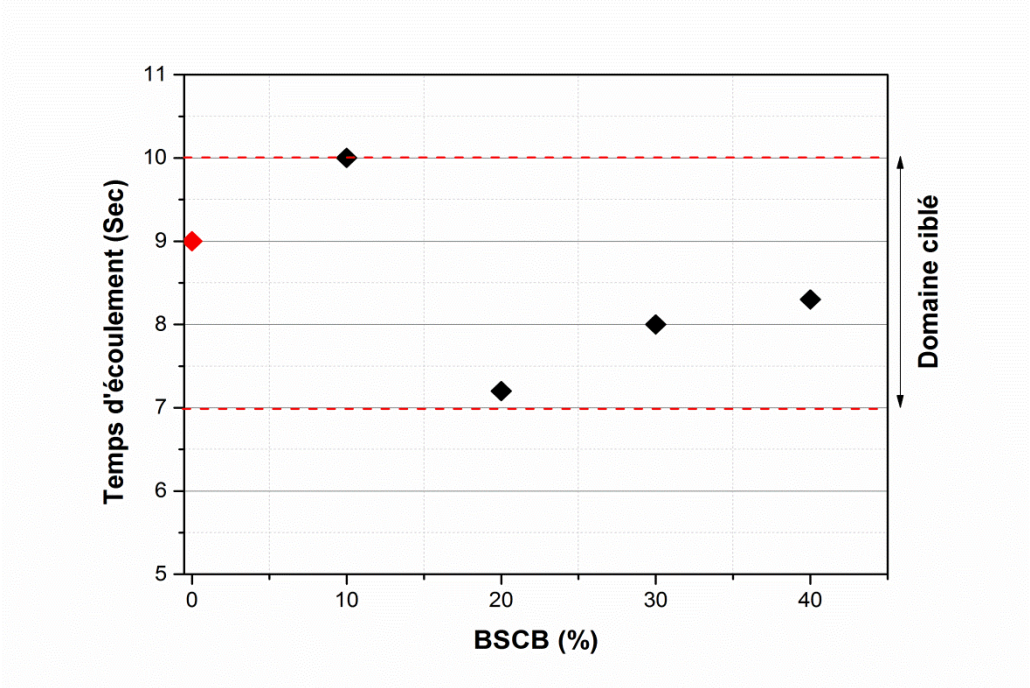



**Figure IV.1:** Temps d'écoulement de BSB

La Figure IV.1 montre les résultats de l'effet du pourcentage de bois sur le temps d'écoulement du béton de sable. Pour tous les mélanges, le temps d'écoulement se situe entre 7 et 10(s) selon la recommandation sablocreate, avec un rapport E/C fixe et un dosage en super plastifiant (SP) variable entre 0.5 et1.14 % par rapport à la masse du ciment.

## IV.2.2 La Densité

Les résultats de la densité pour les différents mélanges du BSCB sont traduits en histogrammes de la figure IV.2. Les résultats montrent que la densité diminue selon le taux de substituions du CB. Ce résultat est logique et attendus parce que la densité des CB est

inférieure à celle du sable. Ce résultat est conforme à celui trouvé par M. Bederina et al [88].

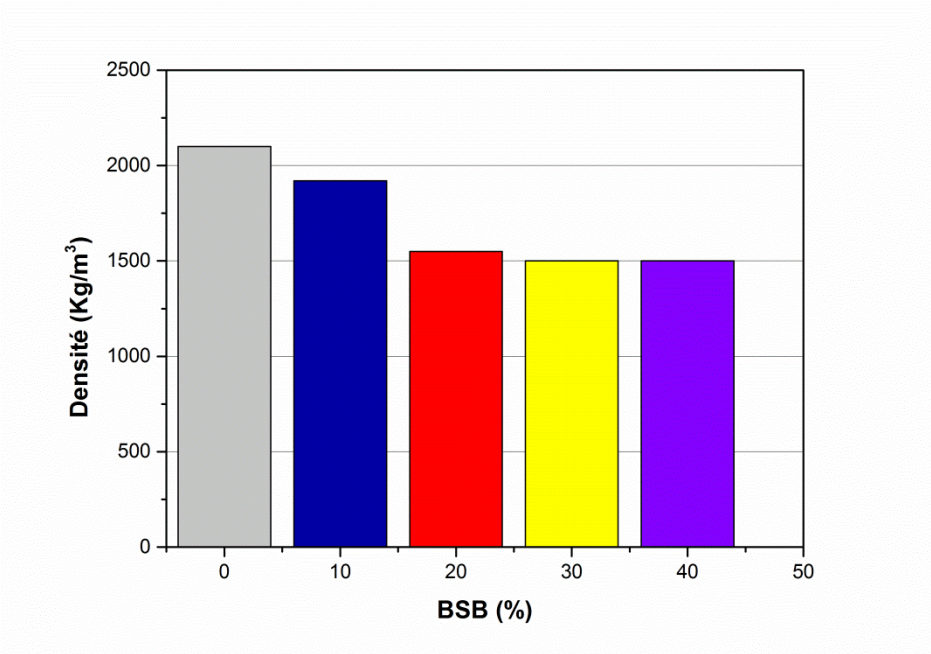



**Figure IV.2:** Densité de BSB

### IV.2.3 L'air occlus

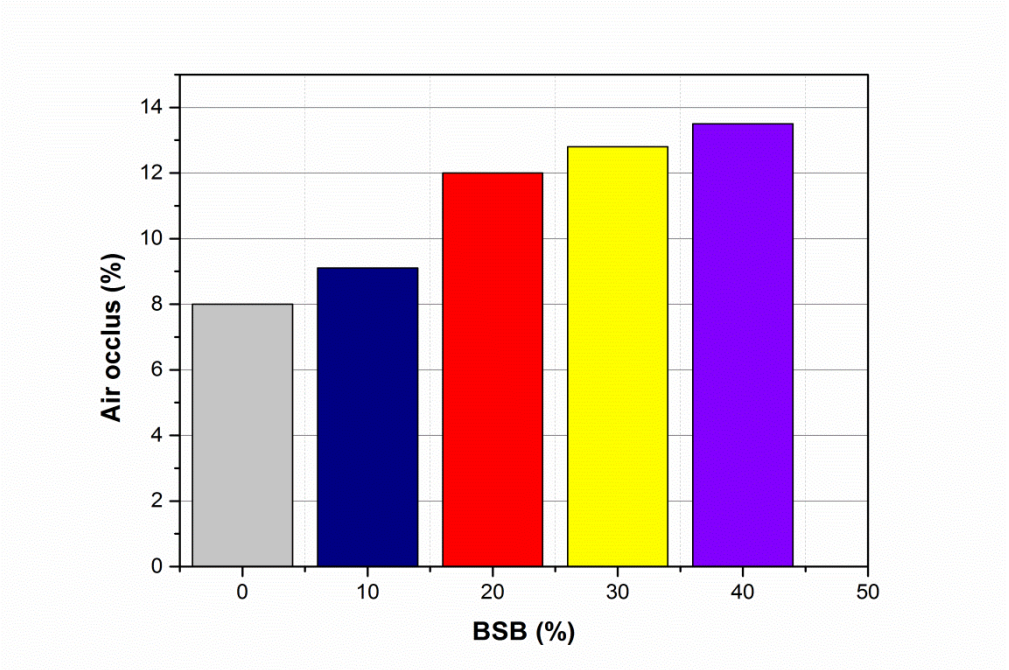



**Figure IV.3:** l'air occlus de BSCB

Les résultats de l'air occlu sont représenté dand la figure IV.43 Cela signifie que ce type de béton de sable est moins compacté et par conséquence plus poreux par rapport au BS de référence. L' histogramme qui permet de comparer des valeurs des bétons entre eux. D'après les résultats trouvés, on remarque que le volume d'air occlus diminue avecL'augmentation du taux d'incorporation de copeau de bois (CB) pour tous les types des bétons de sable,

## IV.1 Béton durci

### IV.1.1 Résistance à la compression

Les résultats d'évolution de la résistance à la compression et des **BSCB** obtenus à 7, 14, et 28 jours avec différents pourcentage de **CB** sont résumés sur la figure IV.4**.** À partir de la figure on constate que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation du pourcentage de **CB**. La diminution à 28 jours par rapport au **BST** est de l'ordre de **75%** avec **40%** d'ajout **CB**. Cette chute de résistance est probablement pourrait être à la masse volumique de **CB** , de sa fragilité et surtout la faible porosité [89,90] .

Anastasia et al [91] Ont étudié l'influence de copeaux de bois sur le comportement mécanique de mortier. ont constaté que l'incorporation de **CB** peut conduire une diminution de résistance à la compression.

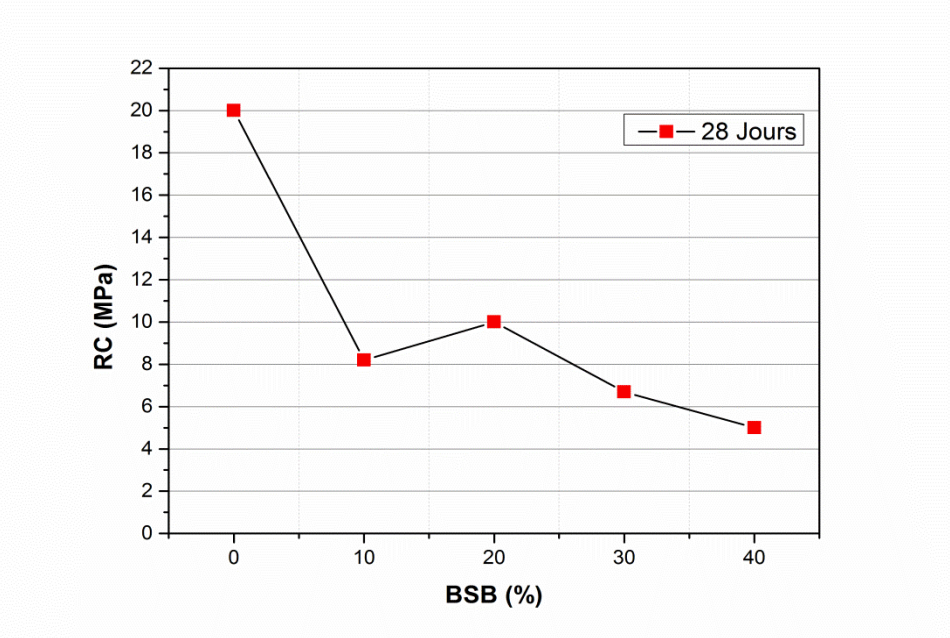



Figure IV.4: **Résistance a la compression de BSB**

### IV.1.2 Résistance à la traction par flexion

Les résultats des tests de résistance à la flexion illustrés à la figure IV.5 sont similaires à la résistance à la compression. Dans le but d'étudier l'effet de **CB** sur la résistance à la traction de ce type de béton, on a constaté d'après la IV.5, que plus qu'on augmente le % de **CB** plus la résistance est faible, on a enregistré une diminution à 28 jours de l'ordre de 52 %, 42%, 45% et 74% pour **les BSCB10 , BSCB20, BSCB30 et BSCB40** respectivement. Cette diminution du à la fragilité de bois.

A. Daouadji [92] et al ont examiné influence de copeaux de bois traité sur les caractéristiques phisico-mechanique du béton. Pour cette étude deux copaux de bois remplacé par le sable de 0%, jusqu'à 4% en poids avec un pas de 1%. Les résultats ont observé que la résistance à la traction diminuaient quelque que soit le type de bois utilisée.

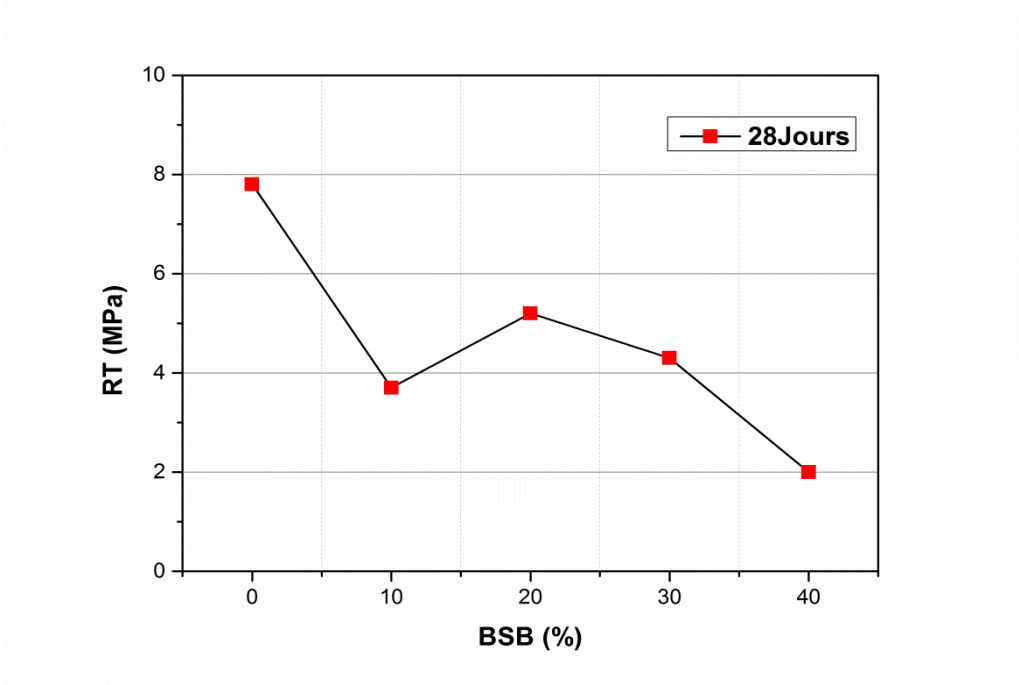



**Figure IV.5:** Résistance à la traction par flexion de BSB

### IV.1.3 Absorption d'eau :

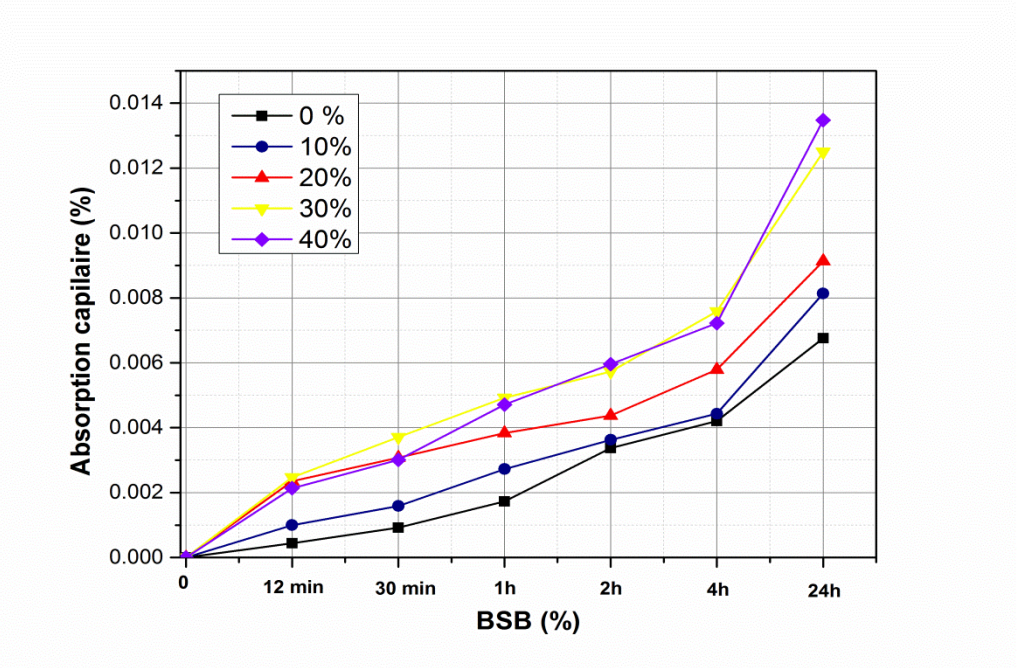



**Figure IV.6:** Absorption d'eau de BSB

D'apres la figure ci-dessus, on remarque l'absorption d'eau est augmente en fonction de CB% .De plus, l'ajout de copeaux de bois induit dans la matrice une porosité supplémentaire qui, elle même, favorise l'absorption d'eau par capillarité. Ceci est du à la finesse des grains du sable dunaire qui rend les pores très fins et par conséquent favorise la montée de l'eau par capillarité. Résultats similaire a Bederina et al [93]

### IV.1.4 Porosité

D'après les résultats obtenus on remarque que la porosité des bétons de sable à base des copeaux de bois est élevé par rapport le béton de référence. Car Il est à noter qu'en général, plus le matériau est poreux (proportion de copeaux de bois plus élevée), plus l'absorption est importante .

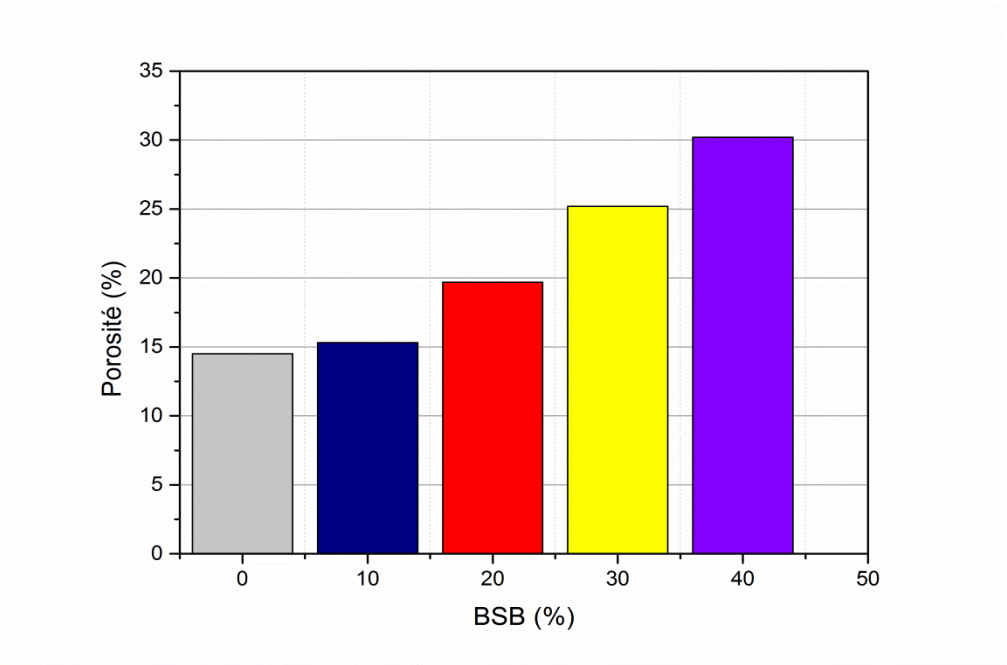



**Figure IV.7:** Porosité de BSB

### IV.1.5 Conductivité thermique

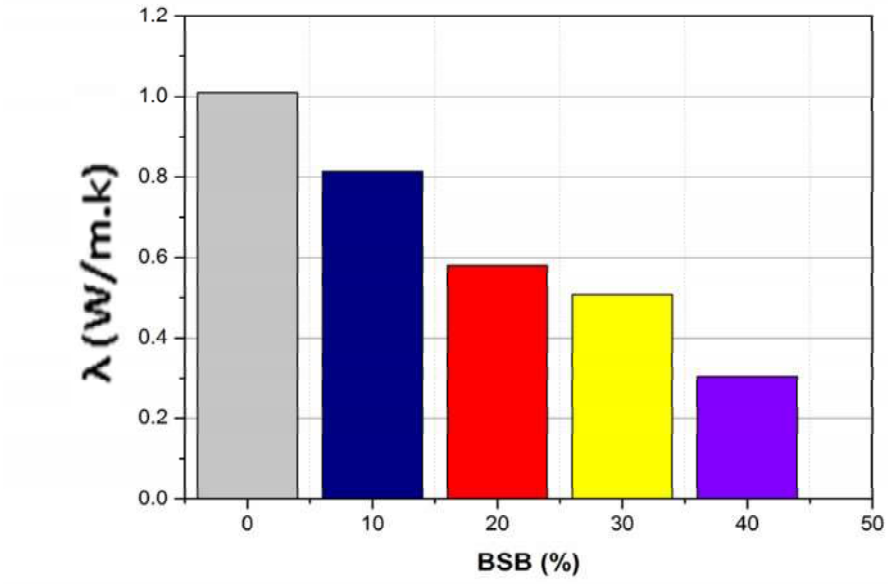



**Figure IV.8:** Conductivité thermique de BSB

Les résultats obtenus dans figure ci- dessus montrent que la conductivité thermique de BS diminué avec l'augmentation de pourcentage de **CB**. une amélioration Des performances thermique dans le **BST**, et On peut dire que BSB (%) sont des bétons isolants car la conductivité est inférieure à 1.

### IV.1.6 Retrait

Afin de mieux mettre en évidence l'influence de **CB**, nous avons reporté sur un même repère l'ensemble des résultats de retrait à l'air libre du **BS** à différents âges (Figure IV.8).

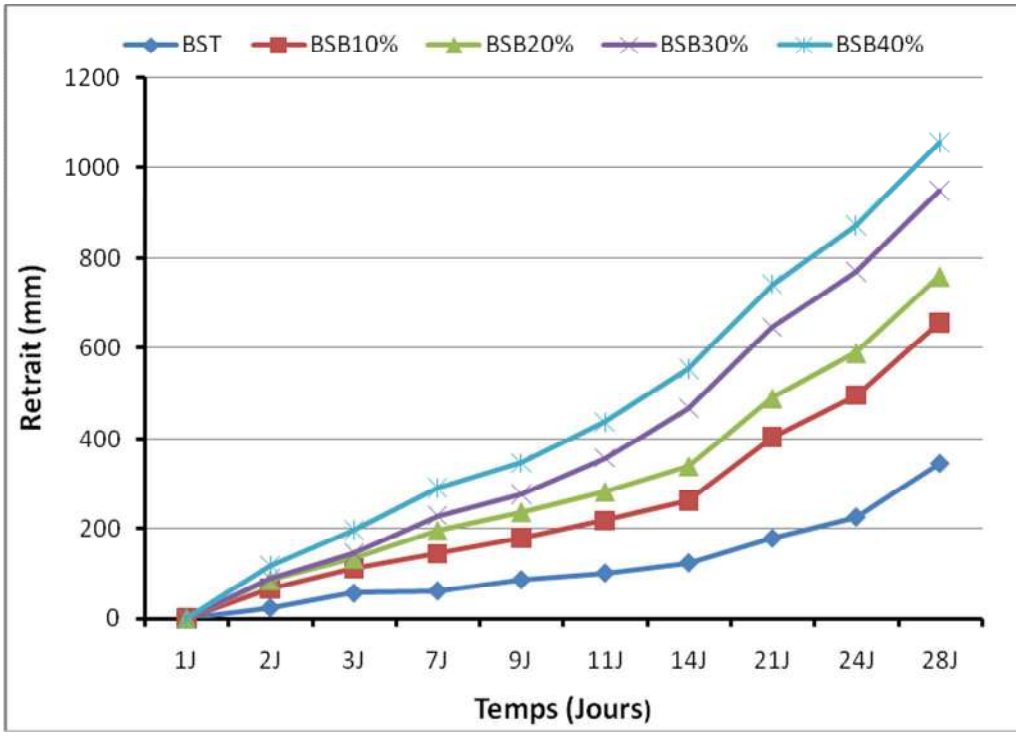



**Figure IV.9:** Retrait des de BSB

Voit que pour les dosages importants. En granulats de bois le retrait est tres important, ceci est du au faite que les proportions volumique est domaine par rapport a celle de la matrice, ce qui fait que le retrait du béton sera en grande partie le retrait des granulats de bois .

D'une autre façon et pour bien expliquer le retrait, on présente sur la figure IV.9 les résultats de variation massique durant ce phénomène.

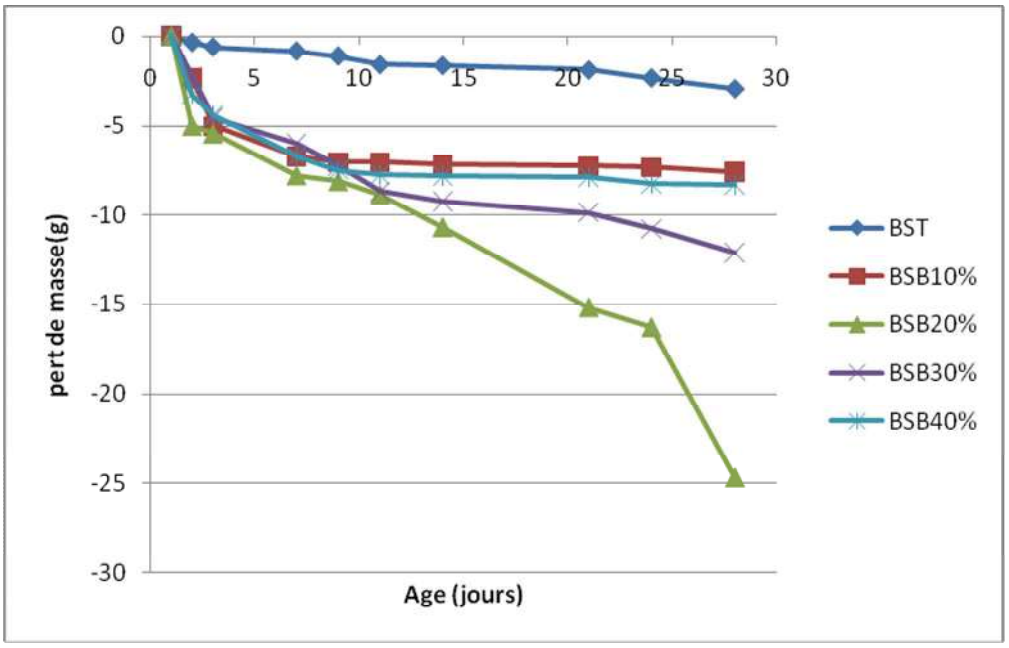



**Figure IV.10:** Perte de masse de BSB

Les résultats montrent qu'il y a une perte en masse avec l'addition de de CB par apport au BS témoin. Ce changement de volume du béton est du au séchage et sans doute due à la perte de l'humidité qui dépend de l'environnement.L'évaporation trop rapide de l'eau de gâchage d'un béton frais génère des retraits et que s'ils sont importants, provoquent la fissuration du béton aux endroits de plus faible résistance mécanique.

### IV.1.7 Gonflement

La figure suivante IV.10 résume les résultats trouvés sur le gonflement du BS à base de CB en fonction du temps. Le gonflement augmente avec le temps , en particuler au cour des premiers jours.lorsque l'echantillon est complétemnt saturé le gonflement se stabilise. Les valeurs du gonflement du béton sont très élevées et ceci a cause du pouvoir d'absorption du bois. Le gonflement du béton est largement supérieur a celui du béton témoin .

D'une autre façon, la figure IV.11 présente les résultats de la variation massique du **BS** en fonction du temps durant ce phénomène de gonflement. D'après les résultats trouvés, il convient de noter un gain visible en masse du béton et ceci crois avec

l'accroissement en pourcentage d'ajout en polystyrène. Cette augmentation en masse peut être expliquée par le remplissage d'eau des vides causé par l'ajout du **CB**.

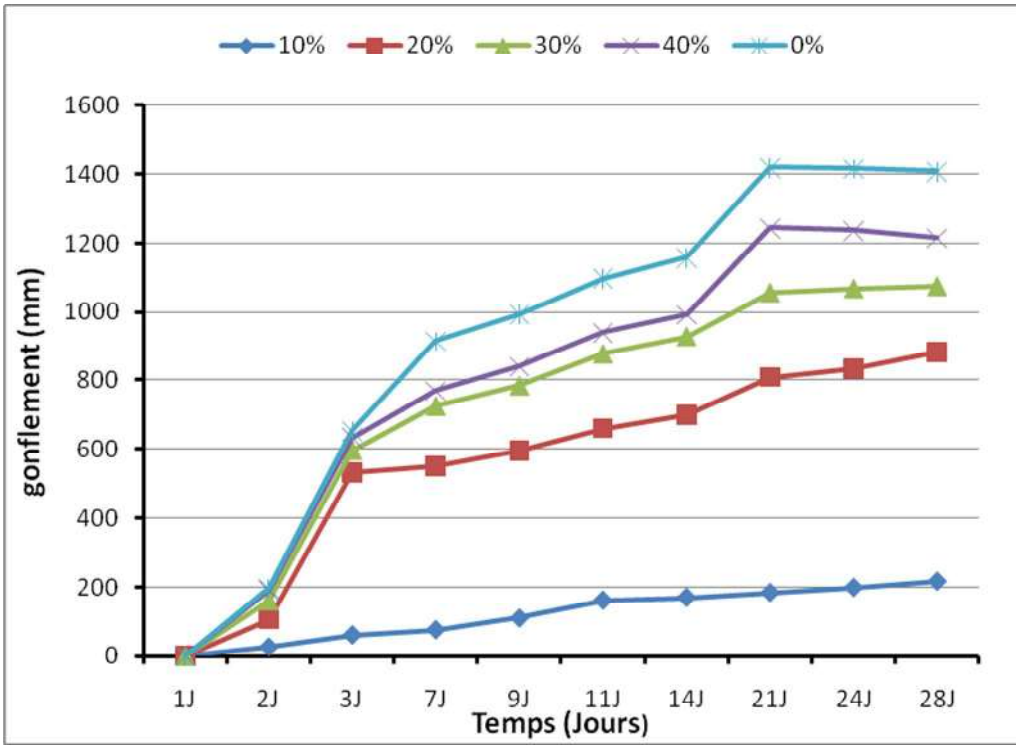



**Figure IV.11:** Gonflement de BSB

Les résultats du gain de masse des déférents bétons sont illustrés dans la figure ci dessous figure IV.12.

On remarque que le gain de masse des bétons de sable à base de DPB est moins important que celui des bétons de sable de référence, et d'après les résultats trouvés, il convient de noter un gain visible en masse du béton et ceci crois avec l'accroissement en pourcentage d'ajout en bois.

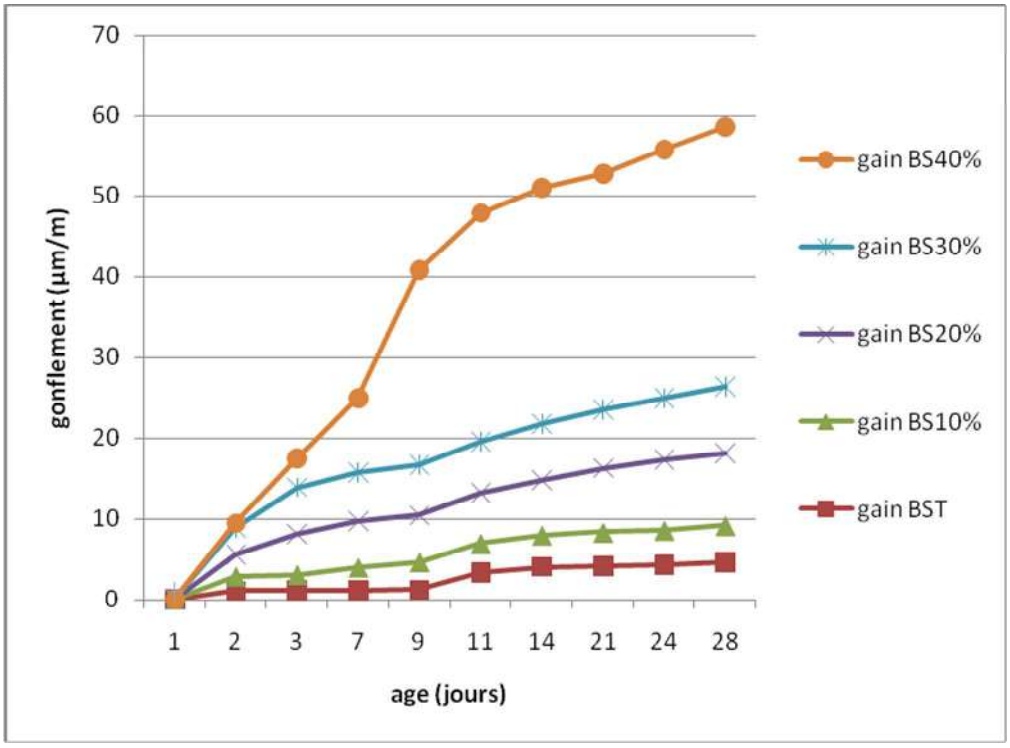



**Figure IV.12:** Gaine de masse de BSB

### IV.1.8 Résistance au feu

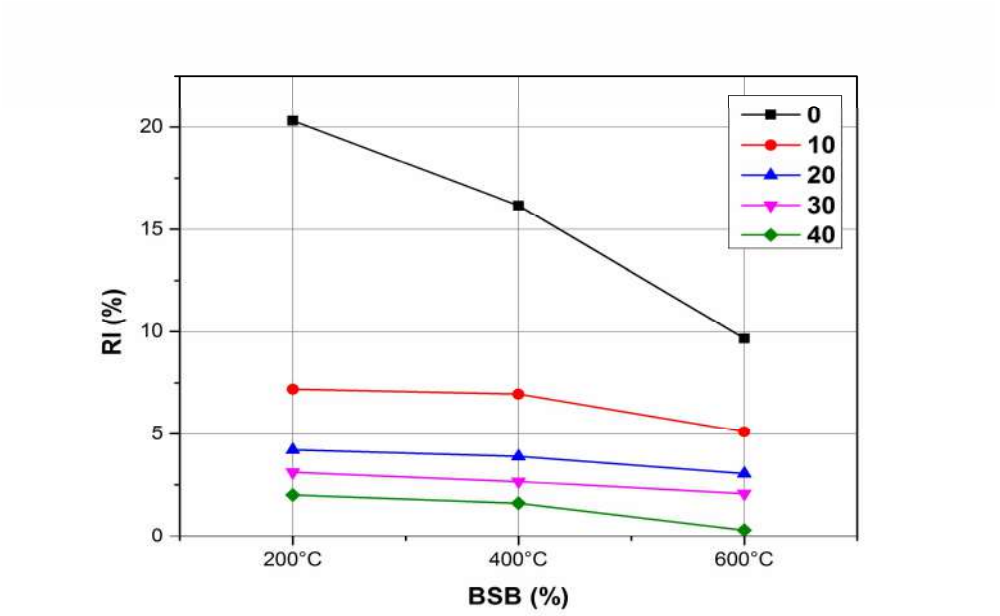



**Figure IV.13:** Résistance au feu en fonction (RC) de température

D’après les résultats suivants on a remarque que la résistance au feu diminué avec variation du degrés C° ( 200° 400° 600° )

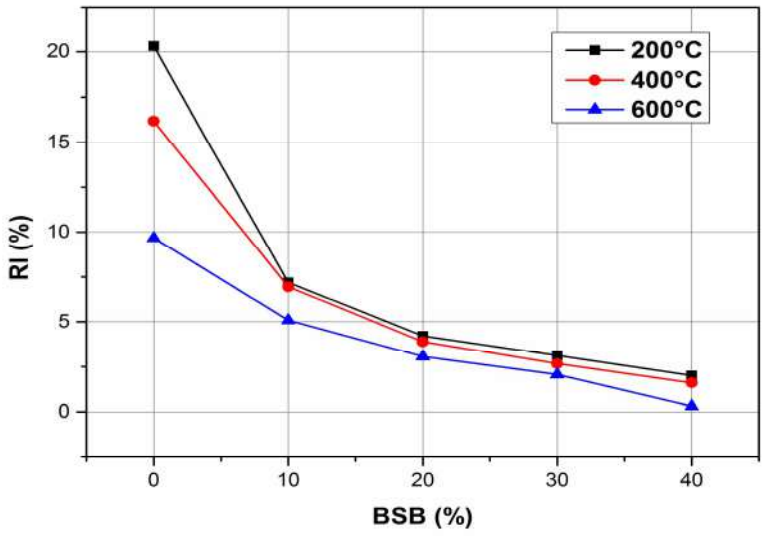



**Figure IV.14:** Résistance au feu en fonction de % CB

D’apres la figure on a remarque meme chose pour la resistance en fonction de pourcentage (10 jusqu’un 40 %)

# CONCLUSION GENERALE

# CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet des copeaux de bois sur le comportement et la durabilité du béton de sable. À la lumière des résultats obtenus, on peut conclure que :

- La maniabilité des différents mélanges de béton de sable étudiés avec l'ajout du copeau de bois est située entre 7 est 10 seconde selon la recommandation avec un rapport E/C fixe est un dosage en superplastifiant varié.

- La résistance à la compression et à la traction du béton de sable diminue avec l'augmentation en pourcentage du copeau de bois. Cette chute de résistance est due principalement à l'augmentation de la porosité du béton causée par la présence du copeau de bois et sa fragilité de ce dernier.
- L'absorption d'eau par capillarité du béton de sable augmente avec l'augmentation en pourcentage du copeau de bois.

- L'augmentation du copeau de bois engendre une augmentation de retrait et de gonflement .

- La faible adhérence béton- copeaux de bois conduit à la création de vides à l'intérieure du mélange et par conséquent augmente sa porosité, ce qui devient nécessaire de limiter le pourcentage d'ajout de copeaux de bois.

- la conductivité thermique de béton de sable diminué avec l'augmentation de pourcentage de copeaux de bois.
-

# RECOMMANDATION

Dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre de ce travail de recherche et sur la base des résultats intéressants trouvés, des travaux restent à mener dans plusieurs axes à savoir :

- L'utilisation d'autres types de copeaux de bois (bois rouge) ;
- L'étude la rhéologie des bétons de sable à base des copeaux de bois ;
- L'étude de la durabilité des bétons de sable allégé par les copeaux de bois ; (perméabilité à l'eau et au gaz, attaque par les acides et sulfate, carbonatation…..);
- Prévoir une modélisation des résultats permettant les prévisions sur les caractéristiques des bétons sable des copeaux de bois;
- L'étude d'un autre type de béton avec ajout des copeaux de bois

# REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

# REFERENCES

**[1] KHADY NDIAYE** «Optimisation des formulations des bétons sable »mémoire d'ingénieure, Université CHEIK ANTA DIOP SENEGAL. Juillet 1993

**[2] SAITI ISSAM.** «Etude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire a base de sable de dune de la région de Ghardaïa» mémoire d'ingénieur, Université KASDI MERBAH OUARGLA

**[3] REZIG SALIMA** «Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux » mémoire de magister, Université Mohamed Khider –Biskra

**[4]A. Benaissa, P. Morlier, V.Tram** : "Le béton de sable, un matériau non fissurant", Algérie équipement, (1992) N°6, pp7-11 Oct.

**[5] Hachemi nadir,Boussa adel,** « Infuence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton » mémoire de magister **,**Université de m'hamed bougara **–**BOUMERDES.

**[6] BELMCHERI OUM HABIBA**. «Etude d'un composite a base de sable de dune, ciment et granulats en billes de polystyrène expansé mémoire d'ingénieur, Université AMAR TELIDJI DE LAGHOUT

**[7] Presse d'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées(1994):** Béton de sable, Caractéristiques et pratique d'utilisation ; Projet " SABLOCRETE ".

**[8] SABLOCRETE, (1994)** « Béton de sable »**,** Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, Paris, France.

**[9] C.E.B.T.P**:" Synthèse de connaissance sur le béton de sable", Opération 52G119; LRPC de Bordeau (Dec.1986).

**[10] A. Batata, M. Zerouni** :"Le béton de sable de dune: sa performance et ses propriétés"; MATLOC 91, Séminaire à Biskra (CNERIB) **(**3-4 déc.1991).

**[11] Ghrieb.A**: Etude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques. Thèse de magister, ENSP **(**2003).

**[12] M. Benmalek, A. Bali** : "Le béton de sable de dune, un matériau de construction performant pour le monde arabe" ; C.A.M, à DAMAS, Syrie **(**1-3 juin 1997).

**[14] Benabed.B,Azouz.L.,Damene.Z.(**6-7 décembre 2005) :Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base du sable de dune ,colloque CMEDIMAT.

## ***Références bibliographiques***


**[15] Cisse I., Laquerbe M.** (mars 1999)**:** Caractérisation des bétons de sable routiers compactés: application a cas du Sénégal ; Matériaux et construction ; volume 32 ; pp.151-157.

**[16] DANRAVINA**(Mars 1998): Mechanical properties of structural concrete incorporating a high volume of Class F fly ash as partial fine sand replacement;Matériaux et construction, Vol.31, , pp84-90.

**[17] Robu I., Jauberthie R.,CisseI.,Achoura D.** (2005) **:** Comportement des bétons de sable en milieu sulfatique. Algérie Equipement

**[18] Philippe L., Martin C., Erick R.**(2005)**:** Mineral admixtures in mortars effect of type, amount and finesse of fine constituents on compressive strength. Cement and ConcreteResearch.

**[19] Benmalek M.L., DERBALA R.**(28-29 janvier, 2009)**:** Valorisation des sables dunaires etdes sous-produits de la région de Laghouat : élaboration et caractérisation d'un béton de sable pour structures modérément sollicitées. ENSET ORAN (2003) (Algérie).

**[20] BEDERINA**, «caractéristiques mécaniques et micro structure de béton de sable »mémoire de magistère université de Laghwat ,2000.

**[21] G**. **Chauvillard, O. Bssuvaux :** " Une méthode de formulation des bétons de sable à maniabilité et résistance fixées", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°205, Sept- Oct **(**1996).

**[22] GAGUI WARDA** «l'effet d'ajout des fibres palmiers dattiers(Saaf et Lif) sur les propriétés physico-mécanique des bétons de sable

**[23]** Technologie du bâtiment -Gros oeuvre (ouvrage en béton armé), les éditions des FOUCHER

**[24] K.HAMADACHE**, « Béton de sable modifié à la poudrette de caoutchouc » mémoire d'ingénieur ; Ecole nationale Polytechnique -2005.

**[25] CHAUVIN, J.J.** « Béton de sable en Union Soviétique » Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), n°174, juill. - août 1991.

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

**[27] AGOUMIMELCHA Ahmed ,OUANNOUGHI Billal** «Formulation et caractérisation d'un béton léger à base de granulats obtenus par recyclage des boues de barrage. »mémoire d'ingenieur , université de M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES

## ***Références bibliographiques***


**[28] P. Pimienta ,J.Chandellier, M. Rubaud, F. Dutruel, H. Nicole (**1994):Etude de faisabilité des procèdes de construction à base de Béton de Bois, Cahier du CSTB, Livraison 346, N°2703.

**[29] Bentchikou. M** (2008): contribution à l'étude et a l'élaboration de matériaux composites pour l'isolation thermique (Cas de béton de fibres de papiers recyclés) ; Thèse de doctorat de l'ENP d'Alger.

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

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

**[32] Mme MOHELLEBI Samira Thèse doctorat** : «*Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites»* 29 Mai 2014.

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

**[34] Livre :** «Dictionnaire Professional du BTP» l'auteur : **J. Roy**, 1 janvier 1998.

**[35] Jean-Pierre lott** *« Le béton, matériau de structure d'expression architecturale* **».**

**[36] Latifou Bello** *«Méthodologie de formulation des Bétons Auto-Plaçant Légers* **»** 2015.

**[37] Roger lacroix-Albert Fuentes**(1982)**:**Traité de bétonArmé; EditionsEyrolles,Paris.

**[38] Véronique CEREZO** (2005) : Propriétés mécaniques, thermiques et acoustiques d'un matériau à base de particules végétales:approche expérimentaleet modélisation théorique. Thèse de doctorat; INSA de Lyon.

**[39] A. Steopoe** 1970: "La durabilité du béton", Eyrolles, Paris.

**[40] Gotteicha.M**., (2005). Contribution à la Caractérisation des bétons de sable à base de copeaux de bois traités, Thèse de Magister, U.A.T de Laghouat.

**[41] G.Bauduin,DJ Mathieu et R.Phan tan Luu (**1987) : Mise au point d'un nouveau béton léger de polystyrène expansé –I:Etude des constituants principaux vol ,23.N°6,PP.441-445

## ***Références bibliographiques***


**[42] George dreux Jean festa** (1998) : Nouveau guide du béton et de ses constituants ;Eyrolles Paris.

**[43] Ziregue Ahmed** (1993) :valorisation de coproduits industriels influence de différents facteurs d'allégement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton a matrice calcaire-ciment., Thèse de Magister, l' UAT de Laghouat.

**[44] A.Laukaitis,R.Zurauskas,J.Keiene**(2005):The effect of foampolystyrene granules on cement composite properties ;Cementconcrete composite 27(2005) pp .41-47.

**[45] J.P Yvrard**(1998) : Expérimentation et modélisation du comportement Mécanique du polystyrène expansé. Thèse de doctorat de l'université de Lille.

**[46] Thèse doctorat** *«caractérisation du comportement mécanique des bétons de granulats légers : expérience et modélisation* **»** 2008.

**[47] Arnould.M et Virlogeux .M** (1986):granulats de béton légers, Presses de l'écolenationale des ponts et chaussées ; Paris

**[48] DJAKAM Imane** : Elaboration d'un béton léger à partir des matériaux *locaux , université Mohamed Boudiaf m'sila*

**[49] "Béton léger",** TECHNI.CH-Rapport technique / domaine du bâtiment - génie-civil Contenu, Janvier 2014**.**

**[50] www.guidebeton.com/béton-leger.**

**[51] www.tradisol.com/béton-leger.htm.**

**[52] «**Rapport technique / domaine du bâtiment - génie-civil» **hauteur : Laura Vonlanthen , Janvier 2014.**

**[53] P. Pimienta , J.Chandellier, M. Rubaud, F. Dutruel, H. Nicole**, Etude de faisabilité des procèdes de construction à base de Béton de Bois, Cahier du CSTB, Livraison 346, N°2703,1994

**[54] A. Ledhem**, Contribution à l'étude d'un béton de bois, Mise au point d'un procédé de minimisation des variations dimensionnelles d'un composite argile-ciment-bois, Thèse de doctorat de l'INSA de lyon, 1997

**[55] Document Internet, Lignum,** Le bois de A à Z-Ecologie, Site http://www.lignum.ch.



**[43] Ziregue Ahmed** (1993) :valorisation de coproduits industriels influence de différents facteurs d'allégement sur les caractéristiques physico-mécaniques et thermiques d'un béton a matrice calcaire-ciment., Thèse de Magister, l' UAT de Laghouat.

## ***Références bibliographiques***


**[56]Document Internet French wood**, Bois traité sons vide, Site http://www.frenchwood/Bois.

**[57] A.Bougerra, H.sallée, F.de barquin , RM dheily, M quéneudec**, isothermal moisture properties of wood-Cementitious composites, Cement and Concrete Research 29 (1999) pp339-347.

**[58] K.U.GLINIORZ**, élément de construction en Bois-Béton léger, L'industriel du Bois 2001, vol 79 N°4 pp58-59.

**[59] F.Z Aouadja . M .Mimonne , M. Laquerbe**, Béton de Bois : variations de longueur et résistances mécaniques, Algérie Equipement

**[60] M.Eustafievici, O.Muntean, M. Muntean**, Influence of the wood waste characteristics and its chemical treatement on the composites properties Vietnam intetnatinal conference on NonconventionalMaterials and technologies, Hanoi-vietnam, mars2002.pp107-112

**[61] A.Ledhem, R.M.Dheilly, M.L.Benmalek, M.Queneudec**, Proprieties of wood-based composites formulated with aggregate industry waste, Journal of Construction and Building Materials 14(2000) pp.341-350

**[62] A.Bougerra, A.Ledhem, A.de Roodenbeke, M.Quenedec**, Incorporation de déchets Argileux dans les Bétons de Bois propriétés mécanique et thermiques, Déchets-Sciences et Techniques N°4 Dec 96.

**[63] Adam M. Neville**, propriétés des Bétons, Traduit par le CRIB, Editions Eyrolles, Paris, 2000.

**[64] P.Corman,** Bétons légers d'aujourd'hui, Ed. Eyrolles, Paris, 1961.

**[65] A.Bougerra, A.Ledhem, A.de Roodenbeke, M.Quenedec**, Incorporation de déchets Argileux dans les Bétons de Bois propriétés mécanique et thermiques, Déchets-Sciences et Techniques N°4 Dec 96

**[66] R.E.E.F Normes AFNOR, Centre scientifique et technique du bâtiment**.

**XP P 18-540 :** Granulats : définitions, conformité, spécification. Octobre 97.

**NF P 15-560 :** Analyse granulométrique par tamisage. Octobre 78.

**NF P 18-598 :** Equivalent de sable. Novembre 79.

**NF P 18-451 :** Essai d'affaissement. Décembre 81.

## ***Références bibliographiques***


**NF P 18-305 :** Béton prêt à l'emploi. Décembre 94

**NF P 18-555:** Mesure de la masse volumique, porosité, coefficient d'absorption et teneur en eaudes gravillons et cailloux. Décembre 80.

**NF P 14-304 :** Blocs en béton de granulats légers pour murs et cloisons.

**NF P 15-433 :** Méthodes d'essais des ciments : détermination du retrait et gonflement. Janvier 94.

**NFP 18-400 :** Moules pour éprouvettes cylindriques et prismatiques. Décembre 81.

**NF P 94-057 :** Analyse granulométrique des sols- méthode par sédimentation. Mai 92.

**[67] A.Sarja,** Wood reinforced concrete, Natural fiber reinforced cement and concrete, Vol.5 Blackie, pp 63-91**.**

**[68] A.Bouguerra, F.de Barquin, A. ledhem, RMDheilly, M Quenendec**, étude de la porosité des Bétons de Bois à matrice argileuse : relation avec les propriétés mécaniques et thermiques, Soumis à Materials and Structure/Matériaux et Construction

**[69] A. Bouguerra**, Contribution à l'étude d'un procédé de valorisation de déchets argileux: comportement hygrothermiques des matériaux élaborés, Thèse de Doctorat de l'INSA de Lyon, 1997

**[70]: NF EN 933-1, 1997.** « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1:Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

**[71]: NF EN 1097-6, 2001.** « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.

**[72]:NF P18-555, (déc.1990).** « Granulats- Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d"absorption et teneur en eau des sables ».

**[73]: NF P 18-598, (Oct. 1991).** « Granulats- Équivalent de sable »

**[74]:EN 196-6:1989 P 15-476** Méthodes d'essais des ciments - Détermination de la finesse

**[75]: – J.J. Chauvin,** « le béton de sable en Union Soviétique » Bulletin liaison laboratoire Ponts et Chaussées, N° : 174, Ref 3589, PP : 61-68, (Juil - août 1991).

## ***Références bibliographiques***


**[76]: J.J.Chauvin et G.Grimaldi,** « Les bétons de sables » Bulletin liaison laboratoire », Ponts et chaussés N°157, Ref 3336, PP:9-15, (Sept-Oct 1988).

**[77]: Boudaoud Z.,** « Etude des mortiers, des microbétons et des bétons de sable à base de sable fin de Ed Boussaada », Thèse de Magistère, université MBoudiaf.

**[78]: Norme Francaise, NF P 18 - 452** « Béton – Mesure du temps d'ecoulement des bétons et des morties aux maniabilimètres», Norme enregistrée, Mai 1988.

**[79]: Norme Francaise, NF P 15-437** « Liants hydrauliques – technique des essais – Caratérisation des ciments par mesure de fluidité sous vibration des moriers», Juin 1987.

**[80]** – Norme Algérienne, NA 2607 : « Granulats-Analyse granulométrique par tamisage» , Norme enregistrée, 1990 .

**[81] Norme Francaise, NF EN 12350-6** « Essais pour béton frais – Partie 6 : masse volimique», avril 2012, (indice de clacement : P18 - 431 – 6) .

**[82] NF P 18-353:** «Adjuvants pour bétons, mortiers et coulis - Mesure de pourcentage d'air occlus dans un béton frais à l'aéromètre à béton», 1985.

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

**[84] Norme Francaise, NF EN EN 196-1** « Méthodes des essais des ciments – partie 2 : analyse chimique des ciments», avril 2006, (indice de clacement : P15 - 471 – 1) .

**[85] NF P 15-404, Normes AFNOR :** « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.

**[86] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge**, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 200.

**[87] B. Belhadj, M. Bederina, N. Montrelay, J. Houessou, M. Quéneudec**, Effect of substitution of wood shavings by barley straws on the physico-mechanical properties of lightweight sand concrete, Construction and Building Materials 66 (2014) 247-258.

**[88] S. Gavela, N. Nikoloutsopoulos, G. Papadakos, D. Passa, A. Sotiropoulou,** Multifactorial experimental analysis of concrete compressive strength as a function of time and water-to-cement ratio, Procedia Structural Integrity 10 (2018) 135-140.

## ***Références bibliographiques***

**[89] V. Corinaldesi, A. Mazzoli, R. Siddique,** Characterization of lightweight mortars containing wood processing by-products waste, Construction and Building Materials 123 (2016) 281-289.

**[90] A. Sotiropoulou, S. Gavela, N. Nikoloutsopoulos, D. Passa, G. Papadakos**, Experimental study of wood shaving addition in mortar and statistical modeling on selected effects, Journal of the Mechanical Behavior of Materials 26(1-2) (2017) 55-63.

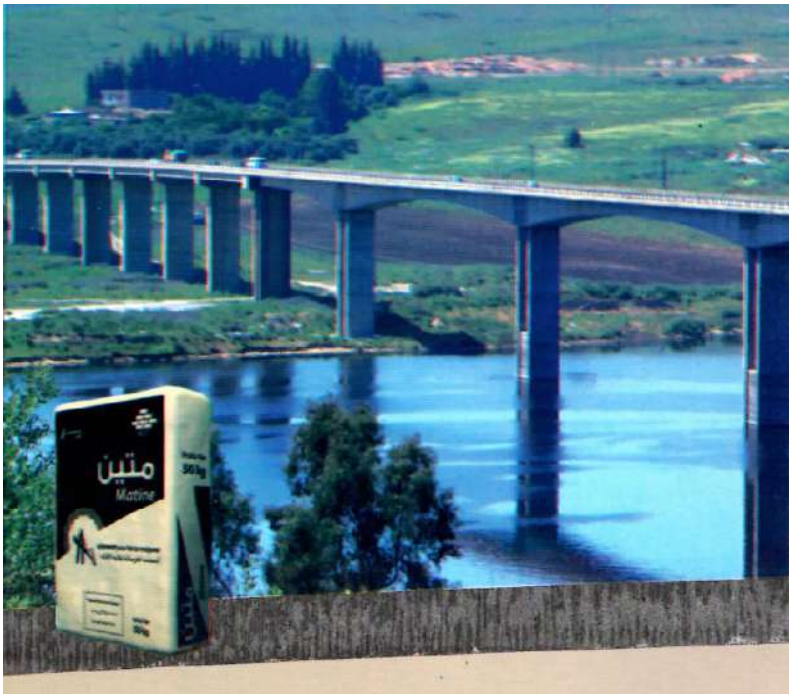
**[91] W. Khelifi, R. Belouettar, S. Zeghina, M. Chenia, A. Daouadji, Z. Azari, S. Belouettar,** Physico-Mechanical Study of an Ordinary Concrete Based On Wood Chips, Journal of Materials and Environmental Science 7 (2015) 4489-4501.

**[92]** M**. Bederina, M. Gotteicha, B. Belhadj, R. Dheily, M. Khenfer, M. Queneudec**, Drying shrinkage studies of wood sand concrete–Effect of different wood treatments, Construction and Building Materials 36 (2012) 1066-1075

# ANNEXES

***ANNEX***

## **Annexe A :** Fiche technique du ciment



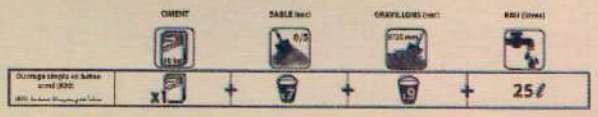

*Ciment*

# MATINE

**Ciment pour béton exigeant**

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression Rc 28> 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments élancés, tunnels, barrages et ponts

Nous pouvons utiliser les proportions moyennes mentionnées ci-dessous dans le cas de l'absence d'une formulation étudiée.




**Remarque :** Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif, les résultats de ces formulations peuvent varier selon la nature des matériaux utilisés et les conditions de mise en œuvre.



***ANNEX***

Construction

Notice technique
Edition juin 2017
Numéro 1.20
Version n°106. 2017
SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

# SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.

*Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.*

| | |
|---|---|
| **Présentation** | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère acrylique. |
| **Domaines d'application** | ■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplaçants transportés sur de longues distances et pompés.<br>■ Dans les bétons autoplaçants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants. |
| **Caractères généraux** | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :<br>■ longue rhéologie (>2h),<br>■ robustesse à la ségrégation,<br>■ qualité de parement.<br>RHÉOLOGIE 5 · RÉSISTANCES INITIALES 3 · RÉDUCTION D'EAU 4 |
| **Agréments, essais de laboratoire** | ■ PV CNERIB : DTEM : 108/2017. |
| **Caractéristiques** | |
| **Aspect** | Liquide brun clair |
| **Conditionnement** | ■ Fûts de 230 kg<br>■ CP de 1000 L<br>■ Vrac |
| **Stockage** | Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C.<br>SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.<br>En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé. |
| **Conservation** | 1 an en emballage intact |
| **Données techniques** | |
| **densité** | 1,06 ± 0,01 |
| **pH** | 6 ± 1 |
| **Teneur en $Na_2O$ Eq.** | ≤ 1 % |
| **Extrait sec** | 30,2 ± 1,3 % |



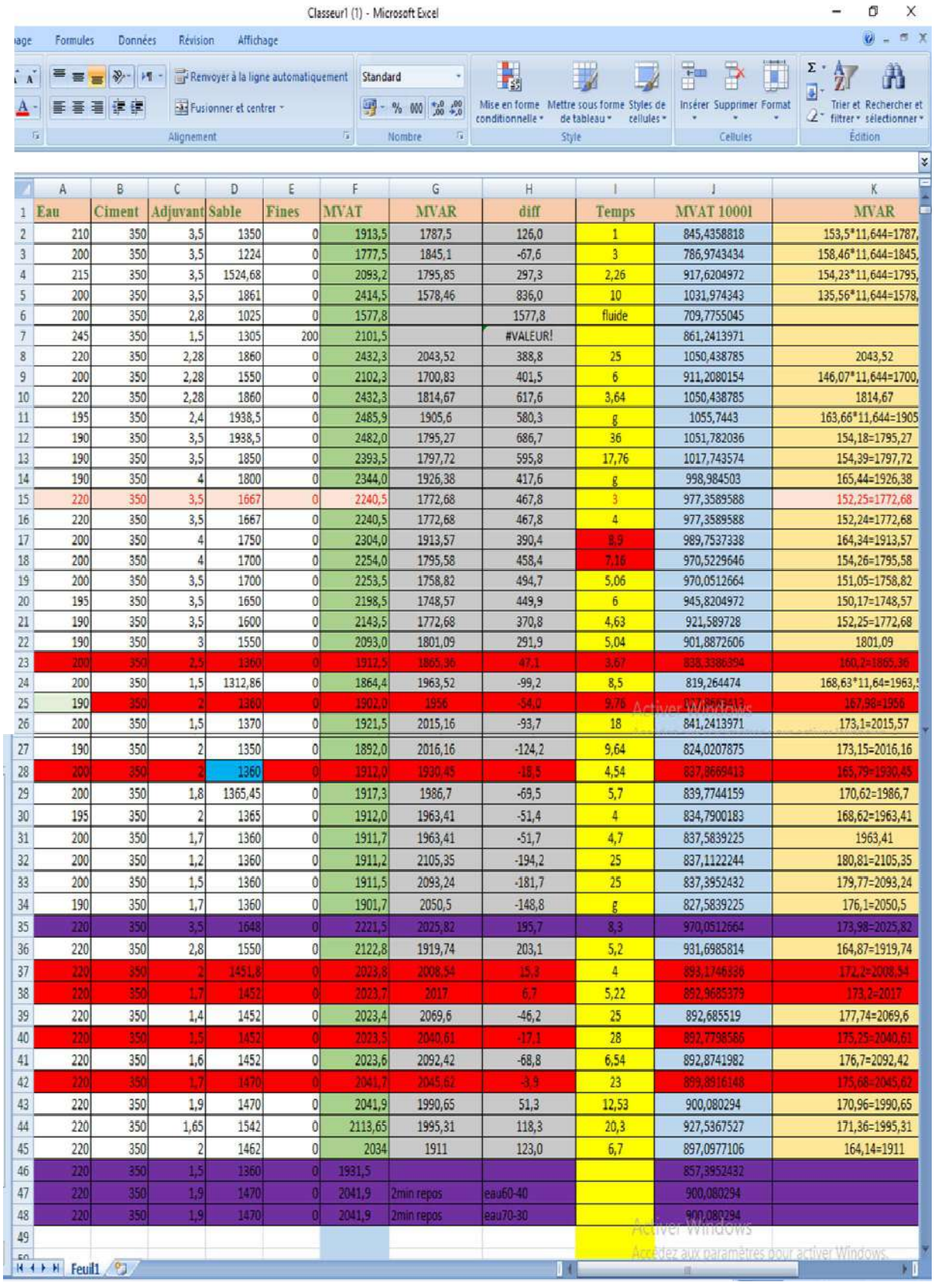
**Annexe B :** Fiche technique du **VISCOCRETE TEMPO12**

***ANNEX***

**Annexe C :** Aspect des BS en fonction des % de CB



# ***ANNEX***




| | A | B | C | D | E | F | G | H | I | J | K |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | Eau | Ciment | Adjuvant | Sable | Fines | MVAT | MVAR | diff | Temps | MVAT 10001 | MVAR |
| 2 | 210 | 350 | 3,5 | 1350 | 0 | 1913,5 | 1787,5 | 126,0 | 1 | 845,4358818 | 153,5*11,644=1787, |
| 3 | 200 | 350 | 3,5 | 1224 | 0 | 1777,5 | 1845,1 | -67,6 | 3 | 786,9743434 | 158,46*11,644=1845, |
| 4 | 215 | 350 | 3,5 | 1524,68 | 0 | 2093,2 | 1795,85 | 297,3 | 2,26 | 917,6204972 | 154,23*11,644=1795, |
| 5 | 200 | 350 | 3,5 | 1861 | 0 | 2414,5 | 1578,46 | 836,0 | 10 | 1031,974343 | 135,56*11,644=1578, |
| 6 | 200 | 350 | 2,8 | 1025 | 0 | 1577,8 | | 1577,8 | fluide | 709,7755045 | |
| 7 | 245 | 350 | 1,5 | 1305 | 200 | 2101,5 | | #VALEUR! | | 861,2413971 | |
| 8 | 220 | 350 | 2,28 | 1860 | 0 | 2432,3 | 2043,52 | 388,8 | 25 | 1050,438785 | 2043,52 |
| 9 | 200 | 350 | 2,28 | 1550 | 0 | 2102,3 | 1700,83 | 401,5 | 6 | 911,2080154 | 146,07*11,644=1700, |
| 10 | 220 | 350 | 2,28 | 1860 | 0 | 2432,3 | 1814,67 | 617,6 | 3,64 | 1050,438785 | 1814,67 |
| 11 | 195 | 350 | 2,4 | 1938,5 | 0 | 2485,9 | 1905,6 | 580,3 | g | 1055,7443 | 163,66*11,644=1905 |
| 12 | 190 | 350 | 3,5 | 1938,5 | 0 | 2482,0 | 1795,27 | 686,7 | 36 | 1051,782036 | 154,18=1795,27 |
| 13 | 190 | 350 | 3,5 | 1850 | 0 | 2393,5 | 1797,72 | 595,8 | 17,76 | 1017,743574 | 154,39=1797,72 |
| 14 | 190 | 350 | 4 | 1800 | 0 | 2344,0 | 1926,38 | 417,6 | g | 998,984503 | 165,44=1926,38 |
| 15 | 220 | 350 | 3,5 | 1667 | 0 | 2240,5 | 1772,68 | 467,8 | 3 | 977,3589588 | 152,25=1772,68 |
| 16 | 220 | 350 | 3,5 | 1667 | 0 | 2240,5 | 1772,68 | 467,8 | 4 | 977,3589588 | 152,24=1772,68 |
| 17 | 200 | 350 | 4 | 1750 | 0 | 2304,0 | 1913,57 | 390,4 | 8,9 | 989,7537338 | 164,34=1913,57 |
| 18 | 200 | 350 | 4 | 1700 | 0 | 2254,0 | 1795,58 | 458,4 | 7,16 | 970,5229646 | 154,26=1795,58 |
| 19 | 200 | 350 | 3,5 | 1700 | 0 | 2253,5 | 1758,82 | 494,7 | 5,06 | 970,0512664 | 151,05=1758,82 |
| 20 | 195 | 350 | 3,5 | 1650 | 0 | 2198,5 | 1748,57 | 449,9 | 6 | 945,8204972 | 150,17=1748,57 |
| 21 | 190 | 350 | 3,5 | 1600 | 0 | 2143,5 | 1772,68 | 370,8 | 4,63 | 921,589728 | 152,25=1772,68 |
| 22 | 190 | 350 | 3 | 1550 | 0 | 2093,0 | 1801,09 | 291,9 | 5,04 | 901,8872606 | 1801,09 |
| 23 | 200 | 350 | 2,5 | 1360 | 0 | 1912,5 | 1865,36 | 47,1 | 3,67 | 838,3386394 | 160,2=1865,36 |
| 24 | 200 | 350 | 1,5 | 1312,86 | 0 | 1864,4 | 1963,52 | -99,2 | 8,5 | 819,264474 | 168,63*11,64=1963, |
| 25 | 190 | 350 | 2 | 1360 | 0 | 1902,0 | 1956 | -54,0 | 9,76 | 827,8678813 | 167,98=1956 |
| 26 | 200 | 350 | 1,5 | 1370 | 0 | 1921,5 | 2015,16 | -93,7 | 18 | 841,2413971 | 173,1=2015,57 |
| 27 | 190 | 350 | 2 | 1350 | 0 | 1892,0 | 2016,16 | -124,2 | 9,64 | 824,0207875 | 173,15=2016,16 |
| 28 | 200 | 350 | 2 | 1360 | 0 | 1912,0 | 1930,45 | -18,5 | 4,54 | 837,8669413 | 165,79=1930,45 |
| 29 | 200 | 350 | 1,8 | 1365,45 | 0 | 1917,3 | 1986,7 | -69,5 | 5,7 | 839,7744159 | 170,62=1986,7 |
| 30 | 195 | 350 | 2 | 1365 | 0 | 1912,0 | 1963,41 | -51,4 | 4 | 834,7900183 | 168,62=1963,41 |
| 31 | 200 | 350 | 1,7 | 1360 | 0 | 1911,7 | 1963,41 | -51,7 | 4,7 | 837,5839225 | 1963,41 |
| 32 | 200 | 350 | 1,2 | 1360 | 0 | 1911,2 | 2105,35 | -194,2 | 25 | 837,1122244 | 180,81=2105,35 |
| 33 | 200 | 350 | 1,5 | 1360 | 0 | 1911,5 | 2093,24 | -181,7 | 25 | 837,3952432 | 179,77=2093,24 |
| 34 | 190 | 350 | 1,7 | 1360 | 0 | 1901,7 | 2050,5 | -148,8 | g | 827,5839225 | 176,1=2050,5 |
| 35 | 220 | 350 | 3,5 | 1648 | 0 | 2221,5 | 2025,82 | 195,7 | 8,3 | 970,0512664 | 173,98=2025,82 |
| 36 | 220 | 350 | 2,8 | 1550 | 0 | 2122,8 | 1919,74 | 203,1 | 5,2 | 931,6985814 | 164,87=1919,74 |
| 37 | 220 | 350 | 2 | 1451,8 | 0 | 2023,8 | 2008,54 | 15,3 | 4 | 893,1746336 | 172,2=2008,54 |
| 38 | 220 | 350 | 1,7 | 1452 | 0 | 2023,7 | 2017 | 6,7 | 5,22 | 892,9685379 | 173,2=2017 |
| 39 | 220 | 350 | 1,4 | 1452 | 0 | 2023,4 | 2069,6 | -46,2 | 25 | 892,685519 | 177,74=2069,6 |
| 40 | 220 | 350 | 1,5 | 1452 | 0 | 2023,5 | 2040,61 | -17,1 | 28 | 892,7798586 | 175,25=2040,61 |
| 41 | 220 | 350 | 1,6 | 1452 | 0 | 2023,6 | 2092,42 | -68,8 | 6,54 | 892,8741982 | 176,7=2092,42 |
| 42 | 220 | 350 | 1,7 | 1470 | 0 | 2041,7 | 2045,62 | -3,9 | 23 | 899,8916148 | 175,68=2045,62 |
| 43 | 220 | 350 | 1,9 | 1470 | 0 | 2041,9 | 1990,65 | 51,3 | 12,53 | 900,080294 | 170,96=1990,65 |
| 44 | 220 | 350 | 1,65 | 1542 | 0 | 2113,65 | 1995,31 | 118,3 | 20,3 | 927,5367527 | 171,36=1995,31 |
| 45 | 220 | 350 | 2 | 1462 | 0 | 2034 | 1911 | 123,0 | 6,7 | 897,0977106 | 164,14=1911 |
| 46 | 220 | 350 | 1,5 | 1360 | 0 | 1931,5 | | | | 857,3952432 | |
| 47 | 220 | 350 | 1,9 | 1470 | 0 | 2041,9 | 2min repos | eau60-40 | | 900,080294 | |
| 48 | 220 | 350 | 1,9 | 1470 | 0 | 2041,9 | 2min repos | eau70-30 | | 900,080294 | |
| 49 | | | | | | | | | | | |

***ANNEX***

**Annexe D :** Fichier d’excelle pour le calcule des BS étudié .