République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique

Université YAHIA FARES de MEDEA



Faculté de Technologie

Département de Génie Civil

Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de

Mastère en Génie Civil

Option : Matériaux en Génie Civil

THÈME

Elaboration d'un éco-matériaux allégé par du polystyrène

✍ **Réalisé par :**

- **M^r^RAHMOUNE.M**

✍ **Encadré par :**

- **Pr. DEBIEB F.**

✍ **Co-encadré par :**

- **M^elle^BENCHAOUF.A**

JUIN 2018

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 M^{elle}. **BENCHAOUF Amina** et **M^{r}OULDKHAOUAYounes** à la fois présents et disponibles,*

Nos sincères remerciements pour sa patience, Sa 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.

RAHMOUNEMOHAMED

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 houria.

Amon très cher père djemmal, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir.

A toutes mes chers frères.

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 frères à dieu:

A mes chères amis

A ma femme

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.

Mohamed

ملخص

هذه الدراسة هي جزء من سمة للأبحاث العامة التي ترتكز أساسا على تطوير واستغلال النفايات الصناعية في الخرسانة .الهدف الرئيسي لهذاالعمل هودراسةآثارالبولسترين الموسع والمعالج (بواسط طلاءاكريليك) عل سلوك وديمومة خرسانة الرمل .تستخدم نسب مختلفة لإضافة البولسترين (0,10,20,30,40,50,60,70,80,90,100%) في الخرسانة الجديدة .يظهرالتحليل التجريبي أن عمليةاعتماد نهج العلاج المستخدم للبولسترين و النتائج الفيسيو-ميكانيكية وديمومة الخرسانة الجديدة هي نتائج مقبولة و تؤدى الى نصح استعمال هذاالنوع من الخرسانة كخرسانة خفيفة الوزن يمكن استعملها في مجال العزل.

Résumé

Cette étude fait partie d'une thématique de recherche générale principalement axée sur la valorisation et l'exploitation des déchets industriels dans le béton. L'objectif principal du présent travail est l'étude des effets du polystyrène expansé traité (par une peinture acrylique) sur le comportement et la durabilité du béton de sable. Différents pourcentages d'ajout en polystyrène (0.10.20.30.40.50.60.70.80.90.100%) sont utilisés dans le nouveau béton. L'analyse expérimentale montre que le procédé de traitement adopté du polystyrène ainsi que les résultats physico-mécaniques et les approches de durabilité utilisés du nouveau béton demeurent acceptables et conduisent à la recommandation de ce type de béton comme béton léger pouvant être prometteur dans le domaine de l'isolation.

Abstract

This study is part of a general research theme mainly focused on the recovery and exploitation of industrial waste in concrete. The main objective of this work is to study the effects of expanded polystyrene treated (with acrylic paint) on the behavior and durability of sand concrete. Different percentages of polystyrene addition (0.10.20.30.40.50.60.70.80.90 . 100%) are used in the new concrete. The experimental analysis shows that the polystyrene treatment process adopted as well as the physico-mechanical results and durability approaches used for the new concrete remain acceptable and lead to the recommendation of this type of concrete as a lightweight concrete that could be promising in the insulation field.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

République Algérienne Démocratique et Populaire 1

DEDICACE 3

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I: 1

I.1 INTRODUCTION 4

I.2 GENERALITE SUR LES BETONS LEGERS 4

I.2.1 Définition du béton léger 4

I.2.2 Classification des bétons légers 5

I.3 Différence entre bétons classiques et bétons légers 7

I.4 Domaine d'utilisation des bétons légers 8

I.5 Les granulats légers 9

I.5.1 Définition 9

I.5.2 Classification des granulats légers 9

I.6 Les bétons à base de granulats de polystyrène 10

I.6.1 Déférence entre un polystyrène traité et non traité 10

I.7 Influence du polystyrène sur les propriétés du béton à l'état frais 12

I.7.1 Consistance et maniabilité 12

I.7.2 Masse volumique du béton frais 13

I.8 Influence du polystyrène sur les propriétés à l'état durci 15

I.8.1 Résistance à la compression 15

I.8.2 Le module d'élasticité 16

I.8.3 La porosité 17

I.9 Influence du polystyrène sur les variations dimensionnelles 18

I.9.1 Le retrait 18

I.9.2 Le Gonflement 19

I.10 Influence de polystyrène sure les propriétés thermique 20

I.11 La conductivité thermique 20

I.11.1 La résistance au feu 22

I.12 Influence de polystyrène sure la durabilité 23

I.12.1 Perméabilité à l'eau 23

I.12.2 Résistance au gel/dégel 24

I.13 Conclusion 25

CHAPITRE II: 26

II.1 INTRODUCTION 27

II.2 Généralités sur les Bétons de sable 27

II.2.1 Définition 27

II.3 Constituants du béton de sable 28

II.3.1 Les sables 28

II.3.2 Les ciments 28

II.3.3 L'eau 28

II.3.4 Les fines d'ajouts 28

II.3.5 La fumée de silice (D) 29

II.3.6 Les cendres volantes 30

II.3.7 Le laitier granulé de haut fourneau (S) 30

II.3.8 Schistes calcinées (T) 31

II.3.9 Les pouzzolanes naturelles (Z) 31

II.3.10 Les fillers calcaires (L) 31

II.3.11 Les adjuvants 36
II.3.12 Les fibres (renfort de structure) 36
II.3.13 Les gravillons 36
II.4 Domaines d'utilisation des bétons de sable 37
II.5 Application du béton de sable 38
II.5.1 Le béton de sable en bâtiment 38
II.5.2 Le béton de sable dans la préfabrication 38
II.6 Comportement mécanique du béton de sable 41
II.7 Durabilité du béton de sable 41
II.8 Variation dimensionnelle du béton de sable 41
II.8.1 Retrait 41
II.8.2 Fluage 42
II.9 Formulations des bétons de sable : 43
II.9.1 Définition : 43
II.9.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable 43
II.10 Méthode expérimentale de formulation 50
II.11 Les différentes étapes de la formulation 51
II.11.1 Détermination d'une formule de base sans fines d'addition 51
II.11.2 Dosage en ciment: 51
II.11.3 Dosage en eau : 51
II.11.4 Détermination du dosage en sable : 51
II.11.5 Réglage de la maniabilité et du rendement de la formule : 52
II.11.6 Détermination du dosage en fines d'addition : 52
II.12 Conclusion 54
CHAPITRE III: 55
III.1 INTRODUCTION : 56

III.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS : 56

III.2.1 Ciment : 56

III.2.2 Sable : 57

III.2.3 Eau de gâchage 58

III.2.4 Super plastifiant 58

III.2.5 Ajouts (fillers) 58

III.2.6 Granulats des billes de polystyrène 58

III.3 Formulation du béton 59

III.3.1 Préparation du mélange (Malaxage) : 61

III.3.2 Confection et conditionnement des éprouvettes : 61

III.4 Les essais effectués sur le béton du sable : 62

III.4.1 Essai à l'état frais : 62

III.4.2 Essai à l'état durcis : 64

III.5 CONCLUSION : 70

CHAPITRE IV: 71

ANALYSES ET INTERPRETATIONS 71

IV.1 INTRODUCTION : 72

IV.2 Béton frais : 72

Figure IV.2 : Ségrégation du BS 73

IV.2.1 Effet de polystyrène sure la densité de BS 73

IV.3 Béton durcis 74

IV.3.1 Effet de polystyrène sure la résistance à la compression et traction de BS 74

IV.3.2 Effet de polystyrène sure absorption d'eau par capillarité de BS 76

IV.3.3 Effet de polystyrène sure le retrait de BS 77

IV.3.4 Effet de polystyrène sure le gonflement de BS 79

IV.3.5 Effet de polystyrène sure la porosité de BS..... 80

IV.3.6 Effet de polystyrène sur la conductivité thermique..... 81

IV.4 Conclusion..... 82

CONCLUSION GENERALE 84

RECOMMANDATIONS 86

REFERENCES 88

LISTE DES FIGURES

Figure I-1:Représentation schématique des différents types de béton légers [2]. 6

Figure I-2: Classification des bétons légers d'après Lafarge Bétons Granulats [17]. 6

Figure I-3: Structures en bétons léger [11] 7

Figure I-4:Masse volumique des échantillons testés [38] 14

Figure I-5: Variation de la masse volumique du BCLP8/15 en fonction du pourcentage de polystyrène [2] 15

Figure I-6:La relation entre la résistance à la compression et la densité à l'air libre des mousses et des mousses de polystyrène. [40]. 15

Figure I-7 :Résistance à la compression des mortiers fabriqués avec différentes dosages d'EPS [24] 16

Figure I-8: Relation entre le module d'élasticité et la force de compression. [42] 17

Figure I-9: Variation de la porosité des BCLP en Fonction du dosage en PSE [2] 17

Figure I-10: Variation de retrait de MCLP, D =1 /2.5 mm en fonction de l'âge de l'éprouvette [43] 18

Figure I-11: Evolution du retrait du BCLP3/8 en fonction de l'âge du béton. [2] 19

Figure I-12: Variation du gonflement de MCLP, D =1 /2.5 mm 19

Figure I-13: Evolution du retrait du BCLP3/8 en fonction de l'âge du béton.[33] 20

Figure I-14: Variation de la conductivité thermique apparente en fonction du dosage des billes de polystyrène P/B [38] 21

Figure I-15: Effet de l'ajout de cendres de boue de papier sur les mortiers légers de polystyrène [36] 22

Figure I-16: Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique [48]. 22

Figure I-17: Résistance à la compression du béton en fonction de la température [49] 23

Figure I-18: Profondeur de la pénétration d'eau dans les différents mélanges de bétons légers [41] 23

Liste des figures

Figure I-19: Résistance à la compression des mortiers fabriqués avec différentes doses de polystyrène (EPS%) [52] 24

Figure II-1: Perméabilité aux ions chlores des bétons à 28 jours [32] 31

Figure II-2:Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire [62] 32

Figure II-3:: Effet des fines calcaires sur l'affaissement [59] 33

Figure II-4:Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS [11] 33

Figure II-5:Evolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [5] 34

Figure II-6: Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire [62] 35

Figure II-7:Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire [62]. 35

Figure II-8: Différence entre béton de sable et béton ordinaire [8] 37

Figure II-9: Moulage d'un élément [60] 38

Figure II-10: Bâtiment à Toitures à plis 38

Figure II-11: Ombrelles d'étanchéité en place [60] 39

Figure II-12: Tunnel du métro de Leningrad [60] 39

Figure II-13: Projection sur surface avec nouveau ferraillage. [60] 39

Figure II-14: Renforcement d'un égout [60] 39

Figure II-15: Réalisation d'une piscine avec béton de sable projeté.[60] 40

Figure II-16: Retrait total [58] 42

Figure II-17: Retrait d'auto-dessiccation [58] 42

Figure II-18: Fluage total. [25] 42

Figure II-19: Fluage d'auto-dessiccation. [58] 42

Figure II-20:Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton 46

Figure II-21:Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice 47

Figure II-22: Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) [51] 50

Liste des figures

Figure II-23: Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition [50] .. 53

Figure II-24: Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition [50]. 54

Figure III-1:Type de ciment utilisé 56

Figure III-2 : Le malaxage du béton sable 61

Figure III-3: Maniabilimètre à béton de sable avec la tige de piquage 62

Figure III-4:Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable 63

Figure III-5:Mesure de la densité du Béton de sable 64

Figure III-6:Dispositif de rupture à la compression 64

Figure III-7:Dispositif pour l'essai de résistance à la traction 65

Figure III-8:Absorption d'eau par succion capillaire 68

Figure IV-1:le temps d'écoulement en fonction de % PSE 73

Figure IV-2: Résistance à la compression en fonction de % EPS 75

Figure IV-3:Résistance à la traction en fonction de % EPS 75

Figure IV-4: Relation entre la résistance à la compression et la densité 76

Figure IV-5: Absorption d'eau par capillarité du BS avec le polystyrène en en fonction du temps 77

Figure IV-6: Evolution du retrait à l'air libre du différents BS avec polystyrène 77

Figure IV-7 : Evolution de la perte de masse à l'air libre des du différents BS avec polystyrène 78

Figure IV-8:Evolution du gonflement à l'eau des BSESP 79

Figure IV-9 : Evolution du gonflement à l'eau des BSESP 80

Figure IV-10: porosité en fonction de % ESP 80

Figure IV-11:Relation entre la porosité l'absorption d'eau par capillarité des BSESP 81

LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Classification fonctionnelle des bétons légers [6]..... 5

Tableau I.2: Classification des bétons légers selon la norme ACI 213R-87 [8]. 6

Tableau I.3:Valeur du temps Vébé en fonction du dosage en granulats [2] 13

Tableau I.4: Masse volumique des échantillons de béton de polystyrène [38]..... 14

Tableau III.1:L'analyse chimique du ciment et composition du clinker..... 57

Tableau III.2 : Propriétés physiques d'identification de sables utilisé..... 57

Tableau III.3:Propriétés physiques d'identification de sables utilisé..... 58

Tableau III.4:Caractéristiques physiques du des granulats polystyrène traité et non expansé 59

Tableau III.5: Composition des différentes BSESP étudié dans un 1 m^3 60

LISTE DES ABREVIATIONS

BS : Béton de sable

BS BHBH: Bétons de sable BAHBAH

BS CON : bétons de sable concassé

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

BSESP : béton de sable à base de polystyréne

BL : béton léger

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

De nos jours, le prix de l'énergie a tendance à augmenter rapidement en Algérie et dans tous les pays du monde en développement. Dans la construction, la consommation d'énergie pourrait être largement diminuée si les toitures et les murs avaient une meilleure isolation thermique, c'est ce qui a mené le secteur de la construction, grand consommateur de granulats naturels, à exprimer le besoin de nouveaux matériaux présentant des propriétés particulières ou améliorées par rapport aux matériaux classiques pour diminuer la facture de consommation d'énergie. Par conséquent, dans tous les pays du monde, il y'a cette tendance à développer de nouvelles techniques simples dont les performances technologiques seront adaptées pour répondre à ces nécessités ainsi qu'aux besoins de la construction et de faire apparaître l'intérêt économique.

Dans ce contexte ce travail vise à étudier le comportement physico-mécanique et la durabilité d'un béton de sable à base de biles de polystyrène expansé. Il est à noter que, le béton de sable à base de billes de polystyrène expansé a déjà montré dans la littérature une légèreté intéressante ; cependant, la faible densité du polystyrène fait qu'au moment du malaxage du béton remonte à la surface et le béton devient non homogène. Afin de résoudre ce problème, plusieurs études ont été réalisées en utilisant différents traitements des billes de polystyrène. Dans cette étude, deux types de traitements on était utilisés : traitement avec un coulis de ciment et traitement avec une peinture lavable de couleur blanche (acrylique : à base de pigment et résine synthétiques). Vu la mauvaise adhérence du coulis au billes du polystyrène surtout au moment du malaxage du béton, le premier traitement n'a pas donné de résultats et par suite le second traitement a était adopté pour tout le travail expérimentale.

Afin d'atteindre les objectifs tracés, ce le mémoire de ce modeste travail est subdivisé en quatre grands chapitres étroitement liés. Après une introduction générale, le premier chapitre expose une revue sur la documentation relative aux bétons légers en général et le béton de polystyrène en particulier. Juste après vient le deuxième chapitre qui est consacré à des généralités sur le béton de sable qui constitue la matrice de notre composite, à savoir sa formulation, ses caractéristiques physiques et sa durabilité. Des généralités les ajouts minéraux et leurs rôles dans le béton de sable sont aussi exposé. Le chapitre III quant a lui, il regroupe l'ensemble des caractéristiques des matériaux utilisés, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués pour la réalisation de partie

expérimentale. L'analyse et discussion des résultats des différents essais réalisés fait l'objet du dernier chapitre IV. Finalement, la conclusion résume les résultats obtenus dans ce travail de recherche et dans le but de continuer l'investigation dans ce domine, des perspectives de recherche pour le futur sont données.

CHAPITRE I:

Bétons légers et béton de granulats de polystyrène

I.1 INTRODUCTION

L'intérêt d'obtenir un béton de faible masse volumique et au pouvoir isolant thermique tout en réduisant la consommation abusive des granulats naturels non renouvelables et la nécessité d'éliminer les déchets industriels en quantités croissantes, constituent un des objectifs vis-à-vis des exigences soulevées par la prise en compte du développement durable dans le domaine de construction. La solution passe par l'utilisation des matériaux recyclés tel le polystyrène et des déchets de calcaire qui sont en quantités assez grandes, posent un problème pour l'environnement et représentent une matière inutilisable. Ce chapitre est une synthèse bibliographique à travers diverses documentations concernant les bétons légers et plus particulièrement les bétons de polystyrène,. Ainsi un état de connaissance sur l'influence de polystyrène sure le comportement physiquo-mécanique et sure la durabilité du béton spécialement aux transferts thermiques dans les matériaux poreux.

I.2 GENERALITE SUR LES BETONS LEGERS

Le béton est le matériau de construction le plus largement utilisé. Le béton de poids normal (NWC) est généralement utilisé pour la construction la construction malgré son poids relativement élevé et limitée performance thermique avec une conductivité thermique comprise entre 1,4 et 3,6 W / m.K**[1]** .Une réduction du poids unitaire du béton et pourtant, fournir une force suffisante va créer un important économique impact positif sur l'industrie de la construction. Le béton léger (LWC) offre un avantage considérable en termes de son poids unitaire.

I.2.1 Définition du béton léger

Les Bétons Légers sont des bétons constitués de granulats de faible densité (billes de polystyrène, argile, schiste, particules de bois…etc.) ou éventuellement de mousse cellulaire. Ils ont des utilisations très importantes dans le demain de la construction, en raison de leur faible masse volumique et leurs caractéristiques d'isolation thermiques et phoniques, ce qui nous permet d'économiser la consommation d'énergie **[2]**. La commission des bétons légers RILEM **[3]** propose de définir les bétons légers comme étant des bétons dont La masse volumique apparente sèche est inférieure à 1800 Kg/m3. D'autres auteurs adoptent des définitions un peu différentes : l'American Concrete Institute **[4]** limite

la masse volumique apparente des bétons légers à 1800 Kg/m3 après séchage à l'air pendant 28 jours **[5]**

I.2.2 Classification des bétons légers

Les systèmes de classification se divisent en deux groupes (Tableau I.1) : le premier est fondé sur la nature des vides dans le béton et le second sur les masses volumiques apparentes des bétons et les utilisations s'y rapportant (Figure I.1).

Tableau I.1: Classification fonctionnelle des bétons légers [6].

Classe	I	II	III
Type de béton léger	Béton léger de Construction	Béton léger de construction et d'isolation	Béton léger d'isolation
Masse volumique (kg/m3)	< 1800	Non précisée	Non précisée
Résistance à la compression (MPa)	> 15	> 3.5	> 0.5
Conductivité thermique (W.m-1.K-1)	__	< 0.75	< 0.30

Une autre classification des bétons légers est celle de la norme ACI 21 213R-87**[8]**. Celle-ci classifie les bétons légers en fonction de la masse volumique en trois catégories (Tableau I.2):

Il existe trois endroits possibles pour incorporer de l'air dans le béton **[11]**

1. la matrice : le béton, dans ce cas, est appelé **« *béton cellulaire* »**. Les bulles d'air sont créées, lors du malaxage, soit par réaction chimique, soit par action physique.
2. entre les gros granulats : le béton, dans ce cas, est appelé « ***béton caverneux*** » **(**ou sans fines, c.-à-d. sans sable).
3. dans les granulats : le béton, dans ce cas, est appelé «béton de granulats légers».

Tableau I.2: Classification des bétons légers selon la norme ACI 213R-87 [8].

Classe du béton	Masse volumique (kg/m3)	Résistance à la compression (MPa)
Béton de granulats légers de Structure	1350 à 1900	≥ 17
Le béton de résistance Moyenne	800 à 1350	7 à 17
Le béton léger de faible masse volumique	300 à 800	-

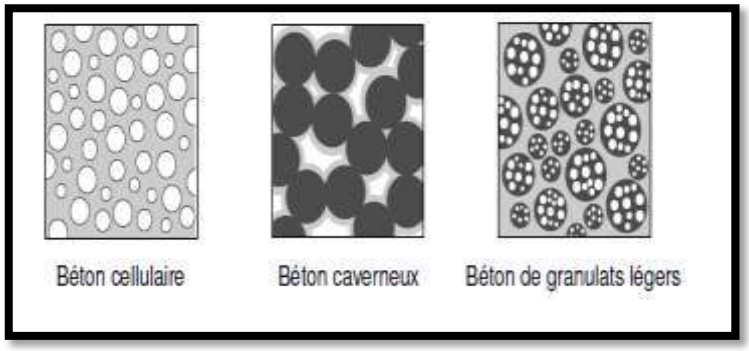


Figure I-1: Représentation schématique des différents types de béton légers [2].

De nouveaux types de granulats légers sont actuellement utilisés (Figure I.2) : le verre expansé (meilleure résistance et faible absorption d'eau) [12], le polystyrène (possibilité de mise en œuvre par pompage) **[13, 14]** et les granulats de bois [15, 16].

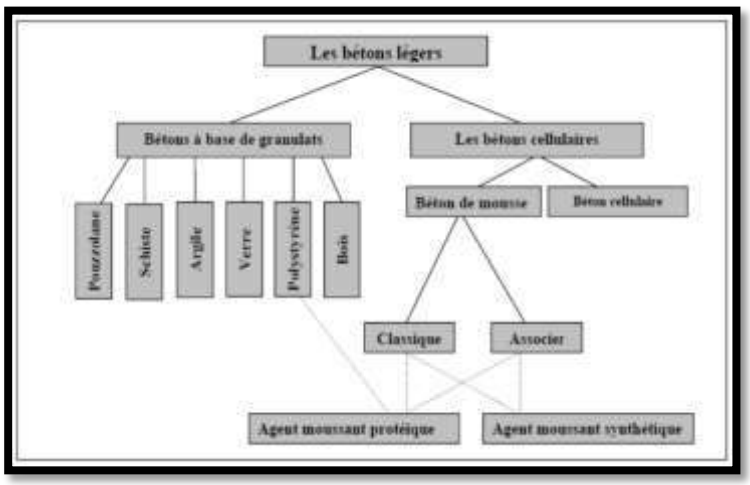


Figure I-2: Classification des bétons légers d'après Lafarge Bétons Granulats [17].

Quelques exemples de structures au bétons légers appartenant aux différentes catégories des bétons légers sont présentés sur la figure I.3 suivante :

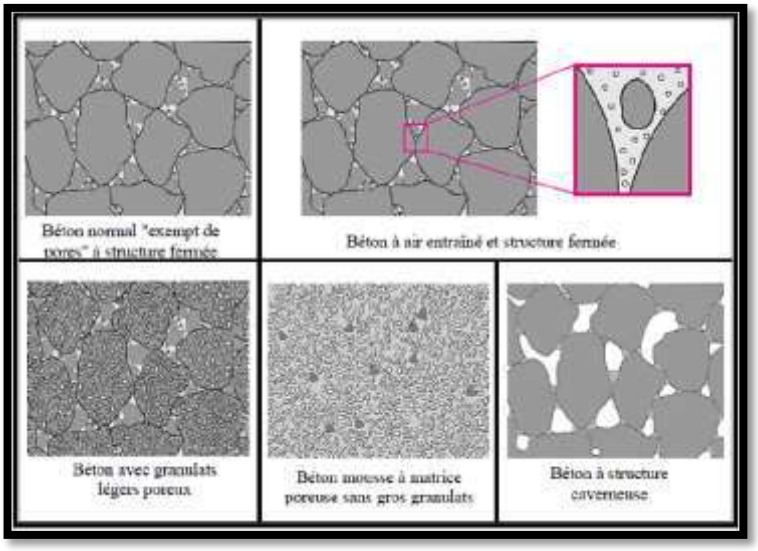


Figure I-3: Structures granulaires [11]

I.3 Différence entre bétons classiques et bétons légers

Malgré leurs bonnes qualités, les bétons classiques ont toujours présenté des inconvénients à savoir :

1. Le poids propre des éléments de béton très élevés qui peuvent présenter un grand Pourcentage de charge de structure.
2. Exigence d'un sol de forte capacité de portance.
3. Mise en œuvre assez délicate (coffrage et coulage).

Caractéristiques thermiques et phoniques médiocres **[18, 19].**

En revanche l'utilisation d'un béton de faible masse volumique peut être bénéfique en terme :

1. D'éléments porteurs de faible section
2. Mise en œuvre facile et par conséquent une productivité élevée.
3. Permet de construire sur des sols de faible capacité de portance.
4. Procure une meilleure isolation thermique et phonique **[20].**

La faible masse volumique des bétons légers provient de leur porosité élevée. Cette Porosité peut être localisé dans trois endroits :

1. Au sein des granulats : c'est le cas **des bétons de granulats légers**.
2. Dans la pâte du ciment : c'est le cas **des bétons cellulaires.**
3. Entre les gros granulats par suppression des granulats fins : c'est le cas **des bétons Caverneux.**

I.4 Domaine d'utilisation des bétons légers

Selon leur résistance, les bétons légers sont utilisés comme **[2]**:

1. **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.
2. **Isolant porteur :** c'est le cas des bétons à la pierre ponce, béton à l'argile expansé…etc.
3. **Isolants :** leurs résistance est faible, dans cette catégorie on peut citer

- Les bétons de Bois ;
- Les bétons de polymère ;
- Les bétons à la perlite ;
- Les bétons à là vermiculite ;
- Les bétons cellulaires.

4. **Dans la construction** on les utilise comme :

- Bloc de maçonnerie
- Panneau préfabriqué
- Mur anti-bruit
- Bardage.
- Ouvrage extérieur.
- Elément de cave.
- Entrevous et hourdis.

I.5 Les granulats légers

I.5.1 Définition

Selon la norme française NF EN 13055-1**[21]**, ce sont des granulats légers ayant une masse volumique réelle n'excédant pas 2 000 kg/m^3 ou une masse volumique en vrac n'excédant pas 1 200 kg/m^3 parmi lesquels se trouvent : a) des granulats naturels ; b) des granulats fabriqués à partir de matériaux naturels et/ou de sous-produits de procédés industriels ; c) les sous-produits de procédés industriels ; d) les granulats recyclés. Elle comprend l'évaluation de la conformité des produits à la présente norme européenne. Les exigences spécifiées dans cette norme peuvent ne pas être adaptées à tous les types de granulats légers. Pour des applications particulières les exigences et tolérances peuvent être adaptées à l'emploi.

I.5.2 Classification des granulats légers

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

Polymères solides de synthèse, soit des matériaux d'origine végétale, on peut ranger dans cette catégorie les granulats de polystyrène expansé qui sont assez répondus les granulats de

Bois (copeaux ou sciure). Les deux derniers types de granulats ont fait l'objet de plusieurs études puisque leur utilisation rentre dans le cadre de la valorisation des déchets qui est une politique suivie dans presque tous les pays visant le coté économique de ces types de granulat, ainsi que l'aspect environnemental.

En effet plusieurs travaux ont été réalisés où la matrice est composée essentiellement de déchets industriels ou de matières locales **[6, 22-31].** L'allégement de la matrice a été réalisé par différents procédés à savoir, l'utilisation de granulats légers, notamment, les granulats de bois et de caoutchouc, ou la création d'une structure cellulaire, soit par réaction chimique, ou par entraînement d'air. Tous ces travaux ont montré l'intérêt de l'allégement des matériaux élaborés dans l'amélioration des performances thermiques, tout en conservant une résistance mécanique suffisante.

I.6 Les bétons à base de granulats de polystyrène

Les granulats polystyrène sont des agrégats artificiels. Associés à des liants hydrauliques et le plus souvent à du sable, ils sont employés pour la confection de chapes légères sur supports continus porteurs, pour la réalisation de parois et de produits manufacturés et comme remblai. C'est est un agrégat léger qui s'emploie comme un agrégat traditionnel. Il est constitué par un polymère rigoureusement sélectionné expansé sous des contraintes spécifiques de température, de vitesse, et de pression, permettant ainsi aux alvéoles périphériques de s'opposer à la pénétration de l'eau. Il est calibré, traité en surface pour éviter toute ségrégation lors de la confection du béton. Incorporé au béton, donne un composite appelé Polys-Béton. Les granulats de polystyrène assurent un allégement durable du poly-béton, diminue ses délais de prise, ouvre un large éventail de choix de densités et participe à l'isolation thermique de ce type de béton selon la densité **[32]**.

I.6.1 Déférence entre un polystyrène traité et non traité

Les polystyrènes sont des alvéoles plastiques de la famille de polymères, de styrène. Il y a des douzaines de types et de qualités différentes. Le polystyrène choisi pour la production du Polys béton est spécifique par sa densité, par son coefficient d'expansion et

son diamètre GUEZOULI **[32]** a constaté qu'on pouvait réduire le phénomène "du retour à la surface par flottement du polystyrène", en employant des équipements spécifiques et si le béton est très épais (avec une petite quantité d'eau). Et aussi en employant du polystyrène perméable, car les alvéoles du polystyrène normal seront remplis d'eau pour réduire la différence de densité dans le mélange "eau/ciment/polystyrène".

I.6.1.1 Le polystyrène normal non traité

Plusieurs recherches [33, 34] ont été effectuées sur des essais d'incorporation du polystyrène normal dans le béton. Nous pouvons constater que : Si nous mélangeons le polystyrène non traité normal avec le ciment et l'eau :

1. Le polystyrène revient à la surface du béton et flottera.
2. Le ciment tombe au fond à cause de la différence de densité entre le polystyrène expansé et le ciment.

I.6.1.2 Le polystyrène traité thermiquement (Poly-Béton)

Le Poly-Béton est un polymère rigoureusement sélectionné et expansé sous des contraintes spécifiques de température (traitement thermique), de vitesse, et de pression, permettant ainsi aux alvéoles périphériques de s'opposer à la pénétration de l'eau**.**Yamura et Yamauchi**[54]** ont montré que des billes de polystyrène immergées dans l'eau pendant un mois n'ont pas absorbé d'eau et étaient donc hydrophobes. D'autre types de traitement ont été effectués par de nombreux chercheurs telle traitement thermique chimique en utilisant un solvant naturel le 'limonène', à l'aide d'un coulis de ciment et avec le Sang, mais il n'y a pas de détails sur le mode de traitement. La plus utilisée est celle du traitement thermique **[55]**.

a. Avantages de Polys béton

1. Utilisable avec tous les types de ciment, et avec tous les types de granulats naturels ;
2. Mixer avec des équipements traditionnels ;
3. Le béton est homogène et est réalisé avec les mêmes règles qu'avec le béton traditionnel ;
4. Le béton transporté par camion est facile à pomper ;

5. Peu de perles de Polys béto seront séparées par des micros bulle aériennes ;
6. Aucun alvéole ne sera rempli d'eau pour réduire la différence de densité entre le mélange "l'eau / ciment" et le polystyrène " d'où une résistance au feu MO et à la fumée FO ; au contact du feu les perles produiront moins de fumée que les perles normales non traitées ;
7. Moins d'eau contenue dans le béton ;
8. Polys béto peut alléger tout type de béton de 3 à 80 % selon son taux d'incorporation
9. Résistance à la compression plus élevée ;
10. les Polys béto est économique parce que les petites quantités de Polys beto sont suffisantes pour alléger le béton : les alvéoles du Polys beto ne seront rempli ni d'eau ni de ciment ;
11. Aucun microbe ni germes n'est détecté, ainsi qu'aucune odeur ;
12. Durée courte de séchage pour le béton - Aucune corrosion des renforts d'acier - Retrait très faible.

I.7 Influence du polystyrène sur les propriétés du béton à l'état frais

I.7.1 Consistance et maniabilité

Il est bien connu que l'ouvrabilité du béton frais et la liaison entre les agrégats et la phase de mortier sont influencés significativement par des propriétés physiques telles que la forme, la rugosité et texture des agrégats. La rugosité de l'agrégat reflète l'aspect de surface ; vitreux, lisse, granuleux, rugueux, cristallin, poreux. Ce qui influe sur le développement de bonnes liaisons par l'absorption de la pâte dans les pores.

Perry et al. **[33]** ont constaté que la préparation du mélange est particulièrement importante en utilisant des agrégats très légers. Car des matériaux comme le polystyrène expansé avaient tendance à flotter vers la surface pendant le compactage, ce qui augmentait le risque de mauvaise distribution et la ségrégation. Basé sur l'étude de [35], les conditions de mélange contrôlées ont été obtenues en mélangeant le sable sec et le ciment avant d'ajouter l'eau puis, si nécessaire, ajouter le superplastifiant. Après un mélange suffisant et l'addition de chaque matériau, les billes de polystyrène ont été ajoutées et bien mélangé dans le mortier. Un récipient horizontale mélangeur d'une capacité de 0,6m3 a été utilisé

pour mélanger le béton en lots de 0,075 m '. Autre mélange des procédures ont également été utilisées, et même de la sciure de bois, un matériau organique, a été ajouté pour améliorer la cohérence et l'uniformité du mélange et la figure 2 montre les conditions uniformes obtenues pour trois mélanges.

L'étude que Ferrandiz-Mas **[36]** a menée consistait à faire une comparaison entre un béton léger de polystyrène et un béton léger de boue de papier. Il a conclu que lorsque les mortiers contenaient des EPS mais pas de PSA, la réduction de la maniabilité a été réduite (1,5% pour EPS broyé et 5% pour l'EPS en poudre) par rapport au mortier témoin C (0% EPS, 0% PSA). Vue que les bétons de polystyrène ont des maniabilités très faibles, et que les essais au cône d'Abrams ont donné des affaissements presque nulles Zireg**[2]** a utilisé le consistometreVébé pour l'estimation de la maniabilité des bétons ; les résultats obtenus sont résumés dans le tableau I.3.

Tableau I.3: Valeur du temps Vébé en fonction du dosage en granulats [2]

Série d'échantillons	Série0	Série1	Série2	Série3	Série4	Série5	Série6
Béton de polystyrène	3s	10s	15s	22s	27s	30s	40s

On remarque une faible maniabilité selon les valeurs obtenues du temps de l'essai de consistance Vébé, qui sont toutes supérieurs à 10s en raison la forme des grains et le dosage élevé en granulats.

Pour minimiser la ségrégation, la vibration a été évitée et tous les échantillons d'essai ont été compactés manuellement. Cependant, l'ouvrabilité a été considérée à peine satisfaisante pour ce type de béton. Les mélanges étaient habituellement assez rigide, ou caoutchouteux, et s'est avéré difficile à travailler malgré l'ajout dans certains cas de plastifiant pour améliorer la maniabilité **[33, 34, 37]**

I.7.2 Masse volumique du béton frais

L'influence de l'incorporation des granulats de liège et de billes de polystyrène sur la masse volumique du béton a été étudiée. Les résultats obtenus sont regroupés dans le Tableau I.4, et représentés par les courbes de la Figure I.4 et la Figure I.5 respectivement :

Tableau I.4: Masse volumique des échantillons de béton de polystyrène [38]

Désignation	B	BP1	BP2	BP3	BP4
ρ (Kg/m^3)	2168	1837	1607	1250	1097
$\rho/\ \rho_B$	100	84.73	74.12	57.66	50.60

On voit d'après ces résultats que la masse volumique du béton allégé décroît avec l'augmentation du pourcentage de polystyrène.

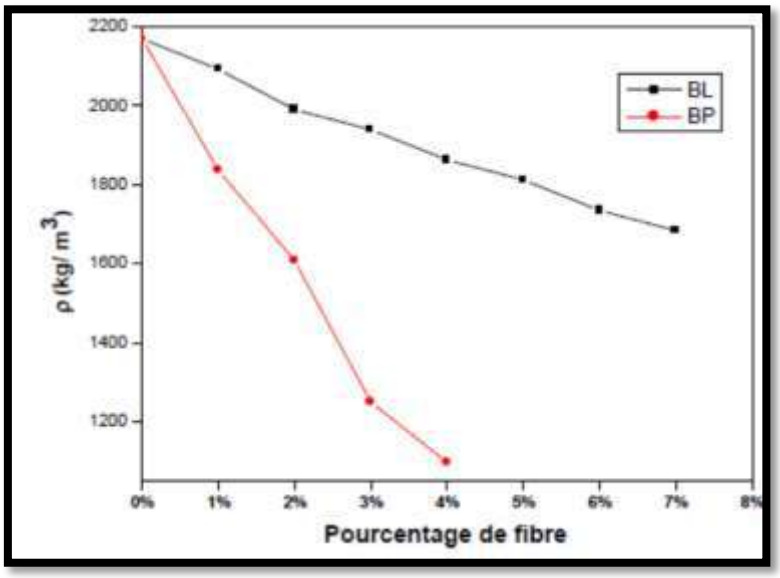


Figure I-4: Masse volumique des échantillons testés [38]

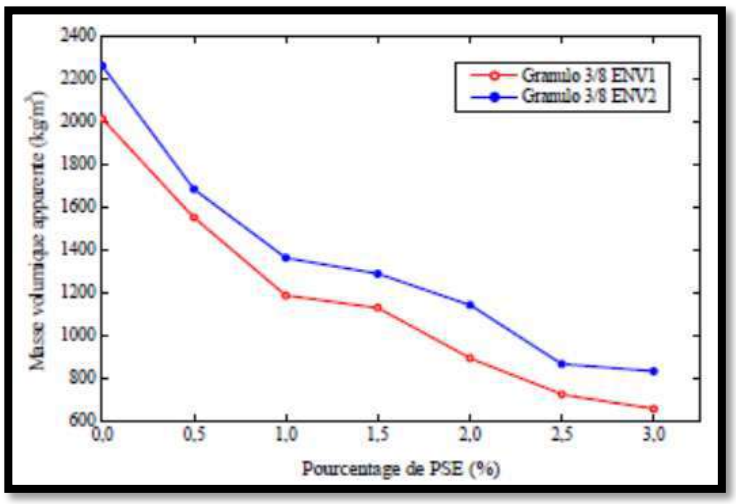


Figure I-5: Variation de la masse volumique du BCLP8/15 en fonction du pourcentage de polystyrène [2]

I.8 Influence du polystyrène sur les propriétés à l'état durci

I.8.1 Résistance à la compression

Il est bien connu que presque tous les bétons légers présentent des résistances à la compression inférieurs à celles des bétons ordinaires ; cependant quelques types de bétons légers, évidemment par ajout de produits peuvent atteindre des résistances similaires à celles du béton classique, c'est le cas des bétons légers de haute performance BLHP **[39].** Dans ce contexte, plusieurs chercheurs s'y sont approfondis et les figures suivantes montrent les résultats obtenus.Dans ce contexte, plusieurs chercheurs s'y sont approfondis et les figures I.6 et I.7 montrent les résultats obtenus. On remarque d'après ces figures que le développement de la résistance à la compression des bétons et mortiers diminue avec l'augmentation de pourcentage de par apport aux bétons témoin. Résultat que les résultats de l'étude Sayadi**[40]**.

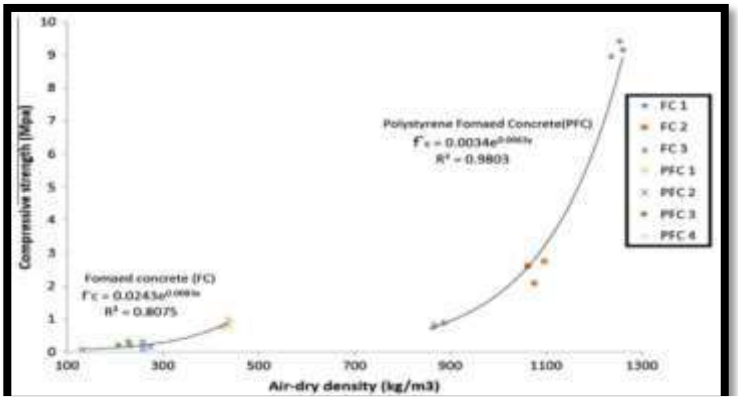


Figure I-6: La relation entre la résistance à la compression et la densité à l'air libre des mousses et des mousses de polystyrène. [40].

On observe que la résistance du béton cellulaire a été réduite après l' augmentation du volume EPS. Sayadi**[40]** a déduit que cela était en raison de la force presque nulle et de la faible force de liaison inter faciale à la zone de contact de la matrice en raison de la nature hydrophobe de l'agrégat EPS. Donc, la résistance des bétons MEPS a été jugée directement proportionnelle à la densité du béton **[37**].

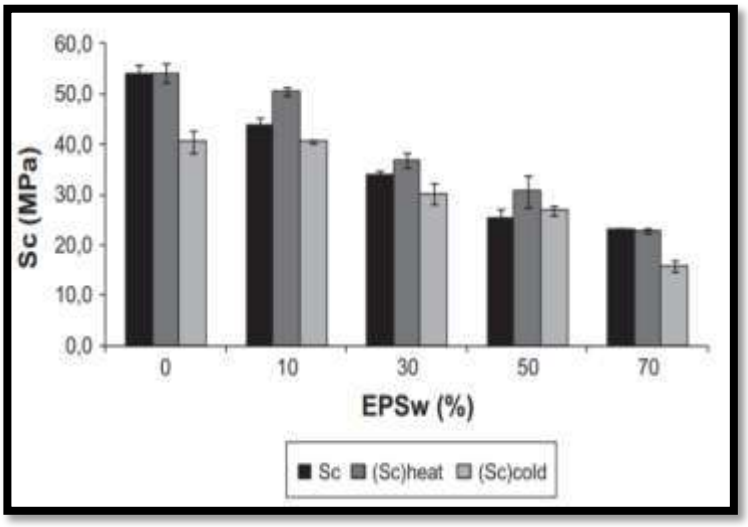


Figure I-7 : Résistance à la compression des mortiers fabriqués avec différentes dosages d'EPS [24]

I.8.2 Le module d'élasticité

La relation entre le module d'élasticité et la résistance à la compression des cylindres des bétons EPS est montrée à la figure I.8. On peut observer que le module d'élasticité augmente avec une augmentation de la résistance du cylindre. On a constaté que la valeur du module sécant diminuait et que cette diminution était d'environ 40% pour chaque augmentation de 10% du volume de polystyrène.

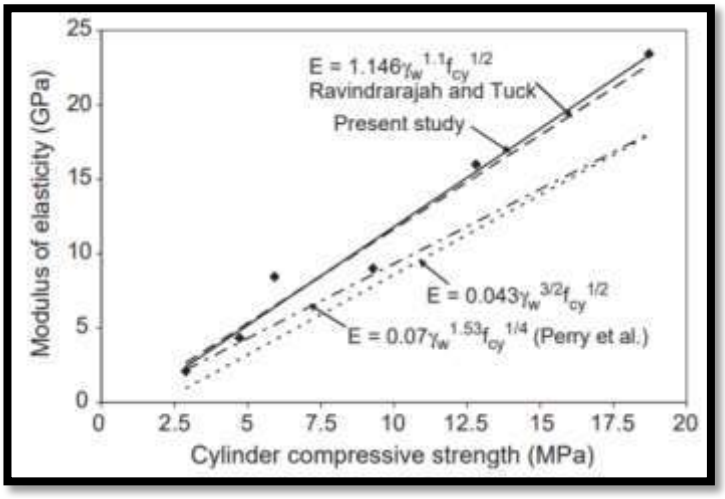


Figure I-8: Relation entre le module d'élasticité et la force de compression. [42]

I.8.3 La porosité

La porosité est une caractéristique très importante, elle influe sur les caractéristiques physico mécaniques des bétons, comme la masse volumique; la résistance à la compression; le module d'élasticité; la conductivité thermique,….etc. Plus la porosité est faible, plus le béton est dense et plus sa résistance est grande par contre son pouvoir isolant est médiocre. La porosité du béton provient de celle de la matrice et celle des granulats. Elle est exprimée en pourcentage et représente la fraction du volume des vides dans le matériau par rapport au volume total .La figure I.9 représente les résultats obtenus par Zireg **[2]** sur la variation de la porosité en fonction du dosage en granulats de polystyrène.

Le résultat montre l'augmentation de la porosité en fonction du dosage en granulats. Elle est due à la grande porosité des granulats de polystyrène.

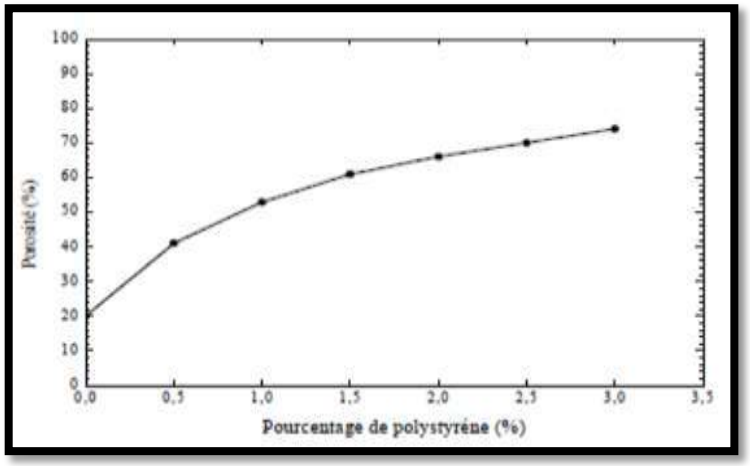


Figure I-9: Variation de la porosité des BCLP en Fonction du dosage en PSE [2]

I.9 Influence du polystyrène sur les variations dimensionnelles

I.9.1 Le retrait

De nombreuses études ont traité la variation dimensionnelle des bétons légers de polystyrène D'apprêt les figures figure I.10 et I.11. On constate que le retrait évolue rapidement pendant les premiers jours, mais, au-delà du dixième jour, il commence à évoluer lentement avec une tendance à la stabilisation après le 14ème jour.

Maslehuddin et al. Ainsi que Kouidri **[41,43]** Ont remarqué que quel que soit le pourcentage du polystyrène, le retrait du béton avec polystyrène est supérieur à celui du béton témoin.

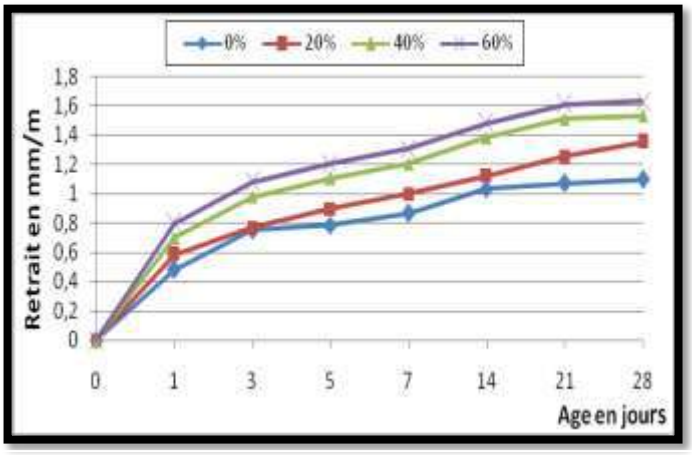


Figure I-10: Variation de retrait de MCLP, D =1 /2.5 mm en fonction de l'âge de l'éprouvette [43]

Cependant, Zireg**[2]** a constaté que le retrait du béton de polystyrène augmente au fur et à mesure que le dosage en polystyrène augmente jusqu'à 2% de PSE figureIII.17 **[2].** Il a conclu que cela était du fait de la diminution excessive de la proportion de matrice, celle-ci se trouvant limitée dans son mouvement de retrait.

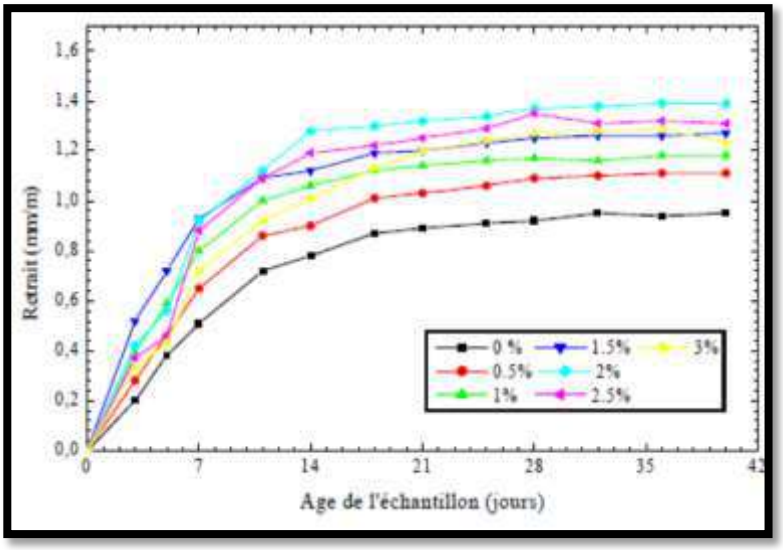


Figure I-11: Evolution du retrait du BCLP3/8 en fonction de l'âge du béton. [2]

I.9.2 Le Gonflement

Comme le retrait, le gonflement est une variation dimensionnelle qui se produit dans les bétons habituellement lorsqu'ils sont en contact avec l'eau. Les figures I.12 et I.13 montrent que le gonflement du béton de polystyrène augmente au cours du temps. Les valeurs du gonflement du béton de polystyrène sont presque proches de celles du béton témoin. D'autre part la granulométrie n'a pas un effet significatif sur le gonflement **[2]**.

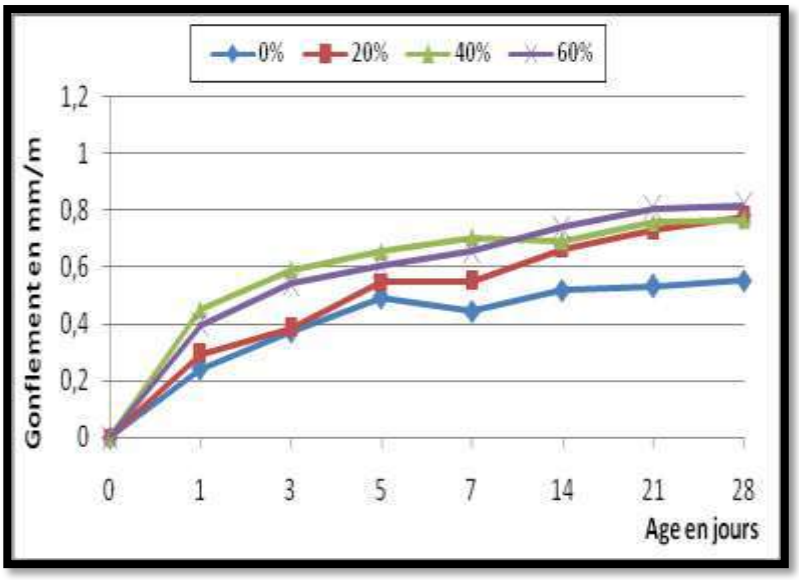


Figure I-12: Variation du gonflement de MCLP, D =1 /2.5 mm

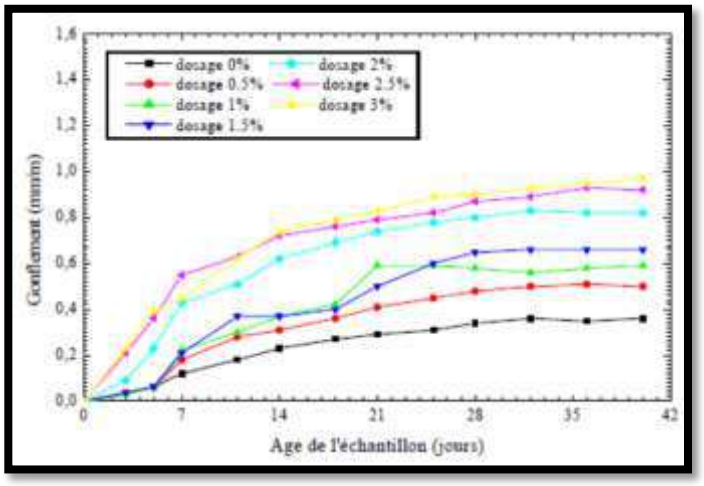


Figure I-13: Evolution du retrait du BCLP3/8 en fonction de l'âge du béton.[33]

I.10 Influence de polystyrène sure les propriétés thermique

L'utilisation des bétons légers en construction signifie par-delà une amélioration des performances thermiques, une manutention plus aisée, un gain de temps et de matériel et donc un positionnement plus intéressant par rapport à la compétitivité économique

I.11 La conductivité thermique

Parmi les caractéristiques les plus importantes des bétons légers est leur pouvoir isolant. Cette propriété est contrôlée par des paramètres thermo physiques qui sont : la conductivité thermique λ ($W.m^{-1}.K^{-1}$), la chaleur spécifique c ($J.kg^{-1}.K^{-1}$), la diffusivité thermique a (m^2/s)et l'effusivité thermique b ($J.m^{-2}.s^{-1/2}.K^{-1}$) **[44, 45].**

De nombreuses études antérieurs ont traité le pouvoir d'isolation des bétons légers spécialement ceux de polystyrène. Cependant, les recherches **[46, 47]** montrent que la densité avait un effet direct sur la conductivité thermique (Tableaux I.5).En effet, il est bien connu que la porosité augmente l'isolation thermique. Par conséquent, l'augmentation du dosage en polystyrène aura un effet favorable comme le montre la Figure I.14 **[38].**

Tableaux I.5 :la conductivité thermique du béton cellulaire de polystyrène

Conductivité thermique du béton cellulaire de polystyrène			
Béton	Conductivité Thermique (W/mK)	Densité (kg/m3)	Pourcentage De polystyrène EPS(Vol%)
PFC-150	0.0848	150	82
PFC-200	0.0864	200	73
PFC-250	0.0927	250	67
PFC-400	0.1566	400	45

Ferrandiz-Mas **[36]** a étudié la conductivité thermique des mortiers légers à base de polystyrène et de boue de cendres de papier comme le montre la figure I.15 **[36]**. On déduit donc que le pouvoir isolant est déterminé par la nature du matériau et celle du granulat et la figure I.16 **[2]**montre l'évolution de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique du béton léger et on voit bien que la valeur de λ augmente avec la masse volumique.

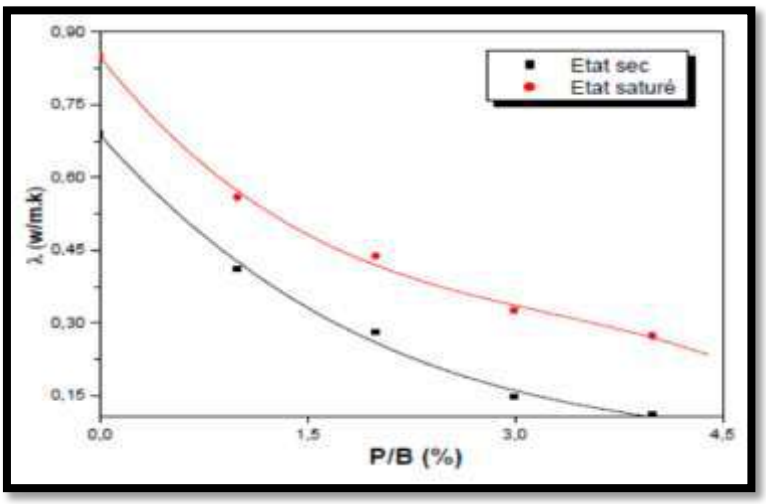


Figure I-14: Variation de la conductivité thermique apparente en fonction du dosage des billes de polystyrène P/B [38]

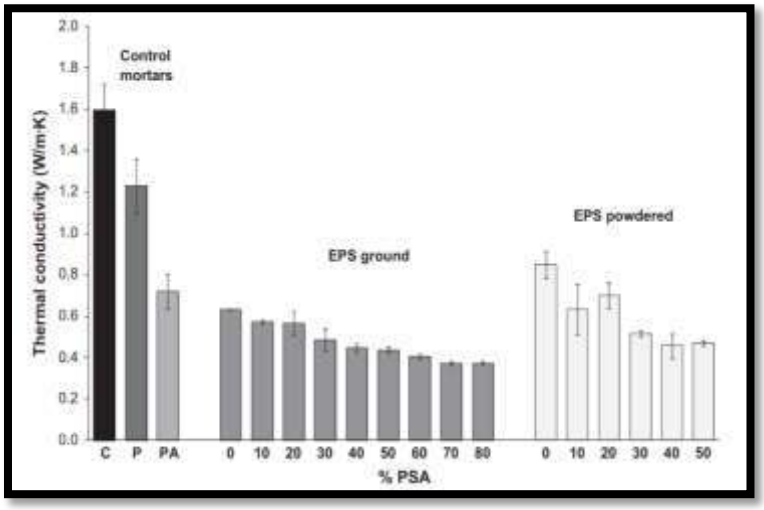


Figure I-15: Effet de l'ajout de cendres de boue de papier sur les mortiers légers de polystyrène [36]

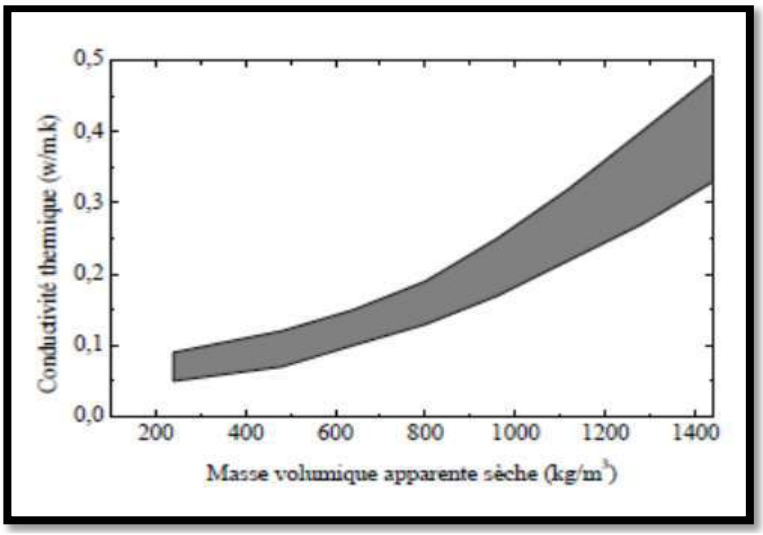


Figure I-16: Variation de la conductivité thermique en fonction de la masse volumique [48].

I.11.1 La résistance au feu

Il est bien connu que le feu engendre des effets négatifs sur les bétons et plus précisément sur leurs caractéristiques mécaniques. Cependant, plusieurs études sur des bétons légers ont mis en évidence une sensibilité au feu relativement faible des bétons légers par rapport aux bétons traditionnels. La figue I.17 montre que le béton léger présente une perte de la résistance à la compression beaucoup plus faible que celle des bétons classiques et des bétons calcaires, après l'exposition à des températures comprises entre 100°C et 800 °C.

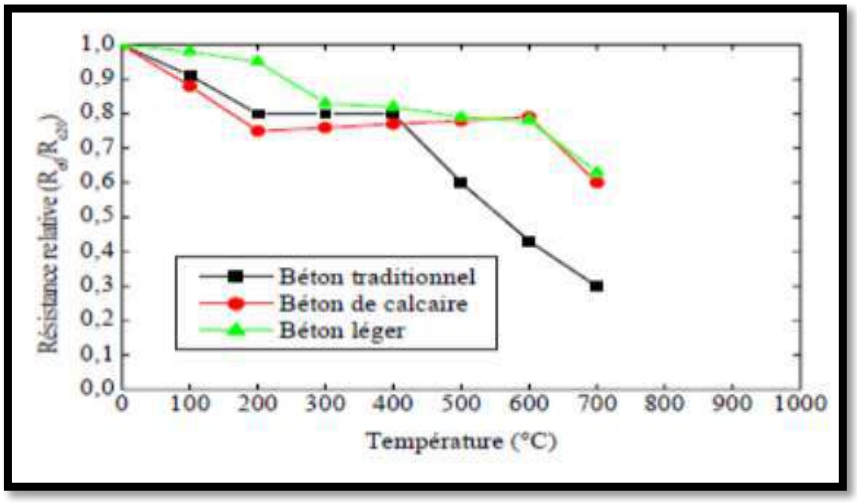


Figure I-17: Résistance à la compression du béton en fonction de la température [49]

Une étude antérieure sur la résistance du béton léger **[56]** a montré que comparé au béton ordinaire, la faible densité des bétons légers conduisait à une meilleur résistance au feu **[50,51]**. De plus, de taux d'alumine Al_2O_3/CaO affecte remarquablement cette propriété. En doublant la quantité de Al_2O_3/CaO les bétons résistaient à plus de 1450°C sans l'endommager.

I.12 Influence de polystyrène sure la durabilité

I.12.1 Perméabilité à l'eau

Maslehuddin et al. **[41]** ont réalisé des essais sur des bétons légers avec des perles de polyéthylène comme agrégat grossier à différents pourcentages. La profondeur accrue de l'eau peut être attribuée à la nature poreuse des agrégats et liée à la faible liaison des granulats légers avec le ciment de mortier **[36]**.

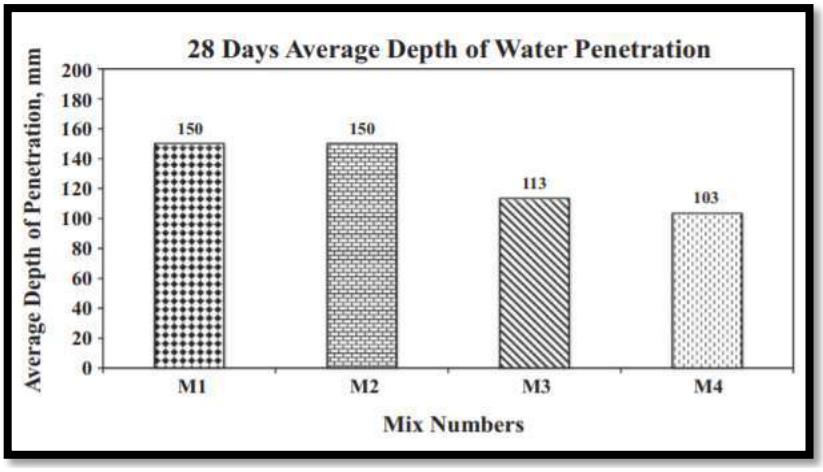


Figure I-18: Profondeur de la pénétration d'eau dans les différents mélanges de bétons légers [41]

I.12.2 Résistance au gel/dégel

Ferrándiz-Mas et al. **[36]** ont étudié la durabilité des mortiers de polystyrène expansé. La Figure I.19montre la résistance à la compression des mortiers fabriqués avec différentes doses de EPSw avant les cycles (Sc), après les cycles de chaleur ((Sc) chaleur) et après les cycles de gel-dégel ((Sc) froid).

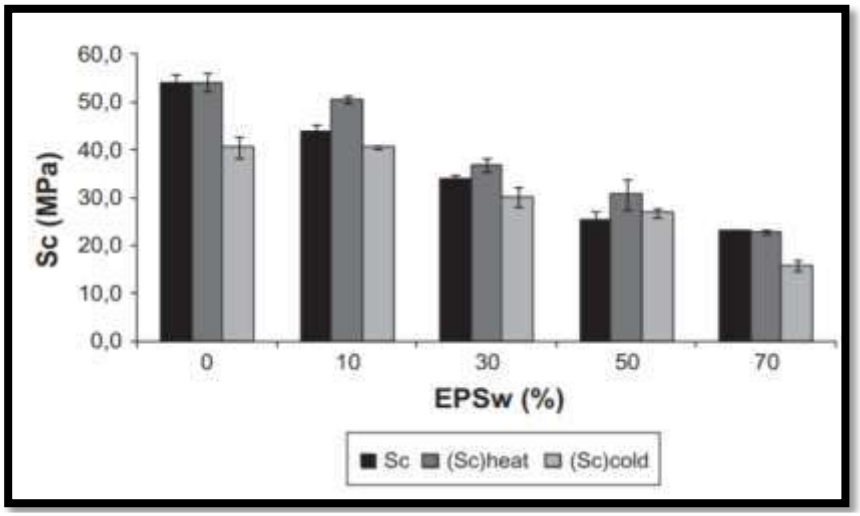


Figure I-19: Résistance à la compression des mortiers fabriqués avec différentes doses de polystyrène (EPS%) [52]

En comparant les valeurs de (Sc) froid (pour les mortiers contenant de l'EPS) et Sc pour un mortier témoin (0% EPS), on peut voir qu'après les cycles de gel-dégel dans les mortiers fabriqués avec EPS une perte élevée dans la résistance à la compression due à l'augmentation du dosage en EPS.

Ce comportement peut être attribué à la faible maniabilité de ces mortiers, les rendant plus hétérogènes et dispersés, facilitant la formation de micro fissures par l'effet expansif de la glace **[41]**.

I.13 Conclusion

Cette étude bibliographique a permis de mettre en évidence l'influence notable du granulat léger en général et en particulier le polystyrène, 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 **[4]** De plus, les bétons de polystyrène sont caractérisés par leur pouvoir isolant avec leur faible conductivité thermique et pouvant descendre jusqu'à 0.02 W.m-1K-1. Du point de vu de durabilité, la présence de polysterène diminue la de résistance aux gel/dégel du béton .

CHAPITRE II:

Béton de sable

II.1 INTRODUCTION

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, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.

Dans ce chapitre on présentera un aperçu général sur les BS, ou on va exposer d'abord leur définition ainsi que la différence entre les BS et les mortiers. Ensuite, on donnera une description des constituants entrant dans la fabrication, enfin les différentes méthodes de formulation utilisées.

II.2 Généralités sur les Bétons de sable

II.2.1 Définition

La norme Française A.F.N.O.R.NF P18 500 (juin 1995) [8] définit le béton de sable comme suit : « Le béton de sable est un béton fin constitué par un liant hydraulique, un (ou plusieurs) sable(s), des fines et de l'eau ; on utilise habituellement un (ou plusieurs) adjuvant(s) et on peut, éventuellement, admettre une quantité de gravillons.

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

• Il se distingue des mortiers par son dosage en liant moindre, sa résistance plus élevée Ets destination (essentiellement destiné aux usages traditionnels du béton) ;

• Il se distingue d'un béton ordinaire par son dosage en sable(s) élevé, par l'absence ou le faible dosage en gros granulats (une rigidification par des gravillons tels que le rapport G/S soit inférieur à l'unité peur être nécessaire), et l'incorporation d'ajout(s) ;

• Il ressemble au béton ordinaire par son dosage en liant et sa résistance similaire et parce qu'il peut être utilisé pour la réalisation des éléments de résistance pour bâtiments et chaussées.

II.3 Constituants du béton de sable

II.3.1 Les sables

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541**[8]** (ES≥ 75si le sable est roulé et ES≥ 65 s'il est broyé) [**58**]. 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 [59].

II.3.2 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.

II.3.3 L'eau

Elle est conforme à la norme NFP18-303**[8].** 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) [**60**] ; l'incorporation de plastifiant réducteur d'eau et la sélection de fillers adéquats peuvent réduire la quantité d'eau dans des proportions non négligeables.

II.3.4 Les fines d'ajouts

Une qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont **[59]**:

La granulométrie du mélange et sa teneur en eau,

1. L'énergie de mise en place [8].

Des fillers de dimensions majoritairement inférieures à 80 µm sont utilisés pour remplir les vides entre les grains de sable afin de réduire la quantité de ciment. Leur rôle assure deux fonctions principales : l'une grossière de remplissage, l'autre d'ordre physico-chimique devant améliorer l'enchevêtrement cristallin et la cohésion du mélange [60].La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. Selon la norme ENV 206 **[8**], il existe deux types d'additions :

1. Les additions de type I : ce sont des matériaux quasiment inertes, organiques, naturels ou synthétiques spécialement sélectionnés qui, par leur composition granulométriques améliorent les propriétés physiques du ciment portland (ouvrabilité, capacité de rétention d'eau …). On peut citer le calcaire et la poussière.
2. Les additions de type II : Matériaux finement divisés à caractère inorganique, pouzzolanique ou hydraulique latent. Ils ont une teneur élevée en dioxyde de silicium seul ou en dioxyde de silicium et en oxyde d'aluminium combinés.

II.3.5 La fumée de silice (D)

La fumée de silice est un sous-produit des usines de fabrication d'alliage de silicium et de ferrosilicium obtenu dans un four à arc électrique à partir de quartz de grande pureté et de charbon **[52**]. Elle est constituée de particules très fines, environ 100 fois plus petite que les grains de ciment (SSB=2000 m²/kg) **[11].** La plupart ayant un diamètre compris entre 0.03 et 0.3µm. le diamètre moyen habituel se situant en dessous de 0.1 µm [**52**]. Cet ajout présente des propriétés pouzzolaniques en raison de sa forte teneur en silice amorphe (vitreuse) et en raison de sa finesse, qui complète la granulométrie des ciments ; ces deux effets entrainent à la fois une forte augmentation de la compacité et une amélioration des résistances mécaniques du fait de la réaction pouzzolanique de la fumée de silice. Son introduction dans le béton diminue la perméabilité et augmente la résistance aux sulfates [**20,52**].

II.3.6 Les cendres volantes

Les cendres volantes sont aussi appelées cendres pulvérisées de combustible. Elles sont recueillies à partir des installations de dépoussiérage électrostatique ou mécanique des fumées de centrales thermiques de charbon. Les particules de cendres volantes sont sphériques donc avantageuses vis-à-vis de la demande en eau. Elles ont une finesse très élevées avec un diamètre compris entre (1 et 100 µm). Leurs surfaces spécifiques de Blaine sont généralement comprises entre 250 et 600 m²/kg. Elles sont composées essentiellement de SiO_2 et de Al_2O_3**[52].** Les principales exigences de la norme ASTM C 618 **[21]** concernent une teneur maximale de 70% de silice, d'alumine et d'oxyde de fer pris tous les trois dans leurs ensemble (SiO_2 + Al_2O_3 +Fe_2O_3). Le mélange avec le ciment donne un véritable liant car le $Ca(OH)_2$ se combine avec le SiO_2 et Al_2O_3 des cendres. La présence de ces dernières dans le béton réduit la quantité d'eau ce qui induit une amélioration de l'ouvrabilité qui est généralement attribuée à la forme sphérique des cendres volantes **[52].** Les cendres volantes peuvent être siliceuses ou calciques.

II.3.7 Le laitier granulé de haut fourneau (S)

C'est un sous-produit de la fabrication de la fonte brusquement refroidie par aspersion d'eau. C'est un matériau hydraulique lorsqu'il est activé. Il se présente sous forme de nodules dont la composition chimique comporte de l'oxyde de calcium dans des proportions de l'ordre de (40 -50%), de silice (25 – 35%) de l'alumine (12 – 30%) et de la magnésie et d'autres oxydes en très faible quantité. Tous ces éléments sont pratiquement les mêmes que ceux du clinker **[20].**La présence du laitier dans le mélange de mortier de ciment ou béton permet d'obtenir :

1. Un temps de prise plus long
2. Une faible chaleur d'hydratation
3. Une meilleure ouvrabilité
4. Une faible résistance à jeune âge et une bonne résistance à long terme.

II.3.8 Schistes calcinées (T)

Les schistes calcinés sont issus de roches sédimentaires ou métamorphiques obtenus à des températures de l'ordre de 800°C. De plus, leurs propriétés pouzzolaniques présentent des caractéristiques hydrauliques lorsqu'ils sont finement broyés **[20].**

II.3.9 Les pouzzolanes naturelles (Z)

Les pouzzolanes naturelles sont des produits naturels issus des roches volcaniques ou des roches sédimentaires, composées essentiellement de silice $SiO_2 \geq$ %, d'alumine Al_2O_3 et d'oxyde ferrique FeO_3. Selon la norme ASTM C 618 **[21],** la totalité des trois oxydes (SiO_2 + $Al2O_3$+ FeO_3) doit être supérieure à 70%. Grace ç leur propriétés pouzzolaniques, elles ont la capacité de fixer la chaux à la température ambiante et à former des composés au caractère hydraulique pouvant faire prise et durcir par hydratation [10]. Elle permet d'améliorer, la perméabilité des bétons aux ions chlores (FigureII.1) et la résistance aux acides at. aux sulfates.

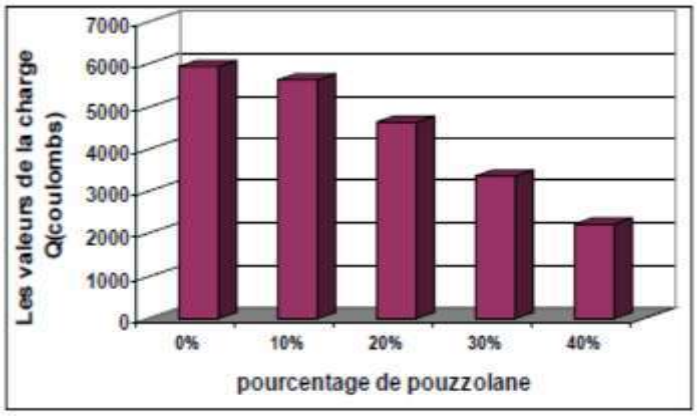


Figure II-1: Perméabilité aux ions chlores des bétons à 28

II.3.10 Les fillers calcaires (L)

La plupart des cimenteries algériennes utilise le calcaire en raison de ses propriétés avantageuses ; telles que la réduction du cout de fabrication, la protection de l'environnement et la réduction des émissions de CO_2. Lorsqu'elles sont ajoutées au ciment,, les fillers calcaires doivent présenter une proportion de carbonate de calcium $CaCO_3$ supérieure à 75%, en masse,, une teneur en argile telle que l'absorption de bleu de méthylène soit au plus de 1.2 g pour 100 g et une teneur en matière organique (T.O.C) au plus égale à 5% [20].Les résultats obtenus par les recherches précédentes ont mené à

conclure que la quantité de calcaire ayant une influence significative sur le comportement du béton recyclé et du béton ordinaire, à l'état frais et durci.

II.3.10.1 Effet des fillers calcaires sur le béton à l'état frais

a. Ouvrabilité

Plusieurs études **[1, 5, 46]** ont montré que l'incorporation des fillers calcaires influe sur la maniabilité. Selon l'étude faite par RebihZaitri et al. **[62],** en variant les pourcentages des fillers calcaires dans le béton de 0,5,10,17.5,20 et 25%, les auteurs ont remarqué que l'eau de gâchage est proportionnelle à l'augmentation du pourcentage des fines calcaires (Figure II.2) et donc Les bétons ordinaires ont une ouvrabilité plastique et très plastique pour les compositions BO 5% et BO 10%, à l'exception de la composition BR 5% qui donne une ouvrabilité plastique.

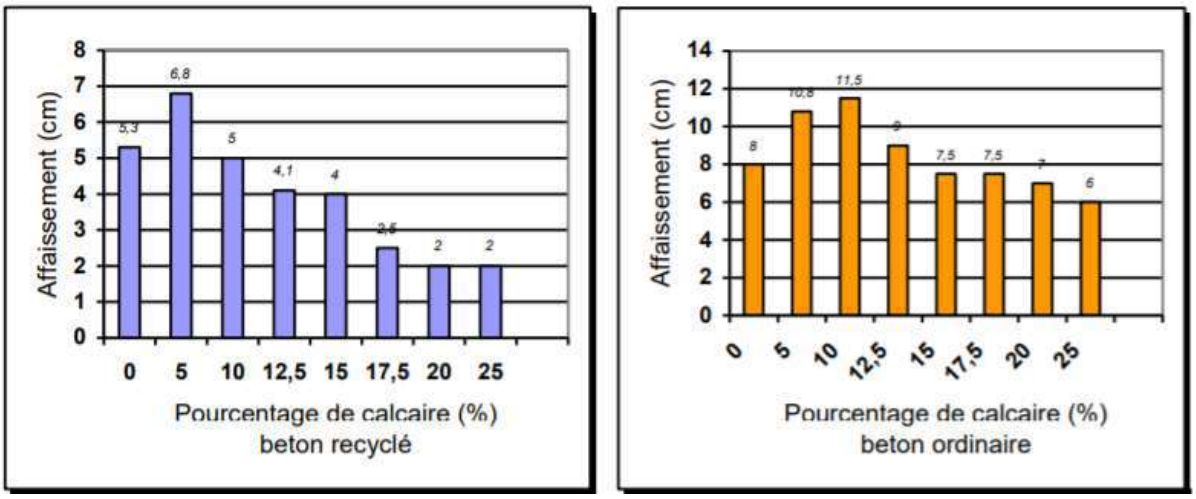


Figure II-2: Variation de l'affaissement en fonction du pourcentage de calcaire [62]

Skender Zakaria [59], a remarqué que l'affaissement diminue avec l'augmentationdu pourcentage de fines calcaires pour tous les types de ciments (A, B et C) utilises.La plus faible diminution d'affaissement est observée à 25 % d'ajout calcaire, cettediminution est due principalement à la forte absorption d'eau par les fines calcaires (Figure II.3)

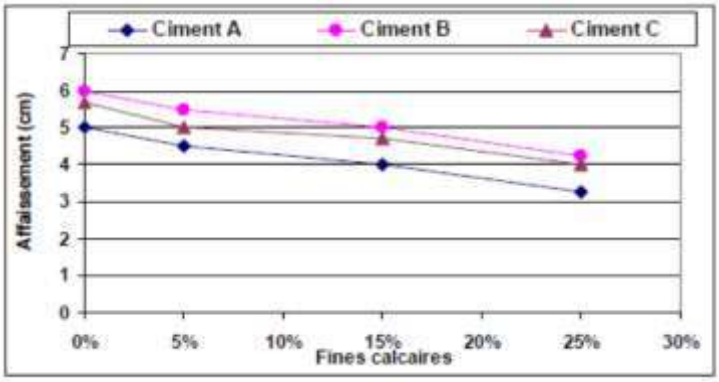


Figure II-3: Effet des fines calcaires sur l'affaissement [59]

b. Compacité

Un béton de sable se diffère d'un béton traditionnel par sa granulométrie fine. Donc, la porosité dans ce cas est élevée et par conséquence le dosage nécessaire du ciment sera très important.L'utilisation du ciment seul n'est pas économique et en plus le béton de sable ne sera finalement qu'un mortier. A cet effet, le calcaire, avec une finesse plus grande que celle du ciment utilisé, s'insère dans les vides et pores capillaires : il densifie ainsi le squelette du béton. La figure II.4 montre l'effet des fillers calcaires sur la densité de différents sables sable alluvionnaire RS, sable de dune DS et le mélange RDS [11].

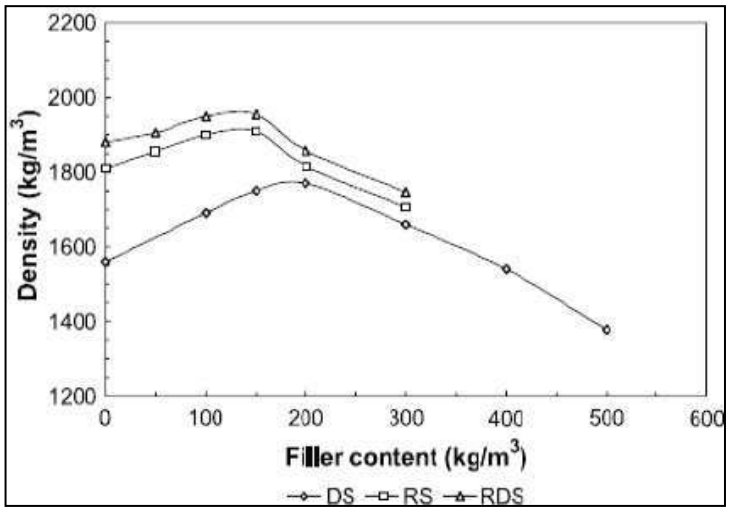


Figure II-4: Effet de fillers calcaire sur la densité des sables DS, RS et RDS [11]

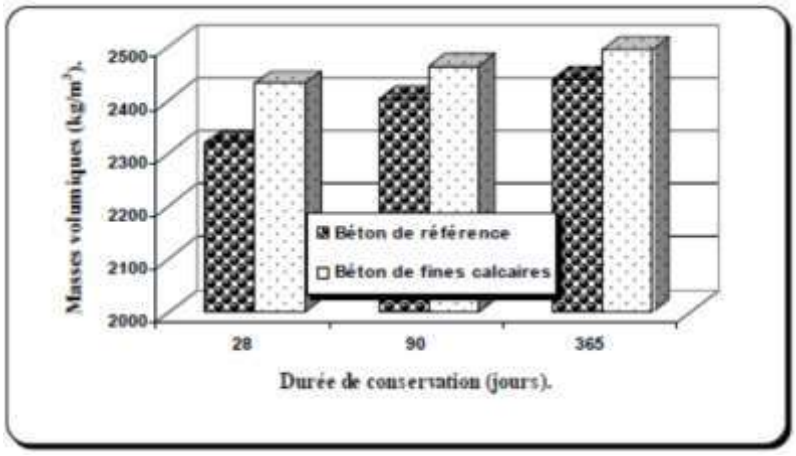


Figure II-5: Evolution de la masse volumique des bétons en fonction de la durée de conservation [5]

D'après la figure II.5, la masse volumique du béton aux fines calcaires est nettement plus élevée que celle du béton de référence. Par conséquent la finesse Blaine du calcaire augmente la compacité de la matrice.

II.3.10.2Effet des fillers calcaires sur le béton à l'état durci

a. Résistance à la compression

L'introduction de l'addition calcaire conduit à une densification de la matrice cimentaire. La mouture de ses particules, permet à ses grains de s'intercaler dans les pores crées par l'hydratation, entre les granulats et les produits d'hydratation, ce qui multiplie les liaisons microscopiques, développe l'adhérence granulat-matrice et par conséquent augmente la résistance des bétons étudiés aux fines calcaires [70].

Guetaf et Bedrina [37] ont trouvé que l'ajout d'une quantité optimale de filler calcaire contribue à l'évolution de la résistance à la compression à court et long terme pour les bétons ordinaires et le bétons recyclés, ce qui illustré par les figures II.6 et II.7 respectivement.D'après les deux figures, on conclue que le calcaire, à raison de 10% et de 12,5%, engendre une augmentation importante de la résistance à la compression pour les bétons ordinaires et les bétons recyclés respectivement.Skender[59], a observé que la substitution de 15 % de fines calcaires ausable de concassage n'affecte pas négativement la résistance a la compression.

BONAVETI et al. [71] ont montré que L'incorporation des fines a amélioré larésistance a la traction par flexion pour tous les âges. Cette résistance a unetendance

semblable à celle observée pour la résistance a la compression des mortierscorrespondants. L'augmentation était plus prononcée a jeune âge. Apres 28 jours, l'effet detoutes les fines de pierres était essentiellement le même indépendamment de leurscompositions et leurs quantités dans le mélange [64].

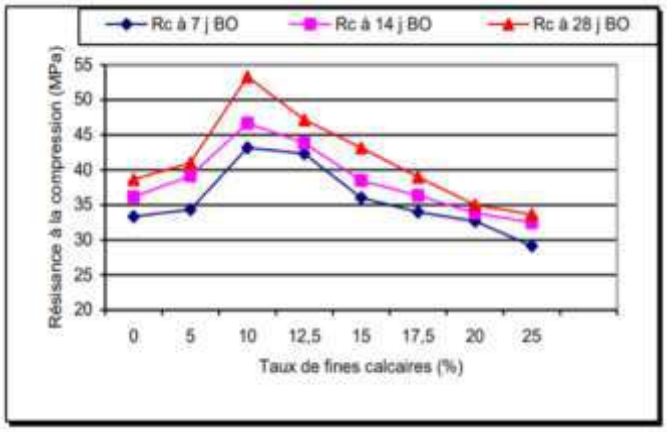


Figure II-6: Variation de la résistance à la compression des bétons ordinaires en fonction du taux de calcaire [62]

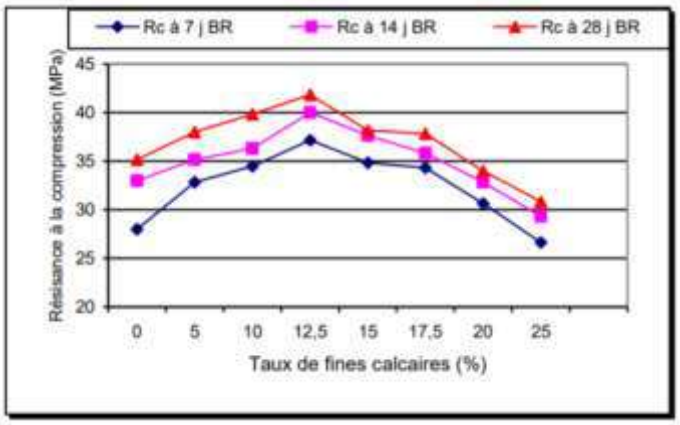


Figure II-7: Variation de la résistance à la compression des bétons recyclés en fonction du taux de calcaire [62].

II.3.11 Les adjuvants

Les adjuvants employés devront être conformes aux normes NFP 18-340.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 défloculent 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 [60]. D'autre adjuvants tels que les entraineurs d'air sont ajoutés pour créer un réseau demicrobulles d'air qui assurent la protection du béton de sable vis-à-vis du gel et des fondants utilisés en période hivernale Leur utilisation est obligatoire dans les zones froides[67].

II.3.12 Les fibres (renfort de structure)

Les fibres formées de matière résistante à la traction sont additionnées afin d'obtenir un matériau doté d'une certaine résistance à la traction. Elles sont surtout utilisées dans le but d'améliorer le comportement du béton aux jeunes âges ainsi que ses caractéristiques mécaniques. On utilise, dans le cas échéant, des fibres organiques (polyester, polypropylène …etc.), métalliques, de végétaux, treillis, alvéoles [60]. Pour limiter les effets de retrait de prise et éviter la fissuration qui en résulte. Le dosage et la nature sont des paramètres très importants pour assurer l'efficacité de ces ajouts.

II.3.13 Les gravillons

Le béton de sable peut contenir un certain pourcentage de gravillons et prend la dénomination de« béton de sable chargé ». En effet, tant que les gravillons sont dispersés dans le sable (figure II.8), et ne constituent pas un squelette structuré, le comportement reste généralement le même [67].Les gravillons utilisés doivent être conformes aux spécifications de la norme NFP 18-541.L'ajout de gravillons, en faible dosage, a pour objectif d'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 un béton de sable tant que le rapport pondéral (G/ S) reste inférieur à 0,7[47], alors qu'il est compris entre 1,4 et 1,7 pour les bétons traditionnels.



Figure II-8: Différence entre béton de sable et béton ordinaire [8]

II.4 Domaines d'utilisation des bétons de sable

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé bien avant le béton traditionnel et présente sous sa forme actuelle certaines propriétés spécifiques par rapport au béton classique, et peut procurer des économies dans certaines régions et pour certains usages **[60]**.

Il existe plusieurs domaines où les propriétés particulières du béton de sable en font le matériau convenable [SABLOCRETE, 1994].

- **Travaux exécutés avec du béton de sable in situ**

1. Travaux avec du béton injecté ;
2. Travaux avec un fort cadrage
3. Couches en béton de résistance pour les chemins régionaux
4. Accotements de chaussées nationales et régionales
5. Couches de résistance et usure des chemins locaux
6. Certains travaux de fondations pour les constructions
7. Trottoirs et allées piétonnes
8. Carrelage dans certains bâtiments industriels
9. Travaux pour terrasses
10. Murs de béton armé in situ

- **Travaux en béton de sable préfabriqué**

1. Dalles préfabriquées pour pavages et trottoirs
2. Tuyaux de canalisation en béton simple ou armé
3. Petits blocs de maçonnerie
4. Panneaux préfabriqués pour les murs extérieurs autoportants

5. Panneaux préfabriqués pour murs intérieurs et extérieurs portants
6. Panneaux en béton décoratif
7. Panneaux de planchers

II.5 Application du béton de sable

Le béton de sable trouve largement sa place dans la plupart des applications, sa facilité de mise en œuvre et ses qualités esthétiques constituent dans certains cas un atout appréciable**[60]**.

II.5.1 Le béton de sable en bâtiment

Le béton de sable prend sa place dans le bâtiment, pour ses qualités d'ouvrabilité, son absence de ségrégation et principalement pour ses qualités d'aspect qui autorisent de séduisants effets architectoniques. Nous considérons dans ce qui suit quelques exemples.

II.5.2 Le béton de sable dans la préfabrication

Le béton de sable est plus adapté à la préfabrication, on constate que les performances recherchées en préfabrication sont réunies dans le béton de sable (facilité en moulage, la montée en résistance, démoulage rapide, aspect de surface exceptionnel).

II.5.2.1 Toiture à plis

Ces éléments préfabriqués ont une épaisseur de 5 cm, une hauteur de 2 m et une longueur pouvant atteindre 32m (voire figure II.9 et II.10).



Figure II-10: Bâtiment à Toitures à plis

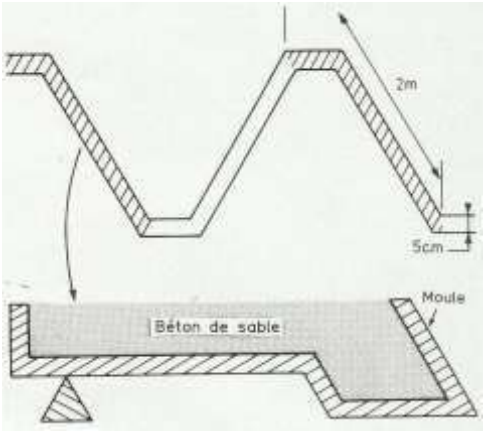


Figure II-9: Moulage d'un élément [60]

II.5.2.2 Ombrelles d'étanchéité

La finition du métro de Leningrad en Russie est assurée par la mise en place d'une ombrelled'étanchéité ; il s'agit d'une voûte à caractère autoporteur constituée de plusieurs éléments(généralement trois) assemblés sur place et réalisés dans une usine de préfabrication(figure II.11 et II.12).

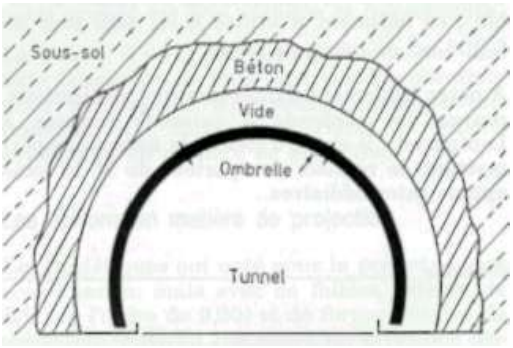


Figure II-11: Ombrelles d'étanchéité en place [60]



Figure II-12: Tunnel du métro de Leningrad [60]

II.5.2.3 Béton de sable projeté

La technique de projection de béton de sable permet de véhiculer le béton sur de grandes hauteurs ou à de longues distances, le domaine d'application de la projection comprend aussi bien les réparations et les renforcements des ouvrages en béton et en maçonnerie que les constructions de formes complexes et particulièrement pour la réhabilitation d'ouvrages souterrains (égouts visitables) (figure II.13 et II.14).

On peut citer d'autres applications pour les travaux neufs, exemple la réalisation de piscines (figure II.15)

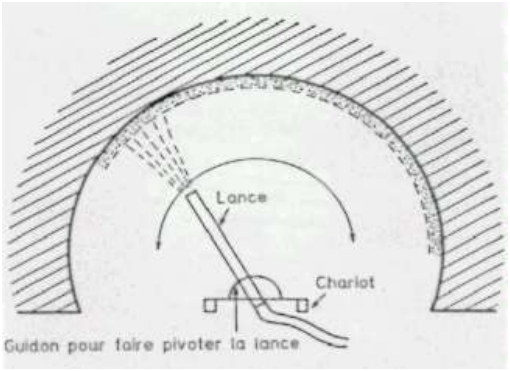


Figure II-14: Renforcement d'un égout [60]



Figure II-13: Projection sur surface avec nouveau ferraillage. [60]



Figure II-15: Réalisation d'une piscine avec béton de sable projeté.[60]

II.5.2.4 Béton de sable dans les fondations

L'utilisation du béton de sable pour la réalisation de fondations superficielles (semelles, radiers…) et fondations profondes est semblable à celle du béton traditionnel.

a. Pieux en béton de sable

L'expérimentation a confirmé que le béton de sable, qui est bien adapté à la fabrication de pieux de fondations profondes moulés dans le sol, possède des arguments technico-économiques propres à favoriser son développement, dans ce cas facilité d'introduction de la cage d'armature après le bétonnage**[63]**.

b. Confortement d'une digue

Il s'agit de confortement d'une digue (160 m) en enrochements par injection de béton de sable [23].Cette expérience confirme les propriétés spécifiques du béton de sable qui le rendent particulièrement adapté à ce type d'application : bonne résistance au délavage, fluidité et thixotropie permettant pompage et injection, tout en limitant les déperditions, mais, également bonnes performances mécaniques et coûts réduits.

II.5.2.5 Applications dans la construction routière

a. Chaussées en béton

Le béton de sable utilisé comme couche de roulement, peut constituer une variante de structure rigide intéressante sur le plan économique.L'étude menée par BACHABI [65] montre qu'au niveau des couches de base des deux différentes structures (en béton de sable et en béton classique), une même épaisseur est obtenue. La différence fondamentale se situe au niveau de la couche de roulement.

1. 11 cm pour le béton traditionnel

2. 15 cm pour le béton de sable.

II.6 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 …etc **[5].**

II.7 Durabilité du béton de sable

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. Leurs 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 [11, 65].

II.8 Variation dimensionnelle du béton de sable

II.8.1 Retrait

Il existe deux sortes de retraits :

1. **Retrait endogène** : ce retrait est caractérisé par une cinétique semblable aux autres gammes de béton, une différence de l'ordre de 10% environ par rapport à ce dernier.

2. **Retrait de dessiccation (retrait de séchage)**: ce retrait a lieu en milieu ambiant et peut atteindre des valeurs deux fois plus importantes que celles des bétons classiques du moins pendant les deux premiers mois, ensuite il y'a une tendance à la stabilisation.

Ce phénomène semble être lié à la taille et à la distribution des pores dans les bétons [66].

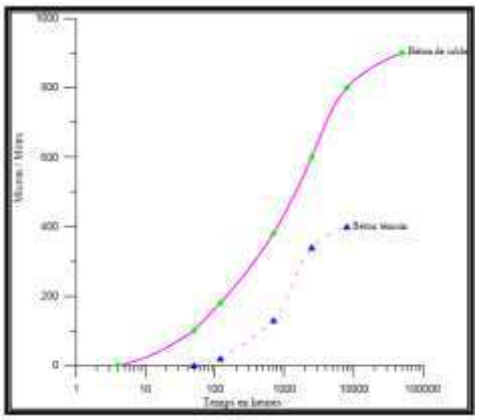


Figure II-17: Retrait d'auto-dessiccation [58]

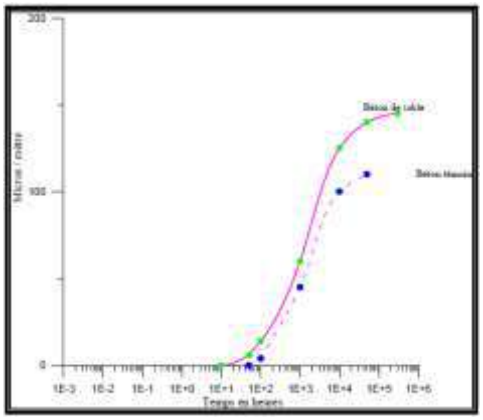


Figure II-16: Retrait total [58]

II.8.2 Fluage

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 II.18 et II.19). Ces résultats correspondent à un niveau de résistance en compression de 25MPa. [60,20].

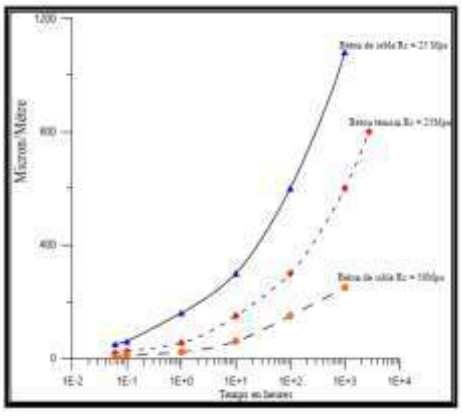


Figure II-19: Fluage d'auto-dessiccation. [58]

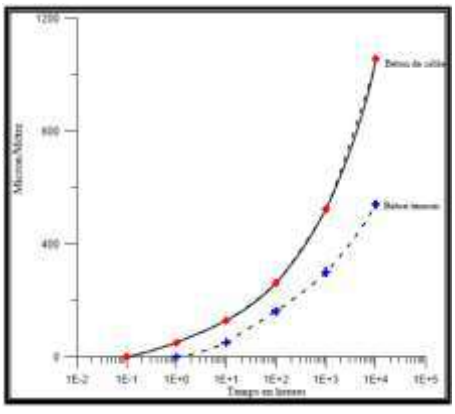


Figure II-18: Fluage total. [25]

II.9 Formulations des bétons de sable :

II.9.1 Définition :

Le but de la formulation d'un béton de sable est de trouver les proportions des différents constituants, à fin de réaliser un béton optimisé dans son squelette granulaire et dont les qualités sont celles qui répondent aux critères techniques et économiques.

Ainsi toutes les méthodes de formulation des bétons ne relèvent pas d'une science exacte, c'est pourquoi une étude théorique ne conduit qu'à une approche du problème.

Une étude expérimentale basée sur la réalisation des gâchées successives permettra d'adapter et de corriger la formulation théorique.

A ce titre il y a lieu de présenter deux types de formulations, résistance mécanique. La maniabilité qui est la facilité de la mise en œuvre **[51]**.

II.9.2 Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

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

Le premier problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité.

Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée.

Caquot **[71]** a pu établir à partir des données expérimentales une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{max}).

Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suit:

$$V = V_0 (d / D_{max})^{1/5} \qquad \text{Eq. I.1}$$

Avec :

V : Volume des vides du mélange granulaire;

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

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

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

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

II.9.2.1 Dosage en fines d'un béton de sable

Dans le but d'optimiser la compacité du béton de sable, les constituants du mélange sont séparés en deux fractions [51]:

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

Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax, ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm. provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal, la porosité du sable peut être calculée selon la formule précédente de Caquot:

$$Ps = V = 0.75 (0.08/D)^{1/5} \qquad \text{Eq. I.2}$$

Avec :

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

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée inférieurement par la coupure 80 µm, et à combler la porosité du sable ainsi calculée. En effet, il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80 µm) et le volume des vides associé a l'empilement de ces fines sont égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de l'ensemble des fines d'ajout.

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

$$\textbf{[Fines]} = \textbf{0.38 (0.08/D}_{\textbf{max}}\textbf{)}^{\textbf{1/5}} \qquad \textbf{Eq. I.3}$$

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

II.9.2.2 Dosage en eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v**[70]**.

$$(e + v)\ min = 0.8\ (d/Dmax)\ 1/5 \qquad \textbf{Eq. I.4}$$

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

$$d = (60 / (f))\ mm \times \rho \qquad \textbf{Eq. I.5}$$

Avec:

f : surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant.

ρ : Densité du constituant exprimée en g/cm3.

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés :

La dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 µm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique minimale et comme la figure II.20 le montre que la porosité minimale d'un mélange granulaire varie considérablement avec son étendue granulaire, mais cette porosité est décomposée en un volume d'eau (e) et un volume de vides (v). En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité.

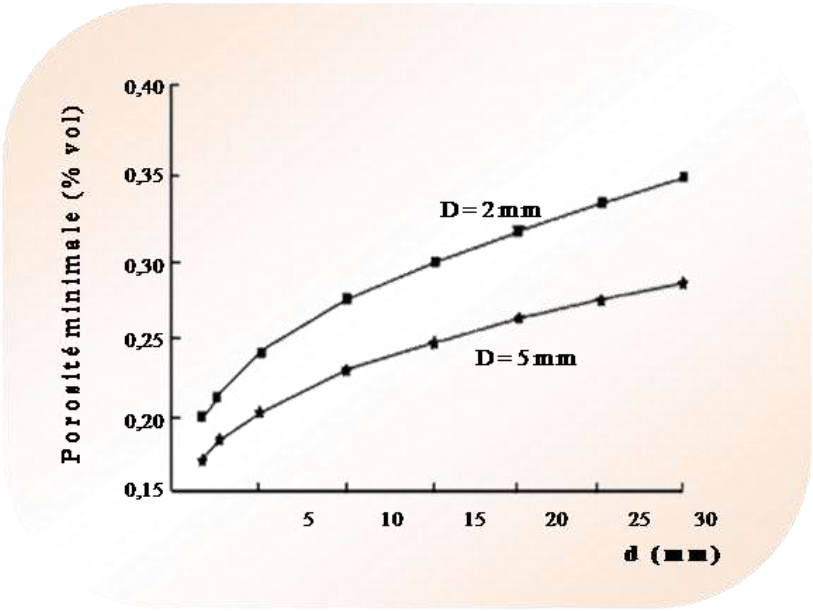


Figure II-20: Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton

Pour deux tailles du sable [58]

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

En pratique, confectionner un béton avec les strictes quantités d'eau conduit à une mauvaise ouvrabilité ; la figure II.21 nous montre la relation entre l'ouvrabilité et le dosage en eau.

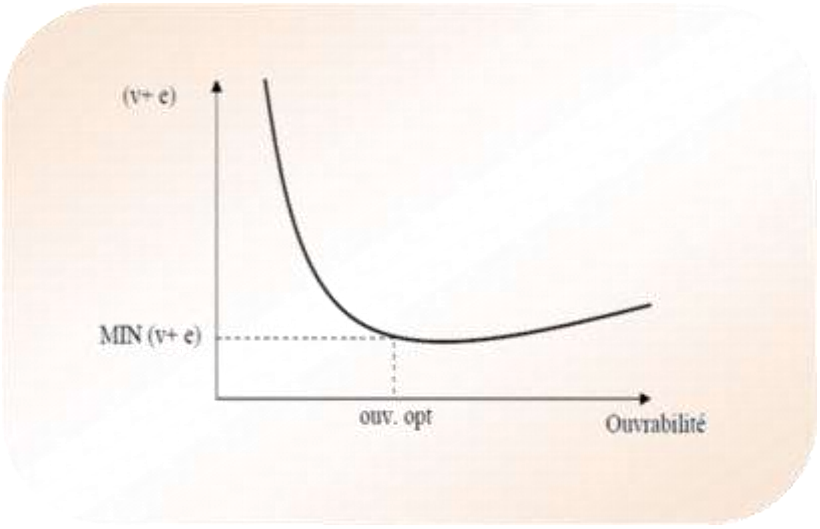


Figure II-21: Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice

Pour mise en œuvre donnée [51]

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

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans les bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

$$[\text{Vides}] = K\,[\text{eau}] \qquad \text{Eq. I.6}$$

Avec:

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

II.9.2.3 Dosage en sable

Afin de compléter un volume unitaire de béton de sable, (1m3), de la formulation, le dosage en sable est obtenu en faisant soustraire au mètre cube du mélange les dosages estimés précédemment des autres constituants (fines, eau, vide)**[51]** .

$$\textbf{[Sable] = 1000 - [Fines] - [eau] - [Vide](l/m}^3\textbf{)} \qquad \textbf{Eq. I.7}$$

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

II.9.2.4 Estimation de la résistance en compression :

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

sur la résistance : le squelette granulaire, la nature des liants, et les dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET **[9]** a été proposée récemment.

$$R_b = \frac{k_f \times R_c}{\left(1 + \frac{3{,}1\,(e+v)}{c\,(1+k_1+k_2)}\right)^2} \qquad \textbf{Eq. I.8}$$

Avec:

$\mathbf{K_f}$: coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5;

$\mathbf{R_c}$: classe vraie du ciment (MPa) ;

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

V : air piégé (l/m^3) ;

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

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

Avec:

K_1 = K_{cv} (CV/C) + K_{fs} (FS/C) ;

$<0.2 K_{cv}< 0.4$ $2 < K_{f\,s} < 3.3$ $K_1 \leq 0.5$

K_2= K_{fil} (Fil/C) ;

$0 < K_{fil} \leq 0.4$ $K_1 < 0.2$

K_1 : coefficient pouzzolanique

K_2 : coefficient d'activité du filler calcaire. (Voir figure I.9) ;

K_{cv} ,K_{fs},K_{fill} : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

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

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés. Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente **[9]**, alors que d'autres paramètres pourraient influer sur l'activité liante des fillers telles que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. Le problème revient à résoudre le système de deux équations simples

1. Dosage en ciment + dosage en fines d'ajout = dosage en fines.
2. Dosage en fines d'ajout / dosage en ciment = optimum d'activité.

Il en résulte de tout ce qui précède que cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité au formulateur de jouer sur certains paramètres en restant à

la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable.

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

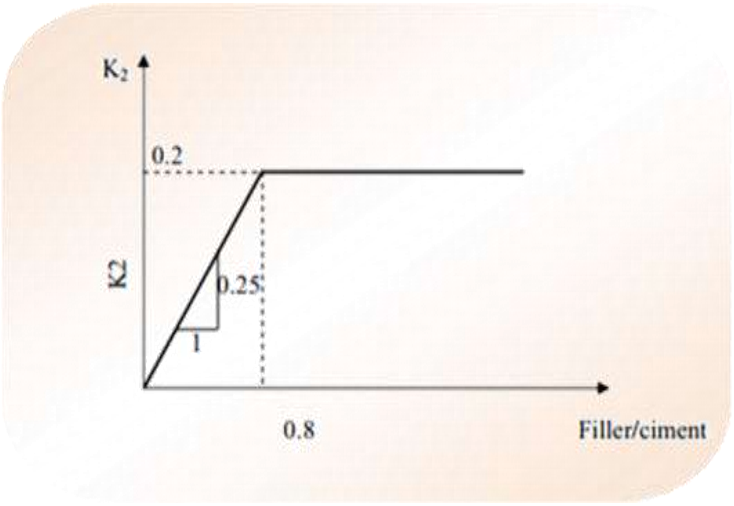


Figure II-22: Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle) [51]

II.10 Méthode expérimentale de formulation

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

Dans cette méthode, on travaille à dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions contractuelles ou normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum.

Cette méthode est une adaptation de la méthode dite BARON-LESAGE, elle est itérative et est basée sur la réalisation de gâchées légères. Les gâchées sont caractérisées par des mesures de la maniabilité, au maniabilité à mortier LCL, et de la masse volumique apparente.

Diverses formulations de bétons de sable ont déjà été réalisées par cette méthode, on cite à titre d'exemple : le béton de pieux, le béton routier, le béton de projection etc., et ont donné pleine satisfaction **[3]**.

II.11 Les différentes étapes de la formulation

II.11.1 Détermination d'une formule de base sans fines d'addition

Le travail consiste à déterminer une formule de un mètre cube, constituée de ciment, d'eau, de sable et d'adjuvants, ayant une maniabilité adéquate [51].

II.11.2 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).

II.11.3 Dosage en eau :

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

II.11.4 Détermination du dosage en sable :

Dans cette formule, il faut introduire un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 μm en extrait sec), qui permettra de défloculer les fines.

D'autre part, un béton contient toujours un volume d'air, Vair, la teneur en air des bétons de sable est toujours supérieure à celle des bétons ordinaires et se situe entre 5 et 7 % de volume du béton.

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

$$\mathbf{V_{air} + V_C + V_E + V_{adj} + V_{sable} = 1000 \quad (En\ litres)} \qquad \mathbf{Eq.\ I.9}$$

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

II.11.5 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 't' 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 :

$$s_i = s_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \pm MV_{sable} \qquad \textbf{Eq. I.10}$$

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.

II.11.6 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 :

$$S_i = S_{i-1} - (MVAT_{i-1} - MVAR_{i-1}) \qquad \textbf{Eq. I.11}$$

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

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

❖ **Fine d'addition N°1** : Son utilisation conduit à une maniabilité optimale entre 150 et 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.

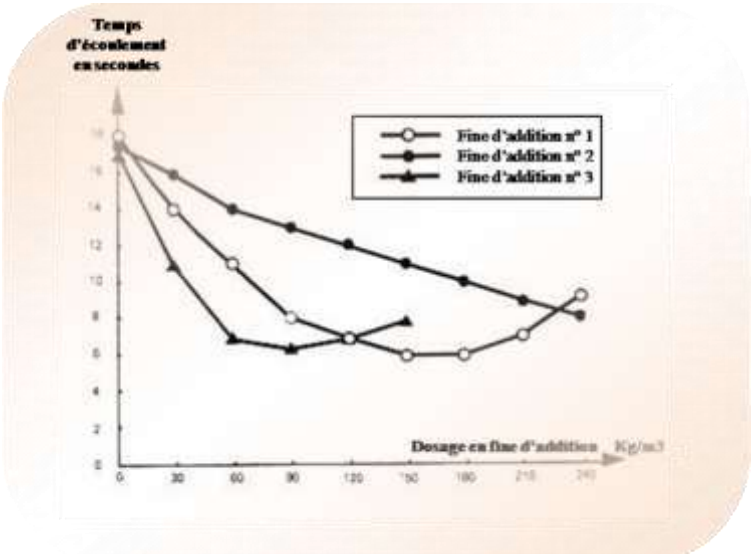


Figure II-23: Evolution de la maniabilité en fonction Du dosage en fine d'addition [50]

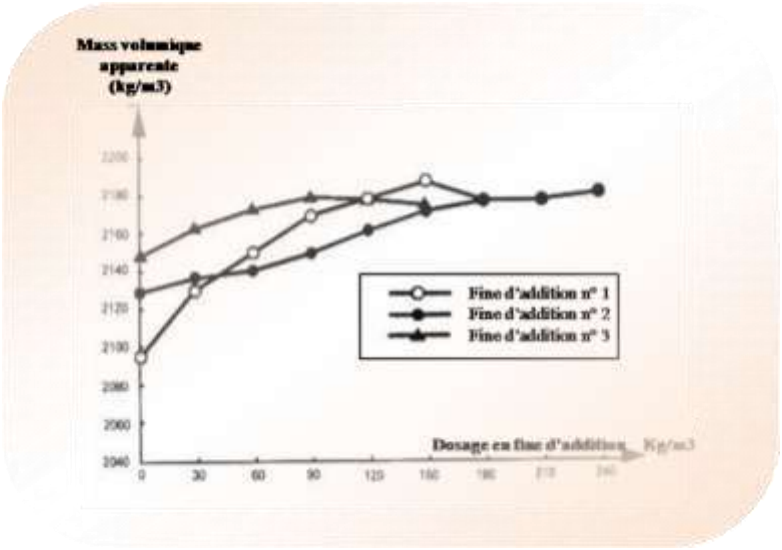


Figure II-24: Masse volumique apparente en fonction Du dosage en fine d'addition [50]

II.12 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 III:

Matériaux et Essais

III.1 INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons étudies avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette
- Les dosages en sable, gravier, ciment, eau, superplastifiant

La caractérisation des bétons à l'état frais, et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai.

La caractérisation des matériaux s'est faite sur dix types de béton de sable (**BSEPS).**

III.2 CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS :

III.2.1Ciment :

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Mâtine) **(Figure IV.1**), 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 **[75] (Annexe B).**

Le **tableau III.1** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique du ciment **[76].**



Figure III-1: Type de ciment utilisé

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.2.2Sable :

Le sable utilisé dans notre travail est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf situé à 500 Km au sud de l'Algérie.les caractéristiques physiques de sable utilisée sont donnée dans le **tableau III.2**sous-dessous :

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	2.4	NF EN 933-1 [77]
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.63	NF EN 1097-6[77]
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.63	NF EN 1097-6[77]
Taux d'absorption d'eau (%)		NF EN 1097-6[77]
Equivalent de sable (%)	74.5	NF EN 933-8[78]

III.2.3Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire sans passer par l'analyse chimique de cette eau. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

III.2.4Super plastifiant

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 Ajouts (fillers)

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. 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)	2,6
Finesse de mouture (cm^2/g)	3200

III.2.6 Granulats des billes de polystyrène

Ce sont des granulats organiques artificiels, les échantillons se présentent sous forme de billes parfaitement sphériques, l'enveloppe extérieure de ces perles est lisse et d'un grain serré ce qui les rend hydrophobes, elles demeurent donc imperméables, même sous forte pression d'eau**.**

III.2.6.1 Traitement des billes de polystyrène

Pour but d'augmentée la densité des billes de polystyrène on a essai plusieurs modes de traitement .enfin on a choisi le traitement avec lavable à cause de son meilleure résultat le mode de traitement effectuée est comme suit :

- **100 g** billes de polystyrène+**1000g** lavable
- **Séchée à l'air 24 h**
- **Séparée les billes avec un fortement des mains**

Les Caractéristiques physiques du des granulats polystyrène expansé sont donner dans le **tableau III.4**

Tableau III.4: Caractéristiques physiques du des granulats polystyrène traité et non expansé

Caractéristique	Type de polystyrène
Masse volumique absolue de EPS non traité (g /cm^3)	32.5
Masse volumique absolue de EPS traité (g /cm^3)	257
Diamètres des granulats (mm)	1-4

III.3 Formulation du béton

Cette formulation est fondée sur la méthode expérimentale de SABLOCRETE 1994[79 ; 80; 81] 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.

On a mélanger10 séries de béton de sable allégé par les billes de polystyrène traité qui sont ajouté comme adition part apport au volume du ciment à des niveau située entre 0 % jusqu'à 100 % et comparé avec le témoin. Dans cette étape.

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 BSESP étudié dans un 1 m^3

Mélange	Composition (kg/m^3)					
	Ciment	Sable	EPS	Eau	Adjuvant	Calcaire
BSESP0%	350	1650	0	220	1	60
BSESP10%	350	1650	2.9	220	1	60
BSESP20%	350	1650	5.8	220	1	60
BSESP30%	350	1650	8.71	220	1	60
BSESP40%	350	1650	11.62	220	1	60
BSESP50%	350	1650	14.52	220	1	60
BSESP60%	350	1650	17.42	220	1	60
BSESP70%	350	1650	20.33	220	1	60
BSESP80%	350	1650	23.23	220	1	60
BSESP90%	350	1650	26.14	220	1	60
BSESP100%	350	1650	29.04	220	1	60

III.3.1Préparation 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 : l'eau ,l'adjuvant, le calcaire et le ciment en mélange les ingrédients en premier temps pendant 30 sec puis on ajoute le sable pendant 30 sec a vitesse lent puis 30seca vitesse rapide apprêt on arrêt le malaxage pendant 1 min 30sec et on le relancer à 1 min a vitesse rapide .enfin ajouter le polystyrène pendant 01 min à vitesse lent

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



Figure III-2: Le malaxage du béton sable

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 3, 7 et 28 jours.

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

III.4.1 Essai à l'état frais :

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

Selon les normes L.C.P.C [**82]** et [NF P 15-437] **[83]** 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) [**84]**

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.3) et comporte :

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



Figure III-3: 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 chronomètre 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.4).

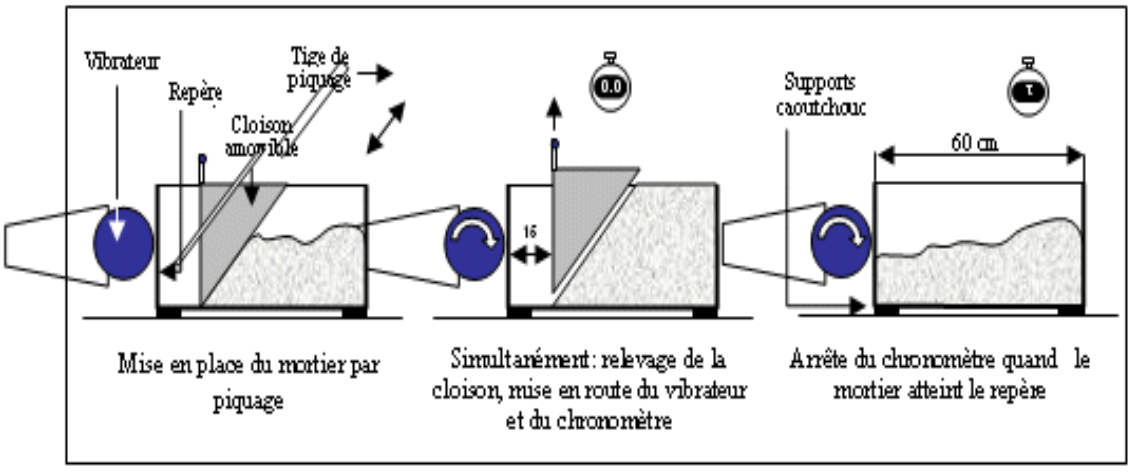


Figure III-4: Principe de fonctionnement du Maniabilimètre à béton de sable

III.4.1.2 La densité :

La masse volumique du Béton de sable a été mesurée selon la norme EN 12350-6 [85], voir le Fig. III.5



Figure III-5: Mesure de la densité du Béton de sable

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 à la norme NF P 18-412 [86]. 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 (3j.7j.28j).

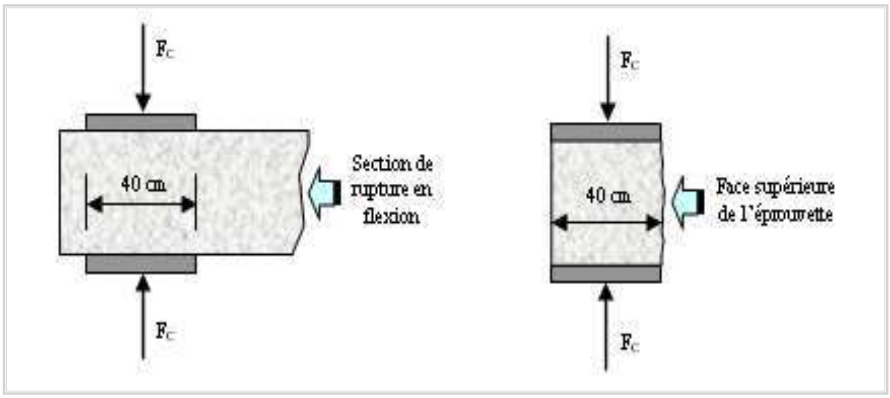


Figure III-6: Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure III.6, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$Rc = Fc / b2 \qquad \text{Eq. III.5}$$

III.4.2.2 Essai de traction par flexion

Selon la norme [EN 196-1] [87] c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure III.7), 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.

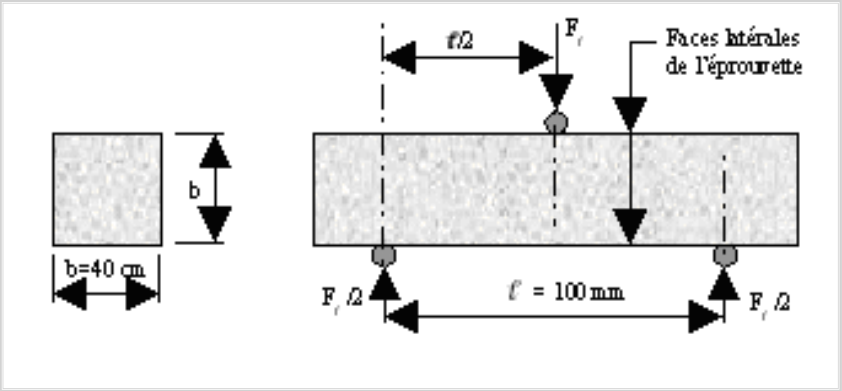


Figure III-7: Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

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

$$\sigma t = (M / I)\, v \qquad \text{Eq. III.6}$$

Avec :

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

$$M = Ff\, L/4 \qquad \text{Eq. III.7}$$

I:Moment d'inertie de la section transversale :

$$I = a4/12 \qquad \text{Eq. III.8}$$

v:La distance de la fibre la plus éloignée :

$$v = a/2 \qquad \text{Eq. III.9}$$

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

$$\sigma t = (1.5Ff\ L)/\ a3 \qquad \text{Eq. III.10}$$

Et ;

$$ft28 = 0.9\ Ft.L\ /\ a3 \qquad \text{Eq. III.11}$$

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 **[88].**

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.

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 = 160mm. 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.4.2.5 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 IV.18**), 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) **[89]**.



Figure III-8: Absorption d'eau par succion capillaire

III.4.2.6 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.

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 :

$$\varepsilon(\%) = \frac{\text{Mair}-\text{Msec}}{\text{Mair}-\text{Meau}} \times 100$$

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

III.4.2.7 Conductivité thermique

La conductivité thermique est une grandeur physique caractérisant le comportement desmatériaux 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 detempérature 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 CTMètre conformément la norme NF EN 993sur des échantillons de 4 ×10×10 cm.

III.4.2.8 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°CPendant 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.

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 :

$$[\text{Perte de masse (\%)}] = [(M_1-M_2)/M_1)] \times 100 \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \text{(équ .II.14)}$$

Avec

M_1, M_2 les masses des éprouvettes avant et après le chauffage respectivement.

III.5 CONCLUSION :

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

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 polystyrène 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 :

I.1.1. Effet de polystyrène sure le temps d'écoulement de Béton de sable (BS)

La figure IV.1 montre l'effet du pourcentage de polystyrène (EPS) sur le temps d'écoulement de béton de sable. Pour tous les mélanges le temps d'écoulement se situe entre (7 et 10 Sec), avec un rapport E/C et un dosage en superplastifiant fixe. Après un temps de vibration donné, il a été remarqué que la vibration conduit à une ségrégation sur la surface de béton (figure IV.2). Sur la base, il a été adopté de limiter la durée de la vibration pour obtenir un béton homogène. Ce résultat concorde avec d'autres résultats de la littérature [90].Magdy et al. [91] ont étudié l'effet du polystyrène sur l'ouvrabilité des bétons légers et ont conclus que l'augmentation du pourcentage de polystyrène inclut une augmentation de l'affaissement

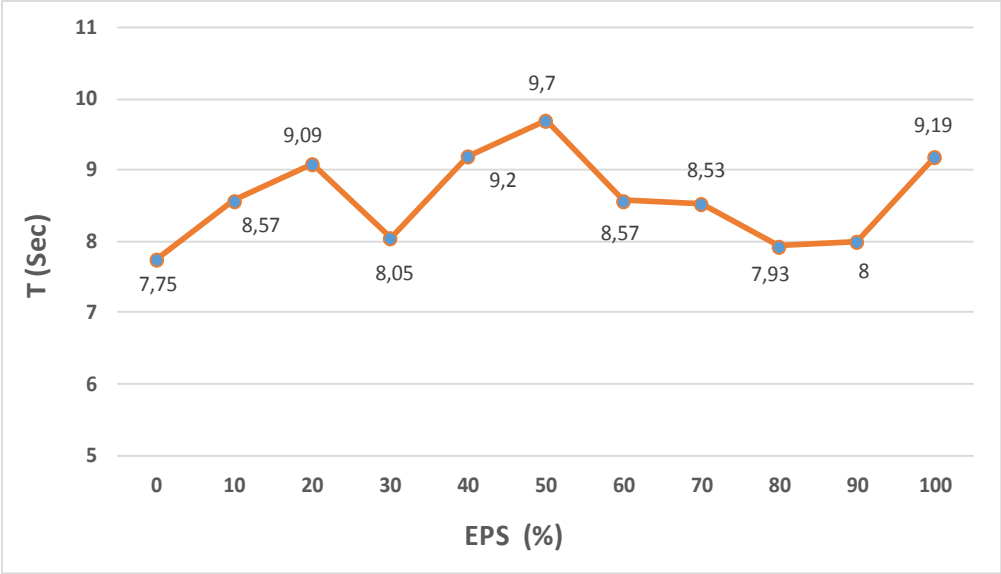


Figure IV.1: Temps d'écoulement du BS en fonction du % de polystyrène



Figure IV.2 : Ségrégation du BS

IV.2.1 Effet de polystyrène sure la densité de BS

Les résultats de l'effet du pourcentage de polystyrène sur la densité du béton de sable sont illustrés sur la figure IV.3 suivante.

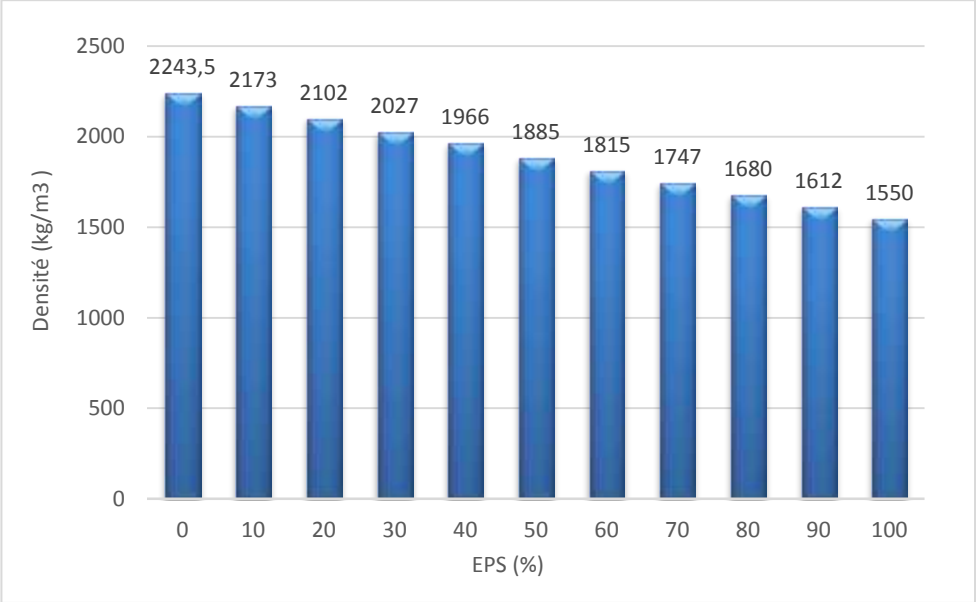


Figure IV-1:la densité en fonction de % PSE

Les résultats trouvés montrent que l'introduction de polystyrène subit une diminution de densité des BS par rapport au béton de référence. On enregistre une diminution de **16% et 31%**, avec **BSEPS50%** et **BSEPS100%** respectivement. Similaire résultat trouvé par d'autres chercheurs [92-94]. Cette diminution est engendrée par la faible densité du polystyrène par rapport aux autres matériaux utilisés. De plus, l'augmentation de la porosité totale du béton, aussi se traduit par la réduction de la densité des mélanges.

Cependant la diminution de la densité peut améliorer les performances structurelles de la structure. Lorsque des matériaux légers sont utilisés, le poids total de la structure peut être réduit et de ce fait des forces plus petites agissent sur les éléments structurels, ce qui peut aider à réduire la section transversale des éléments et également réduire l'acier d'armature nécessaire. En conséquence, le coût total de la structure peut être diminué. La réduction de la pression du coffrage due au béton léger peut également aider à réduire le coût du coffrage et la charge agissant sur les fondations de la structure sera également plus faible, ce qui peut être un avantage pour les constructions sur des sols de capacité portante inférieure. [95]

IV.3 Béton durcis

IV.3.1 Effet de polystyrène sure la résistance à la compression et traction de BS

Les résultats de la résistance à la compression et à la traction des **BS** obtenus à 7, 14, et 28 jours avec différents pourcentage de polystyrène (EPS) sont résumés sur les figure IV.4 et figure IV.5**. La figure IV.6 illustre la relation entre la résistance à la compression et la densité du BS. D'après les figures IV.4 et IV.5,** On constate que la résistance à la compression et à la traction diminue avec l'augmentation du pourcentage de ESP. La diminution est de l'ordre de **38%** pour la compression et de 47**%** pour la traction avec 100% d'ajout d'EPS (**BSEPS100%).** Cette chute de résistance est probablement engendrée en raison de la microstructure du BS, de sa porosité élevée et surtout la faible adhérence entre les billes de polystyrène et la pâte de ciment. Les résultats de la figure IV.6 résument une bonne corrélation linéaire avec un coefficient de corrélation (R^2 = 0.97). Ce résultat concorde avec ceux d'autres chercheurs de la littérature [96-98].V. Ferrandiz et al [99] Ont rapporté que l'addition de polystyrène dans les mélanges de mortiers à des niveaux de 0%, jusqu'à 80% conduit à une diminution de résistance à la compression. Cela confirme les résultats obtenus, similaire remarque concernant la résistance à la traction.

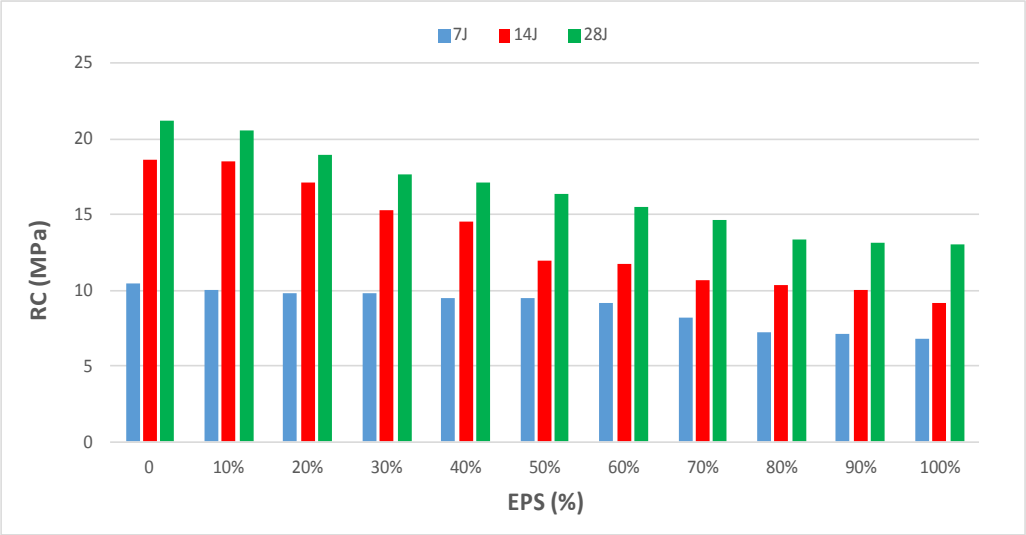


Figure IV-2: Résistance à la compression en fonction de % EPS

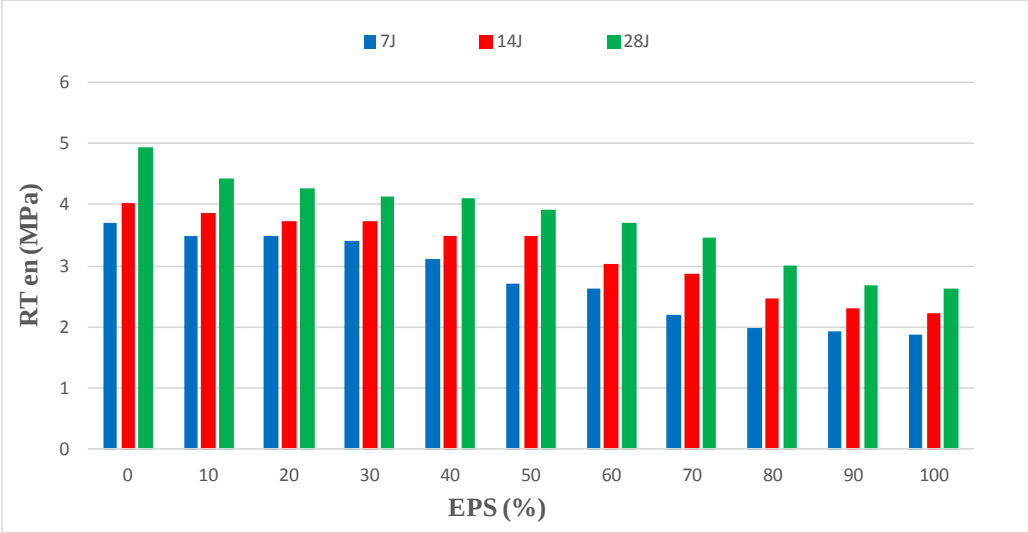


Figure IV-3:Résistance à la traction en fonction de % EPS

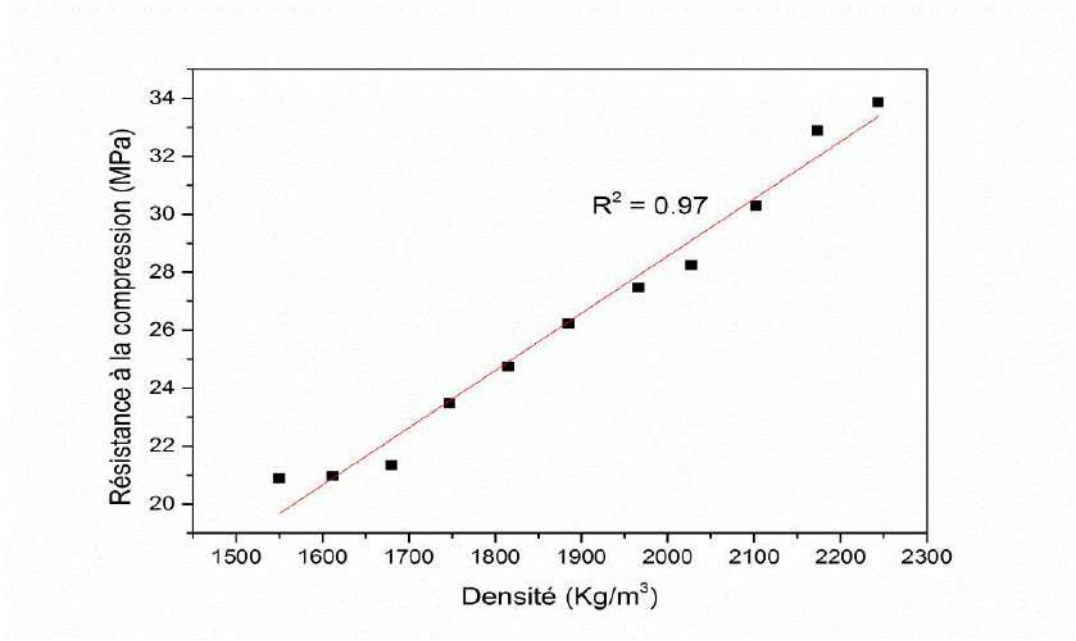


Figure IV-4: Relation entre la résistance à la compression et la densité

IV.3.2 Effet de polystyrène sure absorption d'eau par capillarité de BS

D'après la figure IV.7 qui résume l'essentiel des résultats trouvé de l'effet du polystyrène sur l'absorption d'eau par capillarité du BS. On remarque que l'allure de la figure suit la même cinétique pour tous les **BS** étudiés. On observe selon les résultats obtenus qu'il soit nettement visible que l'absorption d'eau par capillarité augmente avec l'augmentation du pourcentage de polystyrène. Celle-ci est plus importante pour le **BS** avec 70 % de polystyrène avec une augmentation de coefficients absorption d'eau de **46%** par rapport au BS témoin. Cette augmentation peut être liée aux vides d'air légèrement plus élevés résultant de l'incorporation de billes d'EPS dans les GLRPC [100,101].

Bengin M.et al. [102] ont étudié l'effet du polystyrène sur la capacité d'absorption d'eau (variation 30%, 60% et 100%) sur le béton. Les résultats ont montré que Les mélanges contenant 60% et 100% de polystyrène ont une absorption d'eau nettement plus élevée que pour le béton témoin. Ce qui est similaire avec les résultats de ce travail de recherche.

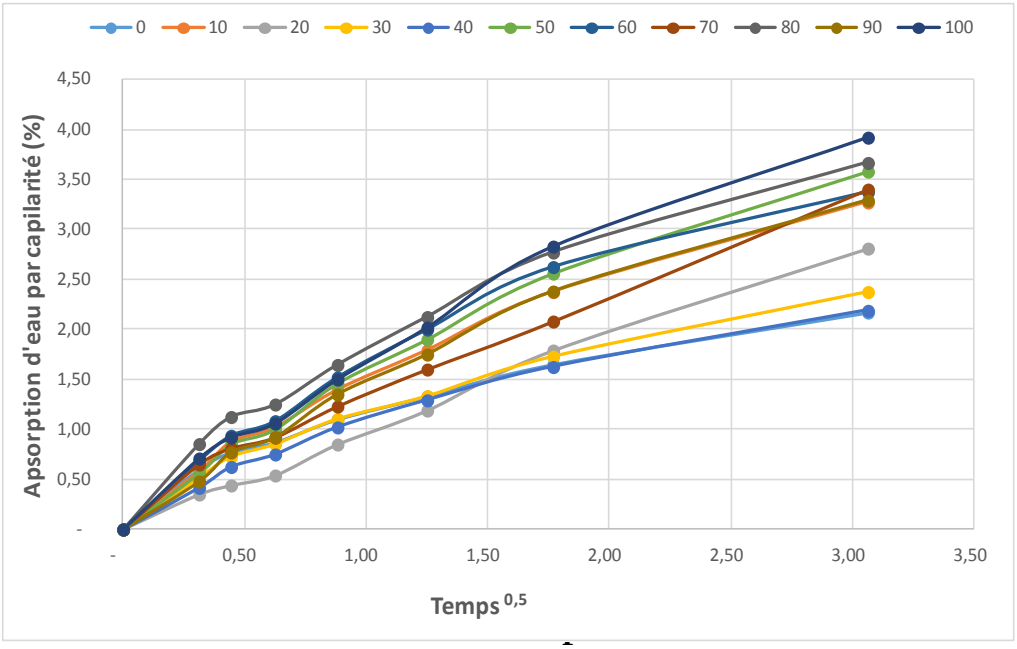


Figure IV-5: Absorption d'eau par capillarité du BS avec le polystyrène en en fonction du temps

IV.3.3 Effet de polystyrène sure le retrait de BS

Afin de mieux mettre en évidence l'influence de polystyrène, 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).

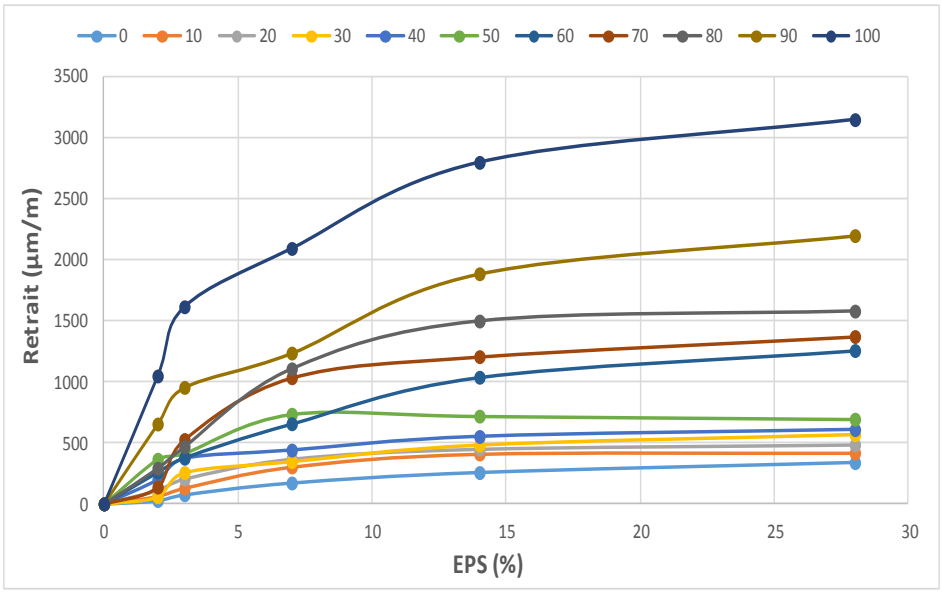


Figure IV-6: Evolution du retrait à l'air libre du différents BS avec polystyrène

D'après les résultats présentés dans la figure IV.8, on peut dire que le polystyrène a un effet négatif sur le retrait, plus on augmente le pourcentage de polystyrène, plus le retrait augmente. Ce phénomène est lié à la faible rigidité des billes de polystyrène [103], aux propriétés non absorbantes des granulats de polystyrène [104]

RamazanDemirboga[105] a remarqué que l'introduction de polystyrène dans les bétons influe défavorablement sure le retrait, ce qui est similaire avec notre travaille.

Neville [106] a indiqué que les granulats légers entraînent généralement des valeurs de retrait plus élevées, principalement en raison de leur faible module d'élasticité.

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.

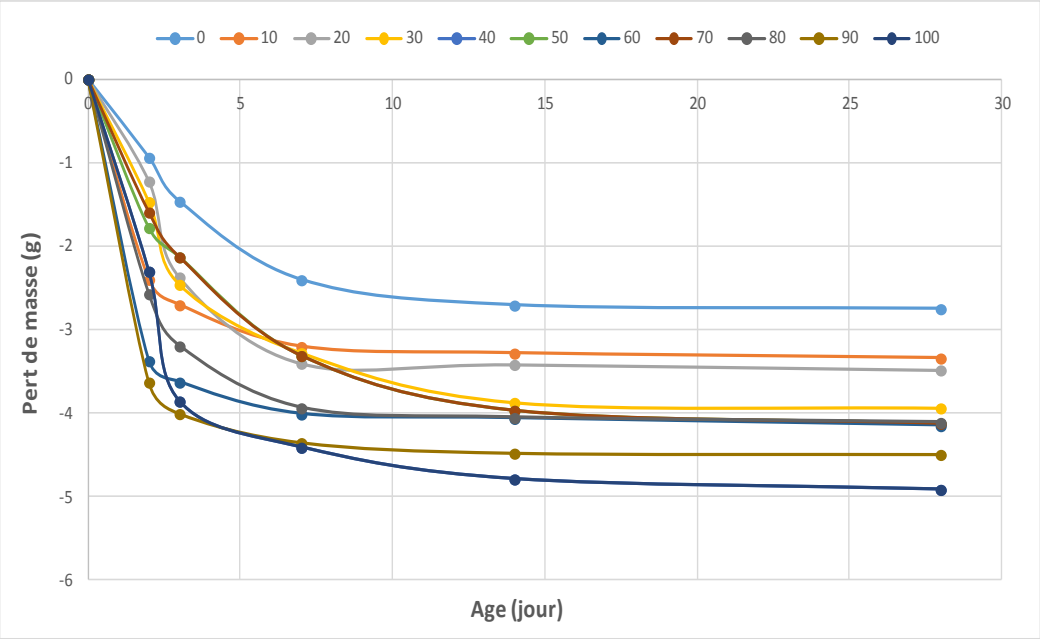


Figure IV-7 : Evolution de la perte de masse à l'air libre des du différents BS avec polystyrène

Les résultats montrent qu'il y a une perte en masse d'environ **78%** avec l'addition de 100 % de polystyrène par apport au 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.3.4 Effet de polystyrène sure le gonflement de BS

La figure suivante IV.10 résume les résultats trouvés sur le gonflement du BS à base de polystyrène en fonction du temps.

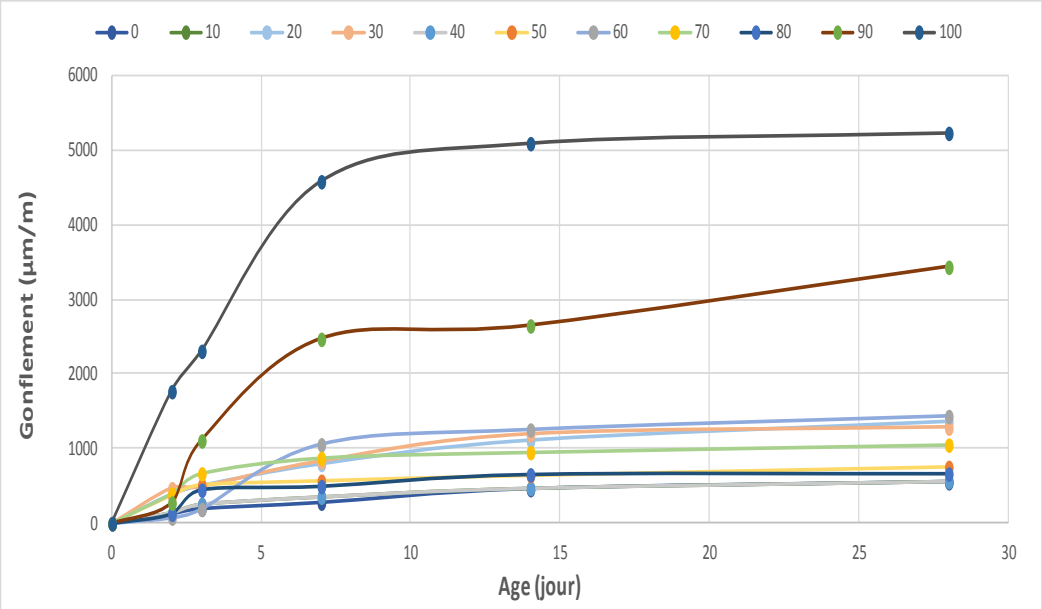


Figure IV-8: Evolution du gonflement à l'eau des BSESP

Les résultats montrent que le polystyrène a un effet négatif sur le gonflement du BS. Cette relation est sans doute due à la forte capacité d'absorption d'eau du BS causée par les vides au niveau des interfaces béton- polystyrène.

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 polystyrène.

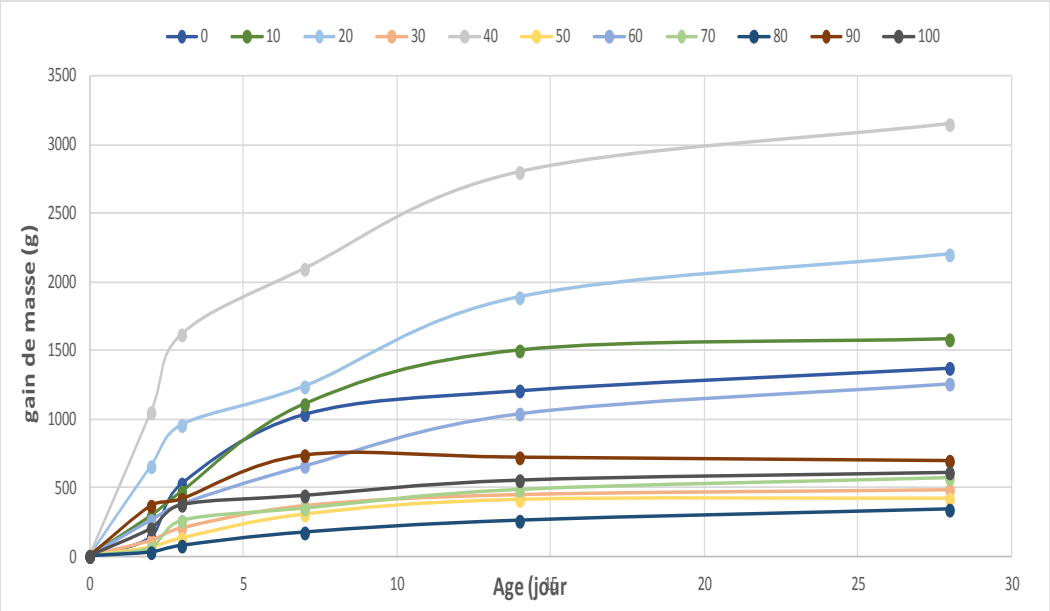


Figure IV-9: Evolution du gonflement à l'eau des BSESP

IV.3.5 Effet de polystyrène sure la porosité de BS

La figure IV.12 illustre les résultats de la porosité des différents BS étudiés en fonction du pourcentage d'ajout en polystyrène.

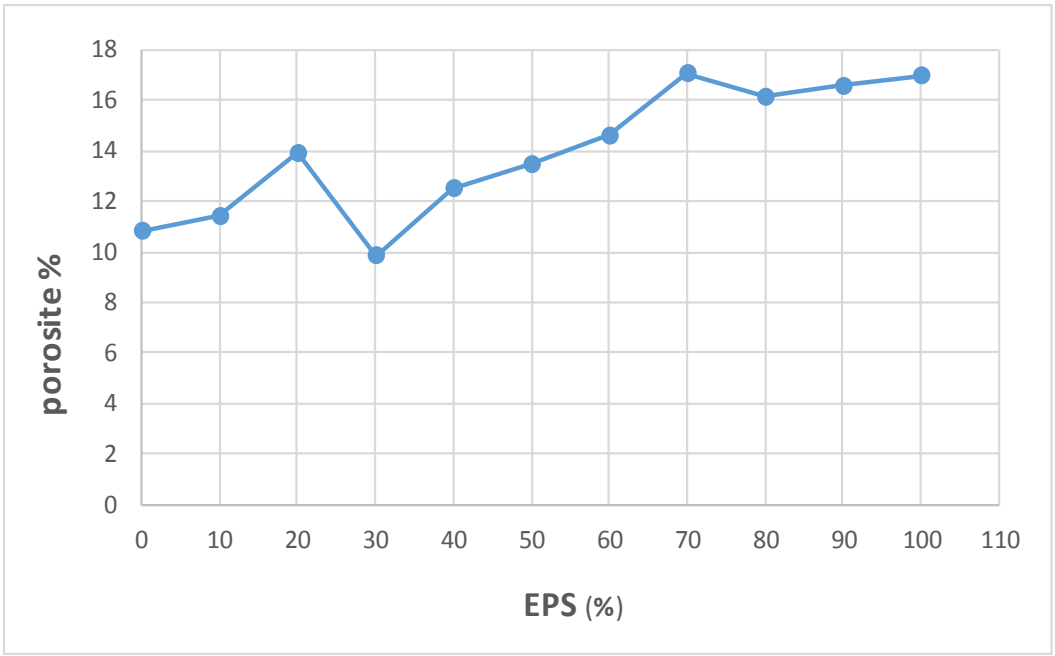


Figure IV-10: porosité en fonction de % ESP

Il peut être clairement indiqué de la figure IV.12 que l'augmentation de pourcentage de polystyrène engendre une augmentation de porosité avec une valeur de **57%** avec **BSESP100%.** Cette augmentation est due à la création de vides à l'intérieure d béton. La figure IV.13 montre la relation entre la porosité et la absorption d'eau par capillarité du BS avec diverses pourcentages en polystyrène, ce qui donne une bonne corrélation linéaire avec un coefficient de corrélation (R^2 = 0,75).

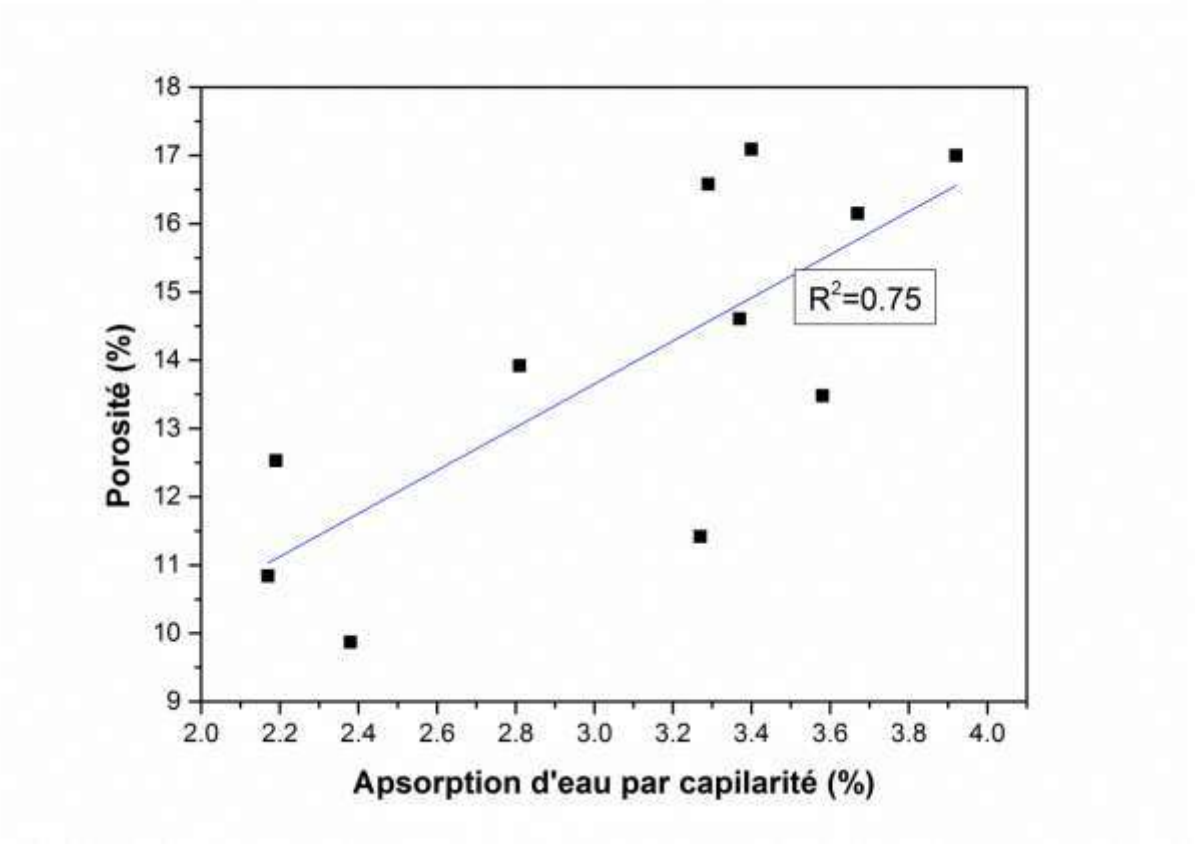


Figure IV-11: Relation entre la porosité l'absorption d'eau par capillarité des BSESP

IV.3.6 Effet de polystyrène sur la conductivité thermique

La figure montre effet de l'évolution de la conductivité thermique en fonction de pourcentage de polystyrène. On remarque par ces résultats que plus on augment le pourcentage de polystyrène la conductivité thermique diminue. Cette réduction de la conductivité a été discuté dans des travaux antérieurs sur les propriétés mécaniques, physiques et microstructurales des mortiers/béton à base de EPS comme granulat léger [107, 108]. Les échantillons ayant la conductivité thermique la plus élevée (2.5 W / mK) avec échantillon **BST** qui avait la densité apparente la plus élevée (22423.5 kg/m^3), tandis que l'échantillon ayant une conductivité thermique (1.5 W / m · K), avec **BSEPS80**, avait

une densité faible (1680 kg/m^3). Alor on peut conclure que La densité est jouer un rôle important sure cette diminution. Plus que le échantillon dense plus la conductivité thermique augmente est par conséquence conduit une faible isolation.

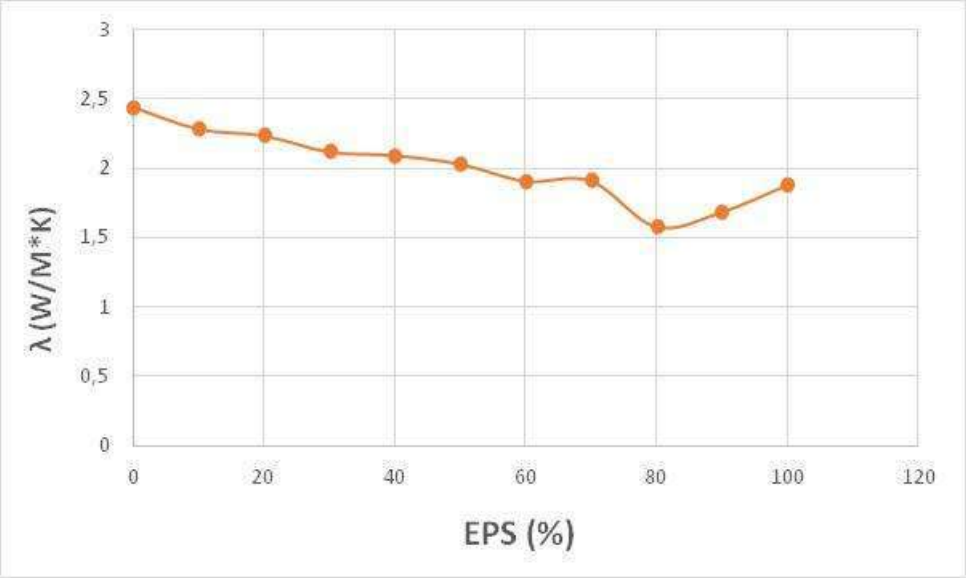


Figure IV-12:conductivité thermique en fonction de % ESP

IV.4 Conclusion

Cette partie a présenté les différents résultats des essais expérimentaux ainsi que leur interprétation à l'état frais et à l'état durci des **BS** afin d'étudier l'influence de polystyrène sur les propriétés physico- mécaniques et thermique.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet du polystyrène sur le comportement et la durabilité du béton de sable avec un nouveau procédé de traitement des billes. À la lumière des résultats obtenus, on peut conclure que :

- Le procédé de traitement à l'aide de la peinture lavable (acrylique) a donné satisfaction représentée par une augmentation de la densité de polystyrène 10 fois plus que celle à l'état pure. Ce qui facilite son utilisation (avec moins de ségrégation possible) dans le béton de sable.

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

- La résistance à la compression et à la traction du béton de sable diminue avec l'augmentation en pourcentage de polystyrène. Cette chute de résistance est due principalement à l'augmentation de la porosité du béton causée par la présence du polystyrène.

- La bonne corrélation linéaire entre la résistance à la compression et la densité du béton de sable avec le polystyrène traduit l'effet bénéfique qu'engendre le polystyrène traité sur la diminution de la densité du BS sans retour négatif sur sa résistance à la compression.
- L'absorption d'eau par capillarité du béton de sable augmente avec l'augmentation en pourcentage du polystyrène.

- La faible rigidité des billes de polystyrène engendre un effet négatif sur le retrait des bétons de sables.

- La faible adhérence béton–polystyrène 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 en polystyrène.

RECOMMANDATION

RECOMMANDATIONS

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 traitement du polystyrène ;
- L'étude la rhéologie des bétons de sable à base de polystyrène ;
- L'étude de la perméabilité (à l'eau et au gaz) des bétons de sable allégé par le polystyrène ;
- La contribution du polystyrène avec autre déchet comme le bois ou le liège sur le comportement physico-mécaniques et la durabilité des bétons de sable ;
- L'étude d'un autre type de béton avec ajout de polystyrène

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES

[1]Tafraoui.A" « Caractérisation et valorisation du sable de l'erg occidental Algérien dans le BUHP et l'outillage ». Thèse de doctorat de l'USTHB Alger.2007

[2] Thèse de magister « INFLUENCE DE DIFFERENTS FACTEURS D'ALLEGEMENT SUR LES CARACTERISTIQUES PHYSICO-MECANIQUES ET THERMIQUES D'UN BETON A MATRICE CALCAIRE-CIMENT» Zireg 2005

[3]RILEM: Commission des bétons légers. Terminologie et définition. Matériaux et construction N°13 (1970), pp60-69

[4]American Concrete Institute : Guide pour le béton de structure à base de granulats légers. Traduction du CATED,SDT BTP (1970).

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

[6]M. S. Goual, « Contribution à l'élaboration d'un procédé de valorisation de co-produits argileux .Cas du béton argileux cellulaire obtenu par réaction avec l'aluminium pulvérulent. Caractérisation et comportement thermo hydrique », Thèse de doctorat d'état de l'Ecole Nationale Polytechnique d'Alger, Février 2001

[7]M. Arnoud, M.Virlogeux, Granulats et Bétons légers, Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1986

[8] Les normes françaises :

- **NF P15-301** : Liants hydrauliques - Ciments courants - Composition, spécifications et critères de conformité.

- **NF P15-431** : Liants hydrauliques - Technique des essais - Détermination du temps de prise sur mortier normal 94

- **NF P15-471** : Méthodes d'essais des ciments – Partie 5 : essai de pouzzolanicité des ciments pouzzolaniques (Indice de classement)

- **NF P15-473** : Méthodes d'essais des ciments – Partie 2 : analyse chimique des ciments (Indice de classement) 2006

- **NF P15-476 :** Méthodes d'essais des ciments - Partie 6 : détermination de la finesse1990

- **NF P18-303 :** Eau de gâchage pour béton

- **NF P18-340 :** Adjuvants spéciaux pour bétons1998

- **NF P18-404 :** Bétons - Essais d'étude, de convenance et de contrôle - Confection et conservation des éprouvettes1981

- **NF P18 – 440 :** Essai pour béton frais - Partie 6 : masse volumique1999

- **NF P18 -452 :** Bétons - Essai de compression - BETON. 1981

- **NF P18-541 :** Granulats - Granulats pour béton hydrauliques – Spécifications1994

- **NF P18 -500 :** Béton ; Bétons de sable 1995

- **NF P18-598 :** Granulats - Équivalent de sable - GRANULATE. 1991

- **NF EN 933-1 :** détermination de la granularité - Analyse granulométrique par tamisage 2012

- **NF EN 1097-6 :** détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau2014

- **NF EN 1097-3 :** méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire1998

- **NF EN 933-8 :** évaluation des fines - Équivalent de sable2012

- **NF EN 934-2 :** adjuvants pour béton - Définitions, exigences, conformité, marquage et étiquetage2012

- **NF EN 993-15 :** détermination de la conductivité thermique par la méthode du fil chaud (parallèle) 2005

- NF EN 13055-1 : granulats légers pour bétons et mortiers2002

- EN 196-1 : détermination des résistances mécaniques2006

- NBN NE 13057 : Méthodes d'essai - Détermination de l'absorption capillaire2002

[9]A. Ferhat, Caractérisation physicomécanique à court terme d'un Béton léger élaboré à partir d'agrégat pouzzolanique, Mémoire de Magister de l'université d'Oran, p174, 2002.

[10]P. Revil, J. Bipin, Using technology to improve the performance of lightweight cement, Middle East Drilling Technology Conference Bahrain November 23& 25, 1997

[11]Bederina .M: « Caractérisation mécanique et physique des bétons de sables à base de déchets de bois. Thèse de doctorat, l'ENP d'Alger (2007).

[12]Tasserie M : Optimisation physico-chimique d'un verre expansé. Thèse de Doctorat, Université de Rennes ; Juin 1991

[13]Carrel. P, Louvigne. M, Malaval R: Le polystyrène expansé. Le bâtiment bâtir, **(**Avril 1982) pp28-34.

[14]Ferrer M: Bétons légers isolants à base de billes de polystyrène. Thèse de doctorat. Université de Clermont Ferrand**(**1985)

[15]Ouadi R: Conception d'un panneau sandwich isolant-porteur. Thèse de doctorat de l'INSA. **(**1991)

[16]Morog D : Chronique technologique : du béton à partir de granulats de bois minéralisés : Procédés Agresta, comportement mécanique et principales utilisations. CII, Paris, Bull. Bétons 89, N°16, Janvier 1989, pp4-5.

[17]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.

[18]N.E.Kedjour, propriétés et pathologie du Béton, réimpression1993

[19]K.Alrim,N Al Cheikh-Kassem, M Queneudec, E.A.Decamps, « Construire en matériaux locaux » : tradition et modernité de l'habitat, approches culturelles, réalités économique, Colloque Francomaghrebin, Marseille Oct 1991.

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

[21]- ASTM C 618 « Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete »

[22]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.

[23]A. Ayadi, A Iratini, Elaboration et caractérisation d'un matériau isolant à base de déchets de verre, Proceeding of International Seminary GEOMAT'02, M'sila, Algérie 10-11 Mars 2002, pp.257- 262.

[24]R. Belouettar, Utilisation du laitier granulé dans la fabrication du béton cellulaire autoclavé, Proceeding of International Seminary GEOMAT'02, M'sila, Algérie 10-11 Mars 2002, pp.341-347.

[25]A. Guettala, B. Mezghiche, R. Chebili, Valorisation d'un déchet industriel pour la confection d'un béton de sable, Proceding of International Seminary GEOMAT'02, M'sila, Algérie 10-11 Mars 2002, pp.413-421.

[26]K. Al-Rim, Etude de l'influence des différents facteurs d'allégement des matériaux argileux – Les bétons argileux légers, Généralisation à d'autres formes de roches, Thèse de Doctorat de l'Université de Rennes1, 1995.

[27]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.

[28]A. Bouguerra, A. Ledhem, F. de Barquin, R. M. Dheilly and M. Quéneudec, Effect of microstructure on the mechanical and thermal properties of lightweight concrete prepared

from clay, cement, and wood aggregates, Cement and Concrete Research, Volume 28, Issue 8, August 1998, Pages 1179-1190

[29]A. Benazzouk, K. Mezreb, G. Doyen, A. Goullieux and M. Quéneudec, Effect of rubber aggregates on the physico-mechanical behaviour of cement–rubber composites-influence of the alveolar texture of rubber aggregates, Cement and Concrete Composites, Volume 25, pp.711-720, 2003

[30]K. Al Rim, A. Ledhem, O. Douzane, R. M. Dheilly and M. Queneudec, Influence of the proportion of wood on the thermal and mechanical performances of clay-cement-wood composites**,** Cement and Concrete Composites, Volume 21, Issue 4, August 1999, Pages 269-276

[31] 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.

[32]GUEZOULI .A, BENAISSA.A« LE POLYS BETO UN NOUVEAU MATERIAU DE CONSTRUCTION » Colloque CMEDIMAT 2005.

[33]S.H.Perry « Mix details and material behaviour of polystyrene aggregate concrete »1991

[34]R. Sri Ravindrarajah& A. J. Tuck «Properties of Hardened Concrete Containing Treated Expanded Polystyrene Beads» 1994

[35]J. BRU, P.BERG, « étude expérimentale de pieux en béton de sable forés à la tarière continue et armés après bétonnage » ; Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) ; N°195 janv.-févr. 1995.

[36]V. Ferrandiz-Mas, T. Bond b, E. Garcia-Alcocela, C.R. Cheesemanb**«Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash**» 2014

[37]AbdulkadirKan a,*, RamazanDemirbog˘a**«A novel material for lightweight concrete production**» 2009

[38] Nassima Sotehi «**Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation**» 2010

[39]C. Levy et P.Leboulicaut, le BHP livré par réseau de centrale de BPE. Les bétons à hautes performances, presses des ponts et chaussées, pp95-114 (1932).

[40]Ali A. Sayadi , Juan V. Tapia , Thomas R. Neitzert,G. Charles Clifton « Effects of expanded polystyrene (EPS) particles on fire resistance, thermal conductivity and compressive strength of foamed concrete » 2016

[41]M.R. Ali, M. Maslehuddin, M. Shameem, M.S. Barry « Thermal-resistant lightweight concrete with polyethylene beads as coarse aggregates » 2018

[42]D. SaradhiBabua,T, K. Ganesh Babub , « Properties of lightweight expanded polystyrene aggregate concretes containing fly ash » T.H. Wee 2005

[43]kouidri .A« Formulation et caractérisation des bétons de polystyrène » **thèse de Magister.**

[44] J.Astrand, L.Bessadi, E.Johansson, S.Laid, H.Teggour, N.Toumi, « Matériaux thermiquement isolant » CNERIB, et LCHS de l'université de Lund 1993

[45]V.S Ramachandran, Utilisation des déchets et sous-produits comme granulats du béton, CNRC construction, Juin 1981

[46] Benmalek. M.L., Derbala .R. « Elaboration et caractérisation d'un béton à base de sable dunaire et de sous–produits industriels »;université de Skikda et Guelma 2009

[47]Benaissa, A. ; MORLIER, P. ; TRAM, V. (oct. 1992) : " Le béton de sable, un matériau non fissurant"; Algérie-équipement, N°6, pp7-11

[48]Nassima Sotehi « Caractéristiques Thermiques des Parois des Bâtiments et Amélioration de L'isolation » 2010

[49]R.W.Steiger, M.K.Hurd, « Lightweight insulating concrete for floors and roof decks » The Aberdeen Group Michigan 1978.

[50]OuldKhaoua.Y « Formulation et caractérisation d'un béton de sable » 2014

[51]MEZIDI Omar, « Etude comparative des caractéristiques et du comportement d'un béton de sable de dunes et d'un béton ordinaire modifiés à la poudrette de caoutchouc», Mémoire De Magister, ENP, 2008.

[52]Neville, A., « Propriétés des bétons » Eyrolles, France, 2000.

[53]SAITI.I « Étude d'un procédé d'élaboration d'un béton léger cellulaire à base de sable de dune de la région de GHARDAIA » thèse de magister 2014

[54]Yamura, K., Yamauchi, M. « Use of polystyrene pieces for aggregate of concret »e; Proc. Annual conf. of Chugoku-Shikoku Branch of JSCE, Japan pp. 295- 29, (1982).

[55]Abdulkadir Kana, RamazanDemirbog, « A new technique of processing for waste-expanded polystyrene foams as aggregates » 2009

[56]M.R. Jones, A. McCarthy, « Preliminary views on the potential of foamed concrete as a structural materia »l, Mag. Concr. Res. 57 (2005) 21–31.

[57]Benmalek. M.L., Derbala .R. « Elaboration et caractérisation d'un béton à base de sable dunaire et de sous–produits industriels »;université de Skikda et Guelma 2009

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

[59]SKENDER Zakaria, « Durabilité du béton à base de sable de concassage », Mémoire de magister, ENP 2009.

[60]Hadjoudja «Contribution à l'étude physico-mécanique et durabilité du béton de sable de dunes-Influence du traitement de cure et de l'ajout des fillers » 2001

[61]ISO 834**ENV 206** « Concrete-performance, production, placing and compliance criteria »1989

[62]RebihZaitri, M. Bederina, F. Dif, Y. Guetaf « Etude de l'influence des fines calcaires sur le comportement du béton formulé à base des granulats recyclés » 2015

[63]J. BRU, P.BERG, « étude expérimentale de pieux en béton de sable forés à la tarière continue et armés après bétonnage » ; Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC) ; N°195 janv.-févr. 1995.

[64] K. Ramamurthy, E.K. KunhanandanNambiar, G. Siva Ranjani, « A classification of studies on properties of foam concrete, Cem. Concr. Compos ». 31 (6) (2009) 388–396.

[65]A.BACHABI « ETUDE DE LA POSSIBILITE D'UTILISATION DU BETON DE SABLE COMME REVETEMENT DE CHAUSSEES ». **2009**

[66]Bella Ilham Aguida,AsrounAissa « Influence des ajouts de type addition calcaire sur les caractéristiques mécaniques du béton de sable » Séminaire International, INNOVATION & VALORISATION EN GENIE CIVIL & MATERIAUX DE CONSTRUCTION. 2011

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

[68]GHRIEB.A, « étude d'un béton de sable de dune pour pistes aéronautiques », thèse de magister, ENP 2003.

[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]Belmecheri« Etude d'un composite à base de sable de dune, Ciment et granulats en billes de polystyrène expansé » Thèse de magister 2012

[71]Bonavetti, V. L., etIrassar, E., « The effect of stone dust content in sand » Cement And concrete Research, Vol 24, N°3, 1994, pp580-590.

[72]DREUX G. et FESTA J., « Nouveau guide du Béton et de ses constituants », Eyrolles Huitième édition, Paris 1998

[73]ACI 21 213R-87 « Guide for Structural Lightweight (Reapproved 1999) Aggregate concrete »

[74] Les normes algériennes

- NA 442 : Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants 2001
- NA 451 : Détermination de la teneur en eau pae séchage en étuve ventilée1998
- NA 2607-1990 : Granulats - Analyse granulométrique par tamisage1990

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

[76]: 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.

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

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

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

[80]: 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).

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

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

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

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

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

[86] 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.

[87]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) .

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

[89] 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

[90]AbdulkadirKan and RamazanDemirboğa. "Effect of cement and EPS beads ratios on compressive strength and density of lightweight concrete." (2007).

[91]Magdy. A. Abd-ElAziz, AhmedSeragFaried, and Mahmoud MA Kamel. "Influence of Silica Fume Incorporation on the Fresh, Thermal and Mechanical Properties of Expanded Polystyrene (EPS) Foamed Concrete." American Journal of Civil Engineering 5.3 (2017): 188.

[92]Rahmani, E., et al. "On the mechanical properties of concrete containing waste PET particles." Construction and Building Materials 47 (2013): 1302-1308.

[93]Saikia, Nabajyoti, and Jorge de Brito. "Mechanical properties and abrasion behaviour of concrete containing shredded PET bottle waste as a partial substitution of natural aggregate." Construction and building materials 52 (2014): 236-244.

[94]Allahvedi, Ali, Seyed Amin Azimi, and Mehdi Alibabaie. "Development of multi-strength grade green lightweight reactive powder concrete using expanded polystyrene beads." Construction and Building Materials 172 (2018): 457-467.

[95]CananTasdemir, OzkanSengul, and Mehmet Ali Tasdemir. "A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes." Energy and Buildings 151 (2017): 469-475.

[96]Sohel, K. M. A., et al. "Flexural fatigue behavior of ultra-lightweight cement composite and high strength lightweight aggregate concrete." Construction and Building Materials 173 (2018): 90-100.

[97]ImanNikbin. M, and Maryam Golshekan. "The effect of expanded polystyrene synthetic particles on the fracture parameters, brittleness and mechanical properties of concrete." Theoretical and Applied Fracture Mechanics 94 (2018): 160-172.

[98]ZaherKuhail, and Samir Shihada. "Mechanical properties of polystyrene-lightweight concrete." IUG Journal of Natural Studies 11.2 (2015).

[99]Ferrándiz-Mas, Verónica, et al. "Lightweight mortars containing expanded polystyrene and paper sludge ash." Construction and Building Materials 61 (2014): 285-292.

[100]Xuemei Liu, KokSeng Chia, and Min-Hong Zhang. "Water absorption, permeability, and resistance to chloride-ion penetration of lightweight aggregate concrete." Construction and building Materials 25.1 (2011): 335-343.

[101]ZaherKuhail, and Samir Shihada. "Mechanical properties of polystyrene-lightweight concrete." IUG Journal of Natural Studies 11.2 (2015).

[102]BenginHerki,. "Absorption Characteristics of Lightweight Concrete Containing Densified Polystyrene." Civil Engineering Journal 3.8 (2017): 594-609.

[103]R. Sri Ravindrarajah, and A. J. Tuck. "Properties of hardened concrete containing treated expanded polystyrene beads." Cement and Concrete Composites 16.4 (1994): 273-277 *

[104]W. C.Tang, Y. Lo, and A. B. I. D. Nadeem. "Mechanical and drying shrinkage properties of structural-graded polystyrene aggregate concrete." Cement and Concrete Composites 30.5 (2008): 403-409.

[105]RamazanDemirbog, and Abdulkadir Kan. "Thermal conductivity and shrinkage properties of modified waste polystyrene aggregate concretes." Construction and Building Materials 35 (2012): 730-734.

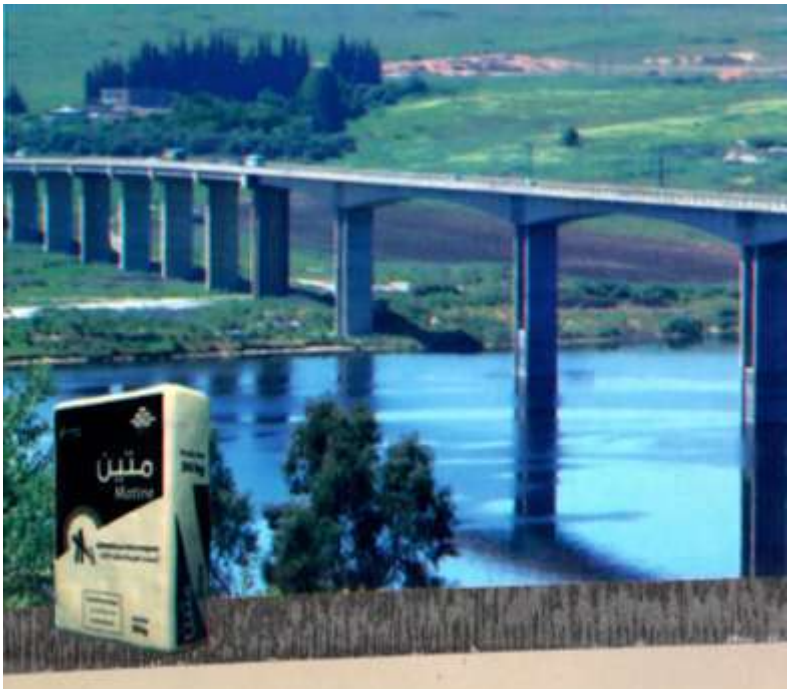
[106]Neville, Adam M. Properties of concrete. Vol. 4. London: Longman, 1995.

[107]ASTM C1363, Standard Test Method for Thermal Performance of BuildingMaterials and Envelope Assemblies by Means of a Hot Box Apparatus, 2005,

[108]K. Kaviany, Principles of Heat Transfer in Porous Media (MechanicalEngineering Series), Springer, Berlin, 1995

ANNEXES

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.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 42.5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

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

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

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

Domaine d'utilisation :

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

Les principales applications de ce ciment sont :

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

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

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

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.
- 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 :

- longue rhéologie (>2h),
- robustesse à la ségrégation,
- qualité de parement.

RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
5	3	4

Agréments, essais de laboratoire

- PV CNERIB : DTEM : 108/2017.

Caractéristiques

Aspect

Liquide brun clair

Conditionnement

- Fûts de 230 kg
- CP de 1000 L
- Vrac

Stockage

Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C.
SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine.
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 C :déférence entre béton ordinaire et béton de sable



Béton Ordinaire



Béton De Sable