

الجمهورية الجزائرية الديمقراطية الشعبية
وزارة التعليم العالي والبحث العلمي

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA
BADJI MOKHTAR – ANNABA UNIVERSITY



جامعة باجي مختار – عنابة

Faculté : Science de l'ingénierie

Département : Génie civil

Domaine : Science et techniques

Filière : Génie civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème :

**CARACTÉRISATION DES DIFFERENTS TYPES DE BÉTON À BASE D'ARGILE
EXPANSÉE**

Présenté par : *BENAMOR Ilyes*

MANSRI Sourour Tehnane

Jury de Soutenance :

BEHIM Mourad	Pr	UBM ANNABA	Président
KHELIFI Walid	MCB	UBM ANNABA	Encadrant
ALI BOUCETTA Taher	MCA	UBM ANNABA	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

REMERCIEMENTS

Nous tenons tout d'abord à remercier Dieu le tout puissant et miséricordieux, qui nous a donné la force et la patience d'accomplir ce Modeste travail.

En second lieu, nous tenons à remercier notre encadreur Dr : ***KHELIFI Walid***, Son précieux conseil et son aide durant toute la période du travail.

Nos vifs remerciements vont également aux membres du jury Le Professeur. ***BEHIM Mourad*** et le Docteur. ***ALI BOUCETTA Taher***, pour l'intérêt qu'ils ont porté à notre recherche en acceptant d'examiner notre travail Et de l'enrichir par leurs propositions.

Enfin, nous tenons également à remercier toutes les personnes qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce travail.

Merci à tous et à toutes.

ملخص

الخرسانة هي المادة الأكثر استخدامًا في صناعة البناء، وتخصص هذه الرسالة لدراسة التركيب والتوصيف الفيزيائي والميكانيكي للخرسانة النموذجية (عادية وعالية الأداء) على أساس الركام خفيف الوزن.

تعمل هذه الركام الخفيف الذي يمكن استبداله في الخرسانة على تحسين خواصه الفيزيائية الميكانيكية.

تحتوي التركيبات الخرسانية على خلطات مختلفة من الخرسانة: الخرسانة العادية القائمة على الطين الممتد والخرسانة عالية الأداء القائمة على الطين الممتد.

أظهرت نتائج الدراسة ما يلي: زيادة امتصاص الماء للركام الخفيف لأن هياكل الطين الممتد مسامية.

الخرسانة القائمة على ركام الطين الممتد كبديل للركام الطبيعي لها كثافة منخفضة وقوة ميكانيكية مقبولة

الكلمات المفتاحية: الخرسانة خفيفة الوزن، الخرسانة العادية، الطين الموسع، خرسانة عالية الأداء، الخواص الفيزيوميكانكية.

RÉSUMÉ

Le béton est le matériau le plus utilisé dans le domaine de construction .ce mémoire est consacré à l'étude de la formulation et de la caractérisation physique et mécanique des différents types du béton (ordinaire et à haute performance) à base des granulats léger.

Ces granulats légers qui peuvent substituer dans les bétons c'est pour améliorer ses propriétés physico- mécaniques

Les formulations des bétons contiennent des différents mélanges du béton : de béton ordinaire à base d'argile expansé et du béton à haute performance à base d'argile expansé.

Les résultats de l'étude ont montré que : l'augmentation de l'absorption d'eau des granulats légers car la structures d'argile expansé est poreuse.

Les bétons à base des granulats d'argile expansée en substitutions des granulats naturelles est de faible masse volumique et de résistances mécaniques acceptables.

Mots clés : Béton légers ; Béton ordinaire ; Argile expansée ; Béton Haute Performance ; Propriétés Physico-mécaniques.

ABSTRACT

Concrete is the most widely used material in the construction industry. This thesis is devoted to the study of the formulation and physical and mechanical characterization of typical deferens of concrete (ordinary and high performance) based on lightweight aggregates.

These light aggregates, which can be substituted in concrete, are to improve its physico-mechanical properties

Concrete formulations contain different mixtures of concrete: ordinary concrete based on expanded clay and high performance concrete based on expanded clay.

The results of the study showed that: increased water absorption of lightweight aggregates because the structures of expanded clay are porous.

Concretes based on expanded clay aggregates as substitutions for natural aggregates have low density and acceptable mechanical strengths.

Keywords: Lightweight concrete: ordinary concrete; expanded clay; physio-mechanical properties.

Sommaire

RESUME

ABSTRACT

ملخص

SOMMAIRE

LISTE DES FIGURES

LISTE DES TABLEAUX

INTRODUCTION GENERALE

Chapitre I : Synthèse bibliographique

INTRODUCTION.....	3
I.1.Historique du béton.....	3
I.2.Généralité.....	4
I.3.Classification des bétons.....	5
I.4.Constituants du béton.....	7
I.4.1. Ciment.....	7
I.4.2. Sable.....	8
I.4.3. Gravier	10
I.4.4. Eau de gâchage.....	11
I.5. Différents types de béton.....	12
I.5.1. Béton ordinaire.....	13
I.5.1.1.Définition du béton ordinaire	13
I.5.1.2.Propriétés du béton ordinaire	13
I.5.1.3.Principaux avantages et inconvénients du béton ordinaire.....	15
I.5.1.4. Domaines d'emploi du béton	16
I.5.2. béton à haute performance.....	17
I.5.2.1. Définition du béton à haute performance.....	17
I.5.2.2. Caractéristiques mécaniques.....	17
I.5.2.3. caractéristique physique.....	18
I.5.2.4. Domaine d'utilisation du béton à haute performance 'BHP'	22
I.5.2.5. Avantages du béton à haute performance.....	22
I.5.3. Béton léger.....	23

I.5.3.1. Définition béton léger	23
I.5.3.2. Type des bétons légers	24

ChapitreII : Caractérisation des matériaux et procédures expérimentales

INTRODUCTION.....	35
II.1Présentation des matériaux.....	35
II.1.1liant.....	35
II.1.1.1 ciment.....	35
II.1.1.2 laitier granulé.....	36
II.1.1.3.L’adjuvant.....	37
II.1.1.4.L’eau de gâchage.....	37
II.1.2Granulats (Sable et gravillon).....	37
II.1.2.1.Le sable.....	37
II.1.2.2Le gravier.....	38
II.2.Essais de caractérisation.....	39
II.2.1.L’analyse granulométrique [NF P 18-560].....	39
II.2.2.Module de finesse [XP P18-540].....	40
II.2.3.Mesure de la propreté (l’essai d’équivalent des sable).....	40
II.2.4.La masse volumique.....	42
II.2.4.1. La masse volumique apparente (NF EN1097-3).....	42
II.2.4.2La masse volumique absolue [NF EN 1097-3].....	42
II.2.5. L’essai Los Angeles [NF P 18-573].....	43
II.2.6.Essai d’usure micro-deval [NF P18-572].....	44
II.2.7. Essai de l’absorption d’eau [NF P18-555].....	45
II.2.8.Essai de la teneur en eau [NF P18-554].....	45
II.3.Résultats.....	46
II.3.1. Caractéristiques physico-mécaniques des agrégats utilisés.....	46
II.3.2. L’analyse granulométrique des agrégats.....	47
II.4. Formulation des bétons.....	49
II.4.1.Formulation du béton ordinaire par la méthode de Dreux-Gorisse.....	49
II.4.1.1.Données de base.....	50
II.4.1.2. Étapes de calcul.....	50
II.4.1.3.La composition des bétons.....	52

II.4.2. Formulation du béton à haute performance (BHP).....	55
II.4.2.1. données de base.....	56
II.4.2.2. Étapes de calcul.....	56
II.4.2.3. La composition des bétons.....	58
II.5. Fabrication et mise en place et conservation.....	62
II.5.1. Le malaxage.....	62
II.5.2. Choix des éprouvettes et coulage des bétons.....	63
II.5.3. Vibration [NF P18 421].....	63
II.5.4. Démoulage et conservation [NF EN 12390-2].....	64
II.6. Descriptions des essais sur le béton.....	64
II.6.1. Les essais sur le béton frais.....	64
II.6.1.1 Essai d'affaissement [NF EN 12350-2].....	64
II.6.1.2. Masse volumique du béton frais [NF EN 12 350-6].....	65
II.6.2 les essais sur le béton durci.....	66
II.6.2.1. Masse volumique du béton durci [NF EN 12 390-7].....	66
II.6.2.2. L'essai de résistance à la compression [NF EN 12390-3].....	67
CONCLUSION.....	68

Chapitre III : Résultats et discussions

INTRODUCTION.....	70
III.1. Propriétés des bétons à l'état frais.....	70
III.1.1. Ouvrabilité des bétons.....	70
III.1.2. Masse volumique des bétons à l'état frais.....	72
III.2. Propriétés des bétons à l'état durci.....	74
III.2.1. Masse volumique des bétons à l'état durci.....	74
III.2.2. Capacité d'absorption d'eau.....	75
III.2.3. Résistance en compression.....	76
CONCLUSION.....	79

- **Chapitre I**

Tableau I.1: Teneur des constituants du béton en poids et en volume.....	4
Tableau I. 2 : Différents types de béton et leurs avantages	12
Tableau I.3: Les propriétés comparées des bétons cellulaires.....	25
Tableau I.4 : caractéristiques de béton léger caverneux.....	26
Tableau I.6 : caractéristiques de béton de granulats léger.....	27

- **Chapitre II**

Tableau II 1. Caractéristique physique et chimique du ciment selon la fiche technique.....	35
Tableau II.2: Caractéristiques mécaniques du ciment selon la fiche technique.....	36
Tableau II.3. Composition chimique du laitier D'El-Hadjar(Annaba).....	37
Tableau II. 4. Valeurs préconisées pour le module de finesses.....	40
Tableau II. 05. Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.....	41
Tableau II. 06. Catégories des granulats selon la résistance au choc et à l'usure.....	45
Tableau II.07. Caractéristique des granulats.....	47
Tableau II.8 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de rivière utilisé.....	47
Tableau II.9. Résultats de l'analyse granulométrique du sable d'argile expansée.....	48
Tableau II.10. L'analyse granulométrique du gravier 3/8.....	48
Tableau II.11. L'analyse granulométrique du gravier 8/16.....	48
Tableau II.12. L'analyse granulométrique du gravier 16/25.....	48
Tableau II.13. Les pourcentages des granulats.....	54
Tableau II.14 composition des constituants pour chaque substitution.....	55
Tableau II.15. La formulation des bétons ordinaires.....	55
Tableau II.16. Les pourcentages des granulats.....	60
Tableau II.17 dosages des constituants pour chaque substitution.....	61
Tableau II.18. La formulation des bétons.....	61
Tableau II.19: Classe de consistance en fonction d'affaissement.....	65

LISTES DES FIGURES

- **Chapitre I**

Figure I. 1. les constituants de béton.....	4
Figure I. 2. Porosité des bétons ordinaires et des BHP.....	20
Figure I.3. Classification des bétons légers.....	24
Figure I.4. représentation schismatique des différents types de béton léger.....	25
Figure I.5. Béton cellulaire.....	25
Figure I.6. Béton de granulats léger.....	27
Figure I.7. Béton de perlite expansé.....	28
Figure I.8. Béton de perles de polystyrène.....	28
Figure I.9. Béton d'argile expansé.....	29
Figure I.10. Argile expansée.....	30
Figure I.11. Courbe représentative de variation de température en fonction du temps suivi des phénomènes présents.....	31
Figure I.12. Tamisage et stockage d'argile expansée.....	32

- **Chapitre II**

Figure II.1 : Ciment utilisé.....	36
Figure II.2. Les deux types de sable (sable naturel-sable d'argile expansée).....	38
Figure II.3. Les types de gravier utilisée.....	38
FigureII.4. Granulats naturelles.....	39
Figure II.05. Tamis d'analyse granulométrique.....	40
Figure II 06. Equivalent de sable.....	41
Figure II.07. Essai de La masse volumique apparente.....	42
Figure II.08. Essai de La masse volumique absolue.....	43
Figure II.09 : La machine de Los Angeles.....	43

Figure II.10. Dispositif de l'essai de micro-Deval.....	44
Figure II.11. Courbe granulométrique des différents types de sables.....	49
Figure II.12. Courbe granulométrique des différents types de gravier.....	49
Figure. II.13 Abaque de détermination du ciment	51
Figure. II.14 courbe de référence du béton ordinaire témoin a base des granulats naturels...	52
Figure II.15 courbe de référence du béton ordinaire à base du sable d'argile expansée et graviers naturels	53
Figure II.16 courbe de référence du béton ordinaire à base du sable naturel et graviers d'argile expansée.....	53
Figure. II.17 courbe de référence du béton ordinaire à base des granulats d'argile expansée.....	54
Figure II.18. Relation entre le rapport eau/liant et la résistance à la compression.....	56
Figure II.19 Détermination du dosage en eau.....	56
Figure. II.20 courbe de référence du BHP témoin a base des granulats naturels.....	58
Figure. II.21 courbe de référence du BHP à base de sable d'argile expansée et graviers naturels.....	59
Figure II.22 courbe de référence du BHP à base de sable naturel et graviers d'argile expansée.....	59
Figure. II.23 courbe de référence du BHP à base des granulats d'argile expansée.....	60
Figure II.24 : Bétonnière utilisée pour le malaxage des composants.....	62
Figure II.25: Moules cubiques.....	63
Figure II.26: Eprouvette sur la table vibrante.....	64
Figure : II.27. Démoulage et conservation.....	64
Figure II.28 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.....	65

Figure II.29: mesure de la masse volumique à l'état frais.....66

Figure II.30: mesure de la masse volumique à l'état durci.....67

Figure II.31: Essai de compression.....67

- **Chapitre III**

Figure III.1Résultats d'affaissements des bétons ordinaires.....71

Figure III.2Résultats d'affaissements des bétons a haute performances.....72

Figure III.3.La masse volumique à l'état frais des bétons ordinaire.....73

Figure III.4.La masse volumique à l'état frais des bétons à haute performance.....73.

Figure III.5.La masse volumique à l'état durci des bétons ordinaire.....74

Figure III.6.La masse volumique à l'état durci des bétons à haute performance.....75

Figure III.7.Taux d'absorption d'eau des bétons ordinaire et à haute performances....76

Figure III.8.Résistance à la compression des bétons ordinaire.....77

Figure III.9.Résistance à la compression des bétons à haute performance.....78

NOMENCLATURE

Formule	Éléments
BO :	Béton ordinaire
BOI :	Béton ordinaire à base des granulats naturels.
BOII :	Béton : ordinaire à base sable d'argile expansée et gravier naturel.
BOIII :	Béton ordinaire à base de sable naturel et gravier d'argile expansée.
BOIV :	Béton ordinaire à base des granulats d'argile expansée.
BHP :	Béton à haute performance
BHP I :	Béton à haute performance à base des granulats naturels.
BHP II :	Béton à haute performance à base sable d'argile expansée et gravier naturel.
BHP III :	Béton à haute performance à base de sable naturel et gravier d'argile expansée.
BHP IV :	Béton à haute performance à base des granulats d'argile expansée.
SN :	sable naturel
S EX :	sable expansé
GN 3/8:	gravier naturel 3/8
GN8/16:	gravier naturel 8/16
GN16/25:	gravier naturel 16/25
GEX 3/8:	gravier d'argile expansé 3/8
GEX 8/16:	gravier d'argile expansé 8/16
GEX 16/25:	gravier d'argile expansé 16/25

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton, depuis longtemps, a trouvé sa place d'application dans les différents types de construction. Il est constitué de ciment, d'eau, de gravier et parfois d'adjuvant. On peut adapter son dosage et ses constituants en fonction des performances et des usages recherchées. On note des différents types de bétons parmi lesquels on a les bétons légers plus particulièrement les bétons à granulats légers qui constituent l'objet de notre étude.

Les bétons légers sont utilisés depuis de nombreuses années. A tel point que la première construction connue a été édifiée plus de 2000 ans en à partir de roches volcaniques, ils ont une faible masse volumique, une faible conductivité thermique et une bonne isolation acoustique par rapport aux bétons ordinaires. Par conséquent, ils peuvent apporter une solution technique très intéressante au problème d'isolation thermique et acoustique dans les bâtiments. Ces bétons sont réalisés en employant des granulats légers, l'aération ou le gaz, ou en faisant une réduction de la partie fine du granulats. Dans chacun de ces cas, l'augmentation des vides d'air dans le béton conduit à une réduction de la densité du béton.

Le béton à granulats légers est un des types de bétons légers. Il est utilisé pour alléger les éléments non porteurs d'une construction et en particuliers les différents murs.

Ce thème a été donc choisi dans le but de faire une étude comparative sur les caractéristiques physico-mécaniques des différents types de béton (ordinaire et à haute performance) à base d'argile expansée.

Ce manuscrit s'articule autour de trois chapitres :

- Le premier chapitre : présente une synthèse bibliographique, les différents types des bétons et les granulats légers naturels et artificiels leurs caractéristiques et leurs utilisations, en particulier les granulats d'argile expansée.
- Le deuxième chapitre : présente les matériaux utilisés dans ce travail, ainsi que les différentes méthodes de caractérisation mécaniques et physiques selon les normes, après avoir trouvé toutes les formulations, nous avons fait une substitution des granulats

INTRODUCTION GENERALE

naturels par les granulats d'argile expansée dans le but de voir leurs influences sur les bétons élaborés.

- Le troisième chapitre : a été consacré sur l'étude des propriétés physico- mécaniques des bétons à base d'argile expansé pour avoir l'interprétation des résultats des essais réalisés: la densité à l'état frais et durci, l'absorption d'eau et la résistance à la compression, sur des éprouvettes cubiques pour comprendre leur comportement physico- mécaniques.

Enfin, une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenues de cette étude et des perspectives pour les recherches à venir.

INTRODUCTION

Le béton est un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats naturels (sable, gravillons) ou artificiels (granulats légers) agglomérés par un liant. Ce liant est appelé couramment ciment ; on obtient dans ce cas un béton de ciment un des plus souvent utilisés. Mais son poids pose de nombreux problèmes, du fait des granulats a grande densité, pour les éviter, des granulats légers ont été inventés qui peuvent remplacer les granulats ordinaires dans le béton traditionnel et lui donner de la légèreté et de résistance mécanique.

L'argile expansée est utilisée depuis de nombreuses années, sous forme de granulats légers, dans les activités du bâtiment et des travaux publics (BTP), notamment pour l'allègement des bétons. On situe la découverte de l'argile expansée vers 1885, mais c'est seulement en 1917 qu'est apparue la première industrielle de fabrication de ce matériau utilisant un four rotatif comme four d'expansion réalisé par Stephen HAYDE. [1]

Ce matériau offre de nombreux avantages : il est naturel, solide, isolant, régulier, incombustible, facile à mettre en œuvre, stable et chimiquement inerte. [1]

I.1.Historique du béton

Le béton est un composite qui résulte d'un mélange intime de ciment, de granulats, d'eau et parfois, d'ajouts minéraux et de faible quantité d'adjuvant. Ces constituants sont dosés de manière à obtenir, après le durcissement, un produit solide dont les capacités de résistance dépassent celles des meilleures roches naturelles. Cette roche artificielle résiste bien à la compression et mal à la traction, C'est pourquoi son utilisation ne s'est véritablement développée qu'avec l'invention du béton armé en 1784, ce qui permit de compenser son insuffisance de résistance à la traction.

En 1930, un pas conceptuel important est alors franchi avec l'invention du béton précontraint qui permet la distribution des contraintes dans la matière, qui donnent une grande résistance à la compression, tout en évitant les inconvénients dus à sa faible résistance à la traction.

Depuis 1970, des recherches menées sur le béton, et particulièrement sur ses constituants actifs conduisent à un nouveau bond qualitatif et quantitatif de ses propriétés, tels que les bétons à hautes performances dont la résistance à la compression atteint 100 MPA. Ce béton fabriqué est mis en place en 1980. Par la suite, des bétons de poudres réactives qui sont utilisées pour la 1ere fois lors de la construction de la passerelle de SHERBROOK avec des bétons de 400 MPA, sont fabriqués par un traitement thermique et mécanique approprié et simple. Ensuite, Pierre RICHARD a pu fabriquer un béton de 800 MPA en utilisant une poudre métallique. En 1986, des

chercheurs Japonais ont pour la première fois fabriquée le béton auto plaçant ou le béton auto nivelant. Le béton, mélange de plusieurs constituants très différents, dont les uns sont actifs et les autres sont inertes, présente des caractéristiques qui sont fonctions de celles de ses composants [2]

I.2.Généralité

Le béton est un matériau composite aggloméré constitué de granulats durs de diverses dimensions collées entre eux par un liant. Dans les bétons courants, les granulats sont des grains de pierre, sable, gravier, cailloux et le liant est un ciment, généralement, un ciment portland. Les composants sont très différents : leur masse volumique vont, dans les bétons courants de 1 (eau) à 3 (ciment) t/m³. Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, selon le liant utilisé, de béton de résine, de béton d'hydrocarboné, de béton d'argile, etc.

Dans le béton où une très grande compacité est recherchée (béton BHP par exemple), la dimension des éléments les plus fins peut descendre en dessous de 0,1 mm (fillers, fumée de silice).

De même les granulats très légers ont des masses volumiques inférieures à 100 kg/m³. Ordre de grandeur des proportions des constituants d'un béton courant, présentés dans le tableau ci-dessous. [3]

Tableau I.1. Teneur des constituants du béton en poids et en volume

Constituants	Eau	Ciment	Granulats
Volume (%)	14 – 22	7 – 14	60 - 78
Poids (%)	5 – 9	9 – 18	63 - 85

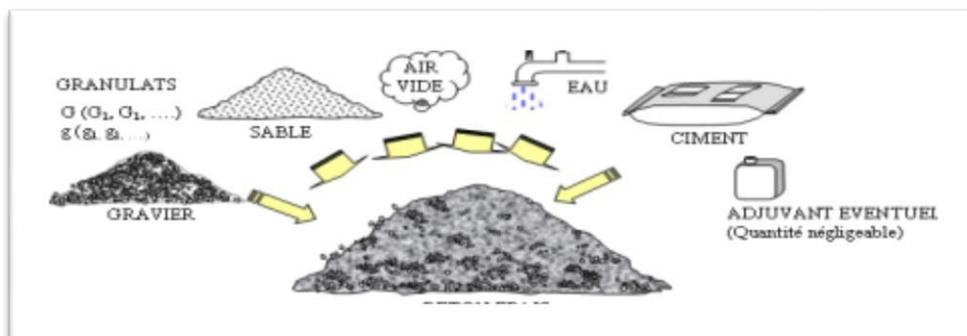


Figure I.01. Les constituants de béton.

Toutes les opérations de mise en œuvre (Formulation, préparation du béton frais, transport et mise en place) sont importantes si on veut obtenir un béton dense et qualité homogène.

Pour être durable, un béton doit :

- Être bien composé ;
- correctement mis en œuvre ;
- protégé des causes possibles d'altération par des dispositions constructives adéquates.

I.3. Classification des bétons [4]

Le béton fait partie de notre cadre de vie. Il a mérité sa place par sa caractéristique de résistance, ses propriétés en matière thermique, sa résistance au feu, son isolation phonique, son aptitude au vieillissement, ainsi que par la diversité qu'il permet dans les formes, les couleurs et les aspects. Le béton utilisé dans le bâtiment, ainsi que dans les travaux publics comprend plusieurs catégories.

En général, le béton peut être classé en 4 groupes, selon la masse volumique :

- Béton très lourd : $> 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton lourd (béton courant) : $1800 - 2500 \text{ kg/m}^3$;
- Béton léger : $500 - 1800 \text{ kg/m}^3$;
- Béton très léger : $< 500 \text{ kg/m}^3$.

Le béton courant peut aussi être classé en fonction de la nature des liants :

- Béton de ciment (le ciment) ;
- Béton silicate (la chaux) ;
- Béton de gypse (le gypse) ;
- Béton asphalte ou bitumineux (bitume).

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect.

- a) Les bétons courants sont les plus utilisés, aussi bien dans le bâtiment que dans les travaux publics. Ils présentent une masse volumique de 2003 kg/m³ environ. Ils peuvent être armés ou non, et lorsqu'ils sont très sollicités en flexion, précontraints.
- b) Les bétons lourds dont les masses volumiques peuvent atteindre 6000 kg/m³ servent, entre autres, pour la protection contre les rayons radioactifs.
- c) Les bétons de granulats légers dont la résistance peut être élevée, sont employés dans le bâtiment, pour les plates-formes offshore ou les ponts.
- d) Les bétons cellulaires (bétons très légers) dont les masses volumiques sont inférieures de 500 kg/m³, sont utilisés dans le bâtiment, pour répondre aux problèmes d'isolation.
- e) Les bétons de fibrés, plus récents, correspondent à des usages très variés : dallages, éléments décoratifs, mobilier urbain.

Le béton est composé de granulats, de ciment, d'eau et, éventuellement, d'adjuvants. Parmi les quatre constituants, les granulats jouent un rôle important, d'une part, car ils forment le squelette et présentent, dans les cas usuels, environ 80 % du poids total du béton et d'autre part car, au point de vue économique, ils permettent de diminuer la quantité de liant qui est le plus cher. En plus, du point de vue technique, ils augmentent la stabilité dimensionnelle (retrait, fluage) et ils sont plus résistants que la pâte de ciment.

Les granulats utilisés dans les travaux de génie civil doivent répondre à des impératifs de qualité et des caractéristiques propres à chaque usage.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement, une certaine résistance à la compression ;
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisées sur le chantier ;
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important ;

- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- Minimum de vides internes, déterminant une résistance élevée ;
- Bonne étanchéité améliorant la durabilité ;
- Résistance chimique ;
- Résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Sur un petit chantier où l'on fabrique artisanalement et souvent bien son béton l'on utilise le vieux principe : 2/3 de gros éléments et 1/3 d'éléments fins, soit 800 litres de gravillons et 400 litres de sable par mètre cube de béton pour 350 à 400 kg de ciment. La quantité d'eau de gâchage varie trop souvent au gré du savoir-faire du maçon, la nature de ciment, l'humidité du granulat passant après la consistance du béton à obtenir.

La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés. [4]

I.4. Constituants du béton

I.4.1. Ciment

Définition

- Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un des hydro silicates. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau. • ABC du ciment et du béton, [5]
- **Constituants des liants hydrauliques** Les liants hydrauliques sont constitués de sels minéraux anhydres instables, en particulier des silicates et aluminates de calcium qui forment avec l'eau une pâte capable de faire prise et de durcir. Progressivement plus ou moins rapidement, d'où le nom de liants hydrauliques avec les liants aériens, à base de chaux grasse et maigre qui ne peuvent durcir qu'au contact de l'air. [6]
- **Ciment Portland (Aussi appelé clinker Portland)**

Il s'agit d'un mélange, finement moulu de roche calcaire(craie) et de schiste (argile) , homogénéisé, séché, décarbonaté puis fondu partiellement(1500°C) dans un four rotatif. Ensuite ce mélange est refroidi rapidement et enfin broyé. Le clinker est finement broyé pour donner un ciment. Ce broyage s'effectue dans des broyeurs à boulets, gros cylindres chargés de boulets d'acier et mis en rotation. Lors de cette étape, le gypse (3 à 5%), indispensable à la régulation de prise du ciment, est ajouté au clinker. On obtient alors le ciment. Les matières premières (calcaire, argile) sont obtenus à partir de carrières naturelles à ciel ouvert. Ils sont extraits des parois.

Rocheuses par abattage à l'explosif ou à la pelle mécanique. C'est la raison pour laquelle les cimenteries sont situées près des carrières de calcaire. [7]

➤ **Autres types de ciment**

Au clinker Portland peuvent être additionnés un ou plusieurs ajouts suivants :

- laitier de haut-fourneau : produit granulé qui est obtenu par le refroidissement brusque de la gangue en fusion des hauts fourneaux. Constituant à hydraulicité latente, c.-à-d. que l'hydratation doit être activée. Le rôle de démarreur est joué par le clinker Portland.
- cendre volante : réagit avec la chaux libérée par l'hydratation du clinker.
- calcaire : constituant inerte. Intervient physiquement comme plastifiant dans le béton frais. [8]

I.4.2. Le Sable

❖ Définition

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80µm et 05µm ; il s'agit d'une définition globale dont les bornes varient d'une classification à une autre, ce 'est un matériau dont le diamètre maximal est inférieur à 6.3mm et dont le passant à 80µm n'excède pas 30%

Dans le sens le plus courant, on entend par « sable » les éléments de dimension 0 à 5mm.les fines.

❖ Origine des sables

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des rochers, suivie par un processus de transport qui est à l'origine de leurs

caractéristiques physico-chimiques ; les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe

D'érosion et de sédimentation. Ils comportent, à des degrés divers une décomposition sur place, des différentes roches, suivie d'un transport fluvial et parfois éolien.

➤ **Différents types de sables**

• **Sable d'origine naturelle**

Le sable est une roche sédimentaire, constituée principalement de quartz, provenant de la désagrégation des roches sous l'action de divers agents d'érosion et de cours d'eau les plus gros grains de sable se retrouvent ainsi le long des cours d'eau, aux bords des mers, ou dans les régions désertiques. En milieu fluvial, les grains s'usent peu et restent donc gros et anguleux. En milieu continental, l'usure des grains de sable par le vent et l'eau entraîne une modification de leur forme (ou morphologie) au cours des temps géologiques : les grains de sable usés deviennent émoussés et luisants (milieu littoral), ou l'altération des roches riches en quartz (granites, gneiss) sous l'action de processus physiques (vent, eaux courantes) ou chimiques (action dissolvante de l'eau).

Les grains de sable qui se forment sont généralement gros et anguleux, difficilement transportables par le vent et les ronds et mats (milieu éolien). En s'arrondissant, les grains deviennent plus petits. Les sables peuvent également se consolider et se cimenter ultérieurement pour donner naissance à des grès (grès quartzeux, grès calcaires). Ce type de sables est principalement constitué de quartz (silice), avec de faibles proportions de mica, de feldspath et de magnétite. La couleur du sable est d'autant plus que la teneur en silice est élevée. Les sables sont toujours définis en fonction des constituants majoritaires : on parle ainsi de sables quartzeux, feldspathiques, ferrugineux, micacé, calcaire, ou encore de sable coquillier. Toutefois, dans le langage courant, le sable est généralement associé au sable quartzeux.

• **Sables non alluvionnaires (sable de dune)**

Il s'agit essentiellement de sables anciens, c'est -à-dire de dépôts détritiques déposés à des périodes géologiques variées, à des distances plus ou moins grandes des rivages. En fonction des conditions paléogéographiques, ces dépôts ont été plus ou moins brassés par les courants et recouverts par d'autres formations sédimentaires et se retrouvent actuellement émergés sur des étendues variables et des épaisseurs également très diverses. De façon générale, ces dépôts

constituent cependant des gisements beaucoup plus étendus et généralement plus épais que les dépôts alluviaux.

La pluparts de ces sables ont actuellement des utilisations soit limitées (essentiellement remblais et couchers de forme, parfois granulats pour couche de fondation), soit très spécialisées (sables de verrerie et de fonderie, béton de type cellulaire).

- **Sables d'origine artificielle**

Provient de concassage des roches naturelles comme le calcaire, ou artificielle (pouzzolane) ; dit aussi sable concassés, caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant.

Ce sont des matériaux produits dans une chaîne d'élaboration de granulats, et qui peuvent se trouver en excédent pour la production recherchée (gravier ou gravillon), ils peuvent être soit :

Des sables roules de dessablage qui résultent du criblage primaire d'un tout-venant

Des sables de concassage qui sont très souvent l'excédent de la production d'une carrière ou d'une ballastière caractérisées par une meilleure adhérence agrégat/liant. [9]

I.4.3. Le Gravier

❖ Définition

Les graviers ont des origines semblables à celles des sables, ils proviennent de la désagrégation des roches. La dimension maximale des agrégats est conditionnée, d'une part, par la distance minimale à réaliser et, d'autre part, de la distance minimale entre les différents armatures de l'ouvrage. La fraction 3/8 est considérée comme sable concassé. [10]

- **Coefficient de compacité**

Le Coefficient de compacité est le rapport de volumes absolus des matières solides

$$V_m = V_s + V_c + V_g$$

Au volume total du béton frais en œuvre soit un m³.

Coefficient de compacité = V_m (entres)/1000.

- **Essais de dureté (Los Angeles)**

L'essai Los Angeles est un essai très fiable et de très courte durée ; il nous permet d'évaluer la qualité du matériau.

- a) **Principe de l'essai Essai Los Angeles**

L'*essai Los Angeles* consiste à mesurer la quantité d'éléments inférieurs à 1,6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs de boulets normalisés dans la machine Los Angeles.

- b) **But de l'essai Essai Los Angeles**

L'*essai Essai Los Angeles* a pour but de déterminer la résistance à la fragmentation par choc et la résistance obtenue par frottement des granulats.

- c) **Domaine d'application Essai Los Angeles**

L'essai *Los Angeles* s'applique aux granulats d'origine naturelle ou artificielle utilisés dans le domaine des travaux publics (assises de chaussées y compris les couches de roulement).

I.4.4. Eau de gâchage

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF P 18-303 DE 1941. Une prochaine norme (dont le numéro pourrait être EN1008), en cours de préparation, précisera les critères d'évaluation retenus pour de son aptitude à être utilisée pour la confiance des bétons.

L'ancienne norme étant très sommaire, les indications qui suivent donnent des précisions sur les critères qui pourraient être retenus, pour définir la qualité d'une eau et les valeurs limitées à respecter suivant les types du béton à confectionner.

Pour convenir à la confection du béton, les eaux ne doivent contenir :

Composés qui risquent d'attaquer chimiquement le ciment, les granulats ou les armatures, ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originales. La norme (P18-

303) limite, à cet effet, le pourcentage de matières en suspension a 2 ou 5g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30m/l suivant la nature du béton, précontraint ou non armé.

Dans la catégorie des eaux susceptibles de convenir à la confection de béton, on trouve :

- Les eaux potables (qui, bien évidemment, conviennent) ;
- Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonniers ou des camions malaxeurs à condition de vérifier aptitude dans le cas de changement de ciment ou adjuvant d'une gâche a l'Aure, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant, des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation ;
- Les eaux de pluie et ruissellement, les eaux pompées, tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également.

A côté, les catégories d'eaux devant pas être utilisées comprennent :

- Les eaux usées ; les eaux vannent ou contenant des détergents ;
- Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques ;

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur nocivité avant l'emploi.

La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraint, mais les spécifiques du fascicule 65A sont rigoureux et interdisent formellement l'emploi lors du gâchage, bien que l'eau de mer pour le gâchage de béton non armés ne présent pas de risque à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, peuvent apparaître sur les parements. [11]

I.5. Différents types de béton [12]

Il existe une grande variété de bétons permettant de réaliser un projet de construction. Voici un tableau synthétique ainsi qu'une liste de différents bétons utilisables sur chantier.

Type de béton	Avantages
Béton léger	<ul style="list-style-type: none"> • Malléable et léger • Résistant aux chocs
Béton lourd	<ul style="list-style-type: none"> • Répond à des normes de sécurité très strictes • Dispose de granulats très lourds

Béton armé	<ul style="list-style-type: none"> • Fondations renforcées par l'acier • Risque de fissuration du béton limité • Béton très adapté en utilisation avec un coffrage
Béton auto plaçant	<ul style="list-style-type: none"> • Extrêmement fluide • Mise en œuvre sans vibration pour un gain de temps conséquent • Béton très adapté en utilisation avec un coffrage
Béton fibré	<ul style="list-style-type: none"> • Renforcement général de la fondation • Risque de fissuration du béton limité
Béton prêt à l'emploi	<ul style="list-style-type: none"> • Gain de temps conséquent • Transféré et livré sur chantier
Béton précontraint	<ul style="list-style-type: none"> • État de compression optimal • Meilleure qualité de finition des fondations réalisées
Béton à haute-performance	<ul style="list-style-type: none"> • Plus résistant à la compression • Plus fluide et moins poreux
Béton projeté	<ul style="list-style-type: none"> • Réduit l'affaissement de la fondation • Empêche le coulage ultérieur du béton
Béton de ciment alumineux	<ul style="list-style-type: none"> • Temps de bétonnage réduit • Meilleure résistance sur le long terme

Tableau I. 2 : Différents types de béton et leurs avantages.

I.5.1. Béton ordinaire

I.5.1.1.Définition du béton ordinaire

Le béton ordinaire est un assemblage des matériaux obtenu par le mélange d'eau, des granulats avec un liant hydraulique (ciment), Sa masse volumique est variée entre 2000 et 2600kg/m³. Les bétons peuvent être armés ou non, ou même précontrainte. Ses propriétés et ses performance (durabilité, résistance au feu, etc.) varient selon ses composant et est acquiert à la cour du temps.

C'est un matériau est facile de mise en œuvre et bien adapté à tous les type de forme d'ouvrage.

[13]

I.5.1.2.Propriétés du béton ordinaire

A/ Propriétés mécaniques

Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages. Assez souvent, beaucoup de professionnels du béton considèrent que la caractéristique essentielle du béton durci est sa résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Sa résistance à la traction ainsi que celle en flexion sont beaucoup plus faibles que sa résistance à la compression. De nos jours, il est aussi important de se soucier des autres caractéristiques telles que la perméabilité, la porosité etc... Pour maximiser les performances du béton, on doit lui assurer un murissement adéquat

B/Propriétés physiques

❖ Ouvrabilité

C'est l'aptitude d'un béton à une bonne adéquation à la méthode de sa mise en œuvre dans un ouvrage donné compte tenu de ses caractéristiques. Elle est influencée par la granulométrie et la forme des granulats, par le dosage en ciment et en eau, par l'emploi éventuel d'adjuvants. Les essais de mesure de consistance du béton les plus courants sont l'essai d'affaissement à l'êtré d'Abrams (norme NF P 18-451) et l'essai d'étalement à la table à secousses ; mais les essais Vébé et indice de serrage ne s'appliquent qu'à des bétons très fermes [14].

❖ Retrait

C'est une diminution dimensionnelle du béton en absence de chargement, due à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situe dans la pâte du ciment, selon les circonstances, peuvent se développer dans un béton cinq types de retrait : le retrait plastique, le retrait de séchage, le retrait endogène, le retrait thermique et le retrait de carbonatation. Ces retraits provoquent des contraintes internes qui se matérialisent par l'apparition de fissures micro et macroscopiques à la surface de béton ou dans l'ensemble de sa masse, ces fissures détériorent l'esthétique et endommagent l'élément, tels l'accélération de la corrosion du béton et des armatures en laissant pénétrer des agents agressifs. [14].

❖ Compacité et la porosité

Ce sont des caractéristiques physiques essentielles du béton, conditionnent plusieurs propriétés de ce dernier telle sa perméabilité, ses résistances mécaniques, son module d'élasticité et surtout sa durabilité. On distingue les pores contenus dans les granulats leur taille et leur volume

n'évoluent pas, par contre ceux se trouvant dans la pâte de ciment leur dimension diminue avec la progression d'hydratation on distingue :

- Les pores capillaires ($0.01 \mu\text{m} \leq \emptyset \leq 0.5 \mu\text{m}$) occupent les espaces entre les grains de ciment en suspension dans l'eau, leur taille et leur volume dépendent du rapport E/C. La perméabilité du matériau est essentiellement dépendante de ces pores. - Les pores relatifs aux hydrates ou pores des gels ($\emptyset < 40$ angströms) sont présents dans le gel de C-S-H. Le volume de ces pores n'est pas affecté par le rapport E/C. Ces pores sont divisés en pores inter-cristallites qui se situent entre les gels et les pores intra-cristallites présents à l'intérieur du gel lui-même. - Les bulles d'air occlus ($\emptyset > 1 \text{ mm}$) piégées non intentionnellement à l'intérieur du béton lors du malaxage du béton frais.

I.5.1.3.Principaux avantages et inconvénients du béton ordinaire

❖ Avantages du béton

- Il est peu coûteux, facile à fabriquer et nécessite peu d'entretien ;
- Il épouse toutes les formes qui lui sont données. Des modifications et adaptations du projet sur le chantier sont faciles à effectuer ;
- Il devient solide comme la pierre. Correctement utilisé, il dure des millénaires. Il résiste bien au feu et aux actions mécaniques usuelles ;
- Associé à des armatures en acier, il acquiert des propriétés nouvelles qui en font un matériau de construction aux possibilités immenses (béton armé, béton précontraint) ;
- Il convient aux constructions similaires. Les assemblages sont faciles à réaliser dans le cas du béton coulé sur place. Dans la plupart des cas, les dimensions des ouvrages et éléments d'ouvrage en béton sont suffisants pour ne pas poser de problème délicat de stabilité ;
- Les ressources nécessaires pour sa fabrication existent dans de nombreux pays en quantités presque illimitées ;

Il exige peu d'énergie pour sa fabrication.

❖ Inconvénients du béton

Les principaux inconvénients du béton ont pu être éliminés grâce à son association à des armatures en acier ou à l'utilisation de la précontrainte. De toute façon, il reste les inconvénients suivants :

- Son poids propre élevé (densité de 2,4 environ qui peut être réduite à 1,8 dans le cas de bétons légers de structure et à moins de 1,0 dans le cas de bétons légers d'isolation) ;

- Sa faible isolation thermique (elle peut être facilement améliorée en ajoutant une couche de produit isolant ou en utilisant des bétons légers spéciaux) ;

Le coût élevé entraîné par la destruction du béton en cas de modification d'un ouvrage. [15]

I.5.1.4. Domaines d'emploi du béton

➤ **Bâtiment**

Le béton tient une place essentielle dans l'urbanisme moderne. Cela semble normale lorsqu'on considère son utilisation dans la construction de logements : pour les murs, 80% des techniques en individuelle, plus de 90% en collectif pour les structures ; pour les planchers, le béton est pratiquement le matériau idéal.

Le béton s'est également largement imposé dans les autres secteurs de la construction : bureaux, hôpitaux, locaux, ainsi que dans grands édifices publics et les bâtiments industriels.

➤ **Travaux publics**

a) Les ponts

Les progrès techniques et, en particulier, l'évolution des caractéristiques du béton, permettent de réaliser des portées atteignant plusieurs centaines de mètres.

b) Les tunnels

Pour les grands tunnels dont les exemples se multiplient dans le monde, le béton est, soit coulé sur place, soit utilisé dans des voussoirs préfabriqués.

Ceux-ci sont posés à l'avancement de la machine à forer-le tunnelier.

c) Les barrages

Les grands barrages sont le plus souvent en béton permettant des implantations dans les sites les plus difficiles.

d) Les routes

La chaussée béton prend une part de plus en plus importante dans les grandes voiries routières et autoroutières, grâce au développement de techniques modernes : béton armé continu, dalle épaisse

traitement de surface les voiries à faible trafic et aménagements urbains montrent un regain d'intérêt pour les solutions béton, qui leur assurent durabilité et faible cout d'entretien.

e) Autres ouvrages

Il faut également citer les ouvrages hors du commun : structures offshores ou centrales nucléaires, dont les exigences requièrent des bétons aux caractéristiques mécaniques et à la durabilité élevées.

I.5.2. béton à haute performance BHP

Les Bétons à Hautes Performances (BHP), sont des matériaux à très haute compacité et haute résistance. Elle est de l'ordre plus de 100 MPa pour les bétons à très hautes performances. Hautes performances signifient aussi facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages. Les BHP ont une porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs et de façon générale, présentent une durabilité accrue.

I.5.2.1. Définition du béton à haute performance

Les Bétons à Hautes Performances (BHP) se caractérisent par :

- Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 60 MPa sur cylindre ; Un rapport Eau /liant inférieur à 0,4. Ils présentent une structure très dense, une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs. [16]

I.5.2.2. Caractéristiques mécaniques

On sait très bien que la formation des silicates de calcium hydratés créés durant l'hydratation des silicates di et tricalciques soit essentiellement responsable des gains de résistance de béton.

Les phénomènes complexes liés à l'hydratation du ciment (mouvements thermiques ou retrait) provoquent la création des défauts. Dans le cas des bétons classiques, ces défauts sont particulièrement localisés dans l'auréole de transition.

Dans les BHP cette zone est inexistante [17] et, les défauts prennent naissance dans la matrice, siège des phénomènes d'hydratation. C'est à partir de ces défauts (microfissures, microcavités ...) que vont se développer les micros ruptures lors des sollicitations mécaniques.

❖ Résistance en compression

C'est la propriété d'usage la plus importante, c'est aussi celle dont l'amélioration est plus spectaculaire : on a pu réaliser en laboratoire [18] des bétons dont la résistance à la compression dépassait 200 MPa. Cependant, si l'on cherche à fabriquer des bétons maniabiles avec des granulats ordinaires, on devra se limiter, dans l'état actuel de la technologie à des valeurs comprises entre 100 et 120 MPa en résistance moyenne à 28 jours.

Une explication de cette augmentation de la résistance est due au rôle accélérateur de la fumée de silice, selon la nouvelle loi de Féret [19].

Où : - f_{c28} est la résistance moyenne en compression du béton à 28 jours.

- E, C et S sont le poids respectif d'eau, du ciment et de fumée de silice par mètre cube de béton.
- k_g est un paramètre qui dépend de la qualité des granulats (pour des granulats courants $K_g = 4,91$).

I.5.2.3. caractéristique physique

❖ Ouvrabilité

Elle peut se définir par la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage du ferrailage.

Ce facteur primordial peut varier comme pour les bétons classiques et l'on obtient facilement des affaissements au cône d'Abrams de 15 à 18 cm, mais il faut impérativement étudier :

- les granulats (module de finesse du sable) ;
- le choix du ciment et du super plastifiant ;
- les dosages de ces différents matériaux, de la fumée de silice et de l'eau pour la plasticité désirée, en fonction des plus ou moins grandes difficultés de mise en œuvre dans les coffrages et l'embarras des armatures ;
- la plasticité désirée qui doit être garantie au moins une heure après le malaxage pour tenir compte des délais inévitables de transport et de mise en œuvre.

L'ouvrabilité du béton dépend de plusieurs facteurs :

- type et quantité de ciment.

- type et quantité de sable.
- teneur en eau.
- aspect et grosseur des agrégats.

La fluidité du mélange de béton croît avec l'augmentation de la quantité d'eau. Le mortier de ciment, non seulement remplit les vides et enrobe les grains des agrégats, mais les écarte également les uns des autres, en créant entre eux des couches abondantes qui diminuent le frottement entre les grains : ceci augmente la fluidité.

Si les agrégats sont plus gros, la surface spécifique est en général moindre, par conséquent, pour une même quantité de mortier de ciment, les couches intermédiaires entre les grains des agrégats se trouvent plus épaisses ce qui rend le mélange de béton plus fluide. L'augmentation de la quantité de sable au-dessus de la quantité optimale, diminue la fluidité de la pâte par suite de l'accroissement de la surface totale des agrégats. La forme des grains influe sur la fluidité, si la surface des grains est arrondie et lisse, la surface de contact et le frottement entre eux seront plus petits donc le mélange plus fluide que le mélange formé avec des granulats concassés [20].

❖ Porosité

Quand les silicates anhydres des grains de ciment entrent en contact avec l'eau, leur hydratation commence toujours par une mise en solution. En d'autres termes, la phase liquide se sature avec différents ions qui se combinent ensuite pour former les différents produits d'hydratation qui occupent progressivement une partie de l'espace initialement rempli d'eau.

Au fur et à mesure que l'hydratation se développe et que la taille des pores capillaires diminue, les mouvements de l'eau dans le système deviennent de plus en plus difficiles, si bien que l'hydratation des grosses particules de ciment se fait plutôt par diffusion.

Quel que soit l'instant durant la réaction d'hydratation, les espaces non remplis par des produits solides (hydrates et particules de ciment anhydre) pourront être considérés comme des vides ou des pores capillaires [21].

Les dimensions et le volume des pores capillaires sont les principaux paramètres régissent les propriétés physiques et mécaniques du béton.

La porosité est essentiellement fonction du rapport E/C du béton. Il a été démontré que pour un béton donné, la seule réduction du rapport E/C de 0,5 à 0,22, réduit d'un facteur 3 le volume total des pores capillaires.

L'ajout de laitier ou de cendres volantes ne modifie pas la porosité totale mais conduit à une diminution générale de la dimension des pores.

L'adjonction d'ultrafins et en particulier de fumée de silice se traduit par une réduction de la porosité et par une diminution caractéristique des pores.

On note que la porosité totale des BHP est inférieure à celle des bétons ordinaires. La distribution des dimensions des pores, observée sur la courbe porosimétrique des BHP se situe sous celle des bétons ordinaires (Figure I.1).

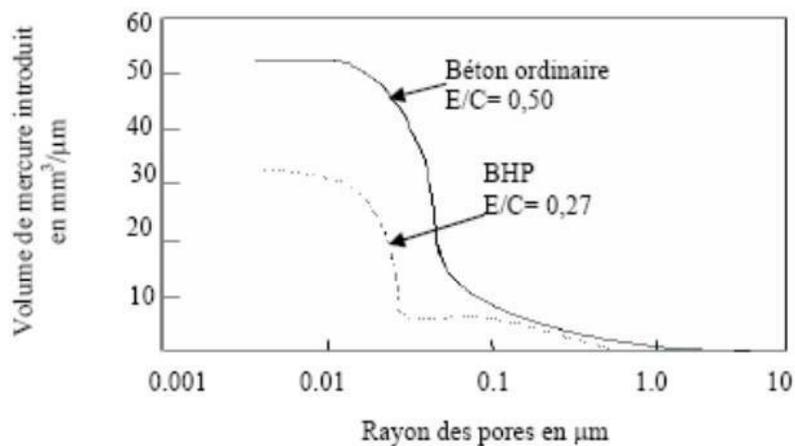


Figure I. 2. Porosité des bétons ordinaires et des BHP.

Tant que les granulats et particulièrement les plus gros, sont suffisamment résistants, au fur et à mesure que la porosité de la pâte de ciment décroît, la résistance du béton augmente.

Ainsi, la sélection et la composition des ingrédients d'un BHP sont beaucoup plus critiques que dans le cas des bétons usuels [22].

❖ **Perméabilité**

La perméabilité est caractérisée par la valeur de débit de transport des fluides et des gaz (eau, chlorure, sulfates, oxygène...) à travers des pores capillaires et des fissures du béton.

A cause de leur très grande compacité, les BHP ne sont que très peu perméables. On peut s'en rendre compte lorsqu'on brise des échantillons de béton conservés pendant un an dans l'eau, on constate que le cœur de l'éprouvette est absolument sec.

Cette imperméabilité peut s'expliquer aussi par la présence de très nombreuses particules de ciment non hydratées qui arrivent à stopper la progression de l'eau vers l'intérieur du béton tout en le rendant encore plus imperméable. Des mesures allemandes de perméabilité de mortier conduisent à des valeurs comprises entre 0,64 10⁻¹² m/s pour E/C = 0,40 et à 440 10⁻¹² m/s pour E/C = 0,75. Ces résultats confirment des essais américains anciens qui montraient que la perméabilité d'un béton était réduite d'un facteur égal à 1000 lorsque le rapport E/C passait de 0,80 à 0,40. [23]

La perméabilité d'un béton à faible rapport E/C est donc appréciée par la mesure du débit d'air ou d'autre gaz (oxygène, oxyde de carbone) et par celui des ions chlore transitant dans le béton sous l'effet d'un gradient de pression ou de courant.

La microstructure de la pâte de ciment hydraté du béton de 20 MPa est très ouverte et l'on peut y voir des pores, de grands cristaux d'ettringite et de portlandite Ca (OH)₂ avec de plus petites aiguilles de silicate de calcium hydraté.

Il est possible de voir que la zone de transition entre la pâte de ciment et les granulats est très poreuse dans le cas du béton usuel. A l'inverse, il est impossible de discerner les moindres cristaux dans la microstructure du BHP qui a un rapport eau/liant de 0,25 ; la pâte de ciment hydraté a un aspect amorphe et est très compacte.

Cette différence de microstructure des BHP a deux conséquences très importantes du point de vue résistance à la compression et du point de vue perméabilité : la résistance à la compression d'un BHP augmente au fur et à mesure que le rapport eau/liant diminue et la perméabilité d'un BHP est considérablement plus faible, pratiquement impossible à mesurer selon Torrent et Jornet, sauf si l'on recourt à la mesure de la « perméabilité » dite aux ions chlore selon la norme ASTM C [24].

Un béton qui a un rapport eau/liant de 0,45 a une « perméabilité aux ions chlore » qui varie entre 3 000 et 5 000 coulombs, alors qu'elle n'est que de 100 à 500 coulombs pour un BHP qui contient de la fumée de silice et qui a un rapport eau/liant inférieur à 0,25. Cette très faible « perméabilité aux ions chlore » des BHP indique qu'il existe encore un réseau de

capillaires très fins interconnectés, mais que ces capillaires sont suffisamment fins pour que l'eau ne s'y écoule pas d'elle-même.

I.5.2.4. Domaine d'utilisation du béton à haute performance 'BHP'

Le béton haute résistance (BHP), qui à une grande durabilité, assure un niveau élevé de performance structurale, par rapport au béton à résistance normale (BRN) utilisé traditionnellement. Auparavant employé pour les ponts, les constructions en mer et les infrastructures, il est de plus en plus utilisé dans les immeubles de grande hauteur, en particulier pour les poteaux. Sa plus grande résistance à la compression permet de réaliser des poteaux de diamètre réduit, ce qui diminue l'encombrement. [25]

I.5.2.5. Avantages du béton à haute performance

Le béton à hautes performances apporte en outre des avantages multiples par rapport au béton ordinaire. Parmi les avantages du BHP :

- La maniabilité est accrue sans risque de ségrégation lors de la mise en œuvre.
- La durabilité des structures est améliorée par la forte compacité du béton avec une perméabilité à l'air et à l'eau réduite, une résistance aux agressions, et une meilleure résistance à l'alcali-réaction, une plus grande résistance à l'abrasion, une meilleure tenue aux cycles de gel/dégel.
- La conception des structures plus minces grâce à l'augmentation des caractéristiques mécaniques (compression, traction, module d'élasticité) tant au jeune âge qu'à terme, Cependant les propriétés améliorées des bétons à hautes performances ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées comme :
- Les granulats qui doivent être de bonne qualité, la résistance du béton pouvant être limitée par celle des granulats eux-mêmes,
- L'emploi d'adjuvants spécifiques, notamment des super plastifiants réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tels que la cendre volante, le laitier du haut fourneau, la fumée de silice.... etc.,

L'emploi de ciments de classe élevée à des dosages compris entre 400 et 550 kg/m³.

L'utilisation du béton à hautes performances progresse constamment dans le domaine de construction et le nombre d'édifices en béton à hautes performances ne cesse d'augmenter car les concepteurs et les maîtres d'œuvre réalisent la valeur et la durabilité de ce béton. [26]

I.5.3. Béton léger

I.5.3.1. Définition béton léger

Le béton est un terme générique qui désigne un matériau de construction composite fabriqué à partir de granulats (sable, gravillons) agglomérés par un liant. Le béton léger fait partie de la gamme des bétons spéciaux ses caractéristiques, suggèrent de nouvelles application, ce qui le distingue du béton ordinaire est sa faible masse volumique. En effet la masse d'un béton de densité normale varie de 2200 à 2600 Kg/m³, tandis que celle du béton léger oscille entre 300 et 1850 Kg/m³. [27]

D'après ce que n'a vu précédemment les bétons légers sont des bétons dont la masse volumique est inférieure à 1800 Kg/m³.

Le béton léger est constitué en partie ou en totalité de granulats légers, de liants hydrauliques ou de résines synthétiques (époxydes, mousses de polyuréthane, etc.). En fait, la majorité de ces bétons a une masse volumique faible, comparativement à celle des bétons conventionnels comprise entre 2200 et 2600 kg/m³. [28]

Ces bétons à des fins d'isolation et d'allègement ou les deux à la fois, il peut également être utilisé pour des éléments porteurs à condition que l'on possède les granulats permettant d'atteindre les résistances voulues, Donc les bétons légers de construction affectés par leurs masses volumiques et ces résistances variées. Bien utilisés, ces deux facteurs permettent d'apporter dans tous les domaines de la construction des solutions optimisées sur les plans constructif et économique ainsi qu'au niveau de la physique du bâtiment. Ils permettent ainsi d'avancer vers de nouveaux horizons de la construction.

En fin Le béton léger se caractérise essentiellement par leur faible masse volumique, adaptable aux exigences, par leur excellent rapport poids/résistance et par leur bonne isolation thermique, leur résistance à la chaleur et au feu, leur résistance au gel ainsi que par leur insensibilité générale aux agressions physiques et chimiques traditionnelles dans le domaine de la construction.

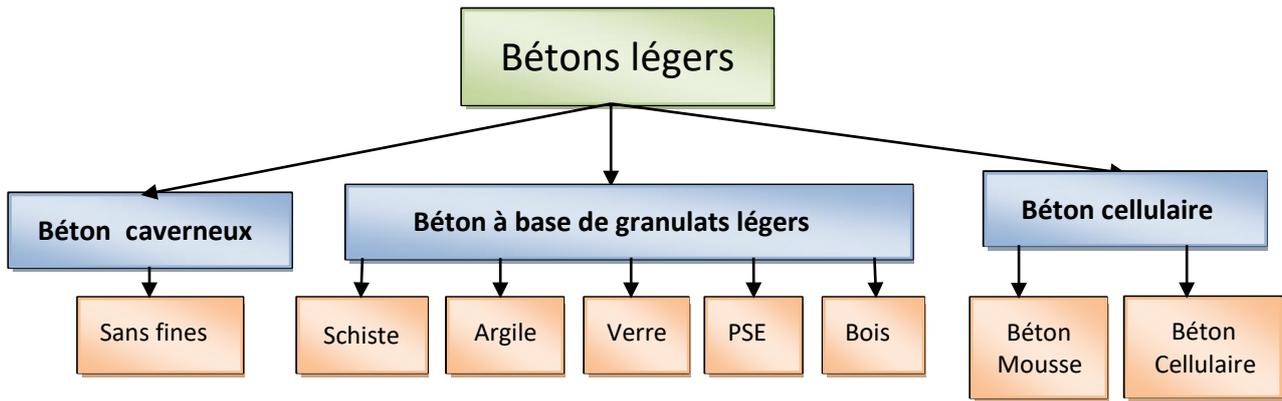


Figure I.3. Classification des bétons légers. [29]

I.5.3.2. Type des bétons légers

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

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

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

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

Ceci produit trois types de dénominations pour ces bétons soient :

- 1- les bétons cellulaires.
- 2- les bétons sans fines (caverneux).
- 3 - les bétons de granulats légers (argile expansé...).

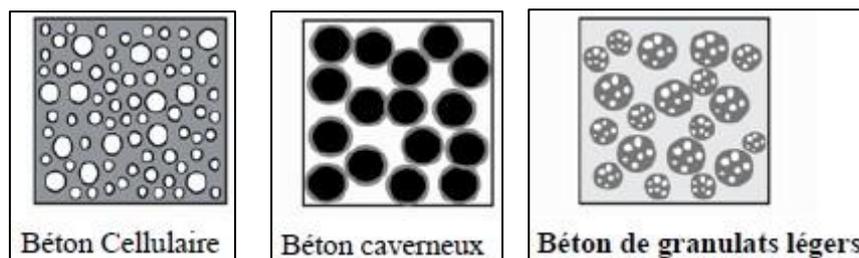


Figure I.4.représentation schématique des différents types de béton léger. [30]

❖ **Béton cellulaire**

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

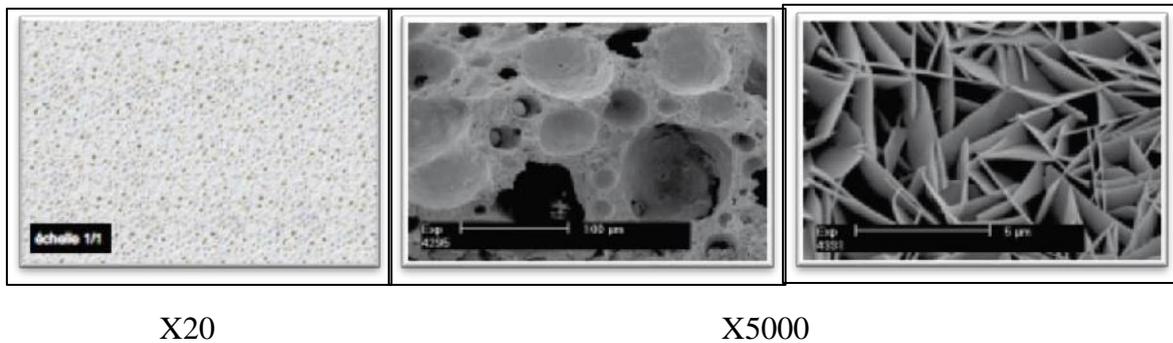


Figure I.5. Béton cellulaire.

La masse volumique	Résistance en compression	Résistance en flexion	Module d'élasticité
Kg/m³	MPa	flexion	GPa
450	3.2	0.65	1.6
525	4.0	0.75	2.0
600	4.5	0.85	2.4
675	6.3	1.00	2.5
750	7.5	1.25	2.7

Tableau I.3. Les propriétés comparées des bétons cellulaires [30]

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

Le béton léger « cellulaire » ou « aéré » s'avère être le béton le plus susceptible de remplir les objectifs du système de plancher projeté. Le béton cellulaire est un matériau mouillable, malléable, léger, durable et relativement résistant. Ce sont toutes des propriétés que les auteurs Agustín et al. (1990) démontrent comme étant des propriétés à rechercher pour l'habitation à faible coût. Le béton cellulaire non traité à l'autoclave, nécessite peu d'outillage spécialisé et peut être assemblé sans trop de machinerie. [31]

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

❖ **Béton caverneux**

Béton léger et très poreux en raison de la présence dans sa masse de vides dus à l'absence de sable ou d'éléments fins. Il est obtenu à partir de gros granulats (courants ou légers) humidifiés et enrobés dans une pâte de ciment ou un mortier, et se met en place par couches épaisses (au moins 50 cm) et piquage. Il est utilisé comme béton de remplissage ou pour s'opposer aux remontées capillaires. [32]

<i>Types de bétons spéciaux</i>	<i>Propriétés, caractéristiques particulières</i>	<i>Utilisation, domaines d'application privilégiés</i>
<p>Bétons légers caverneux</p> <ul style="list-style-type: none"> - béton caverneux de granulats légers - béton de bois - béton de liège 	<ul style="list-style-type: none"> - masse volumique réduite - perméabilité à l'eau et à l'air - absorption acoustique 	<ul style="list-style-type: none"> - allègement et drainage - absorption des bruits, réduction des bruits d'impact (écrans acoustiques, chapes flottantes, etc.)

Tableau I.4 : caractéristiques de béton léger caverneux [32]

❖ **Bétons de granulats légers**

Les bétons de granulats légers trouvent de nombreuses applications dans le domaine du bâtiment et des ouvrages d'art. Ils sont utilisés notamment pour alléger les structures telles que les poutres, les poteaux, les planchers, les tabliers de ponts etc. Les bétons légers sont également connus pour

améliorer l'isolation thermique de l'enveloppe des bâtiments ou l'absorption acoustique des écrans acoustiques protégeant les riverains des nuisances sonores. Ils sont utilisés dans les structures préfabriquées ou réalisées sur chantier. Dans l'industrie du béton, cette famille de bétons est utilisée pour les produits de structure destinés aux bâtiments ou aux ouvrages de génie civil qu'ils soient en béton armé ou précontraint. Les bétons légers pour les produits de structure présentent des masses volumiques réelles sèches comprises entre 1200 et 2000 kg/m³ et des résistances à la compression comprises entre 25 et 80 Mpa. [33]



Figure I.6. Béton de granulats léger

<i>Types de bétons spéciaux</i>	<i>Propriétés, caractéristiques particulières</i>	<i>Utilisation, domaines d'application privilégiés</i>
<i>Bétons de granulats légers</i>	<ul style="list-style-type: none"> - masse volumique réduite (entre 1 000 et 1 800 kg/m³) - bonne résistance mécanique 	<ul style="list-style-type: none"> - allègement des produits et des ouvrages - isolation thermique et phonique

Tableau I.6 : caractéristiques de béton de granulats léger [33]

❖ Béton de perlite

Le béton de perlite est fabriqué avec des granulats de perlite expansée, du ciment et du sable de rivière en fonction de la résistance à la compression désirée, il présente une excellente résistance aux agents chimiques avec un bon comportement au feu incombustible.



Figure I.7. Béton de perlite expansé

Domaine d'utilisation

- Utilise comme enduits isolants
- Chape de planche
- Comme pente de terrasse

❖ **Béton de perles de polystyrène**

Le béton de perles polystyrène est un béton de ciment dont les granulats sont constitués par des granulats de polystyrène expansé celle-ci sont obtenu par expansion sous effet de la chaleur du pyrogène contenu dans des billes de polystyrène. [34]



Figure I.8. Béton de perles de polystyrène.

Domaine d'utilisation

- Murs extérieure
- Hourdis de plancher

❖ **Béton d'argile expansé**

Le béton d'argile expansé est l'un des matériaux de construction les plus prometteurs. Ce béton contient sur du granulats léger appelé argile expansé , l'argile expansée apporte ses qualités exceptionnelles d'isolant thermique et acoustique, d'allègement des structures rapportées et de

solutions pratiques de mise en œuvre pour tous les travaux, de construction neuve comme de rénovation, ce qui en fait un matériau à forte valeur ajoutée; une réponse aux défis d'aujourd'hui: construire mieux et respectueusement de l'environnement. [35]



Figure I.9. Béton d'argile expansé.

- **Béton à base d'argile expansée**
- ✓ **Définition d'argile expansée**

Aujourd'hui, l'argile est probablement le matériau le plus fabriqué au monde. [36]

Le principe de la fabrication est connu depuis le dépôt en 1917 du brevet américain de Hayde (Pour l'argile et aussi pour le schiste expansé). La production industrielle a commencé vers 1928 et actuellement existe plusieurs d'usines dans le monde. [37]

Généralement, l'argile expansée est réalisée à partir d'argile naturelle spéciale soumise à un procédé d'extrusion, de cuisson et d'expansion à haute température, et Il est un agrégat léger et isolant qui se présente sous forme de granulats arrondis dont son diamètre varie à plusieurs dimensions.

On obtient des granulats de tailles variées et dont la masse volumique apparente varie entre 300 et 1000 kg/m³ à travers l'argile traitée À une température variant entre 1150 et 1200°C Où l'argile gonfle à la suite de dégagement de gaz et parallèlement une peau extérieure se forme par vitrification de la surface du matériau. Au refroidissement on a un granulats léger dur, soit des particules de forme arrondie avec peau brune rougeâtre enveloppant une texture alvéolaire noirâtre.



Figure I.10. Argile expansée.

✓ **Procédé de fabrication**

Selon la méthode de l'usine d'ALGEXPAN

● **Extraction de matière première**

L'extraction de La matière première (l'argile) se fait dans le lieu où on a trouvé des quantités abondantes.

Après, en utilisant des différents moyens de transport pour acheminées ces argiles vers le lieu de stockage et les sécher.

● **Concassage et le malaxage**

A ce stade, il est utilisé des différentes machines comme le broyeur, le concasseur, pour diminuer la taille du granulat de l'échantillon.

Après, on ajoute l'eau afin de les malaxer. Ultérieurement on est traitée ces argiles avec d'autre substance si c'est nécessaire. Puis, on pose ce mélange afin d'obtenir un mélange plus homogène.

● **Séchage**

Pour d'éviter autre réaction imprudente, il est se fait en plein air.

Ce stade passe nécessairement par la phase de durcissement de l'argile expansée. En effet, elle y prend sa propriété plastique qui est déjà perdue lors de malaxage. En outre, la quantité de l'eau restant dans ce matériau est suffisamment importante pour assurer leur dureté.

● **Cuisson et l'expansion**

Cette fabrication s'effectue dans des fours rotatifs d'une centaine de mètres de long. Le processus commence par l'argile entrant dans le four à une extrémité et parcourt toute la longueur,

augmentant progressivement sa température. À l'autre extrémité du four, la température atteint environ 1200 ° C ; à ce stade, l'argile atteint l'état pâteux (qui précède la fusion) et commence le processus d'expansion. Ils obtiennent leur forme ronde en roulant à l'intérieur du four, ce qui provoque également la formation de l'écorce externe compacte et résistante. Le cycle de production est entièrement maîtrisé et respectueux de l'environnement car les fumées sont nettoyées avec un électro filtre.

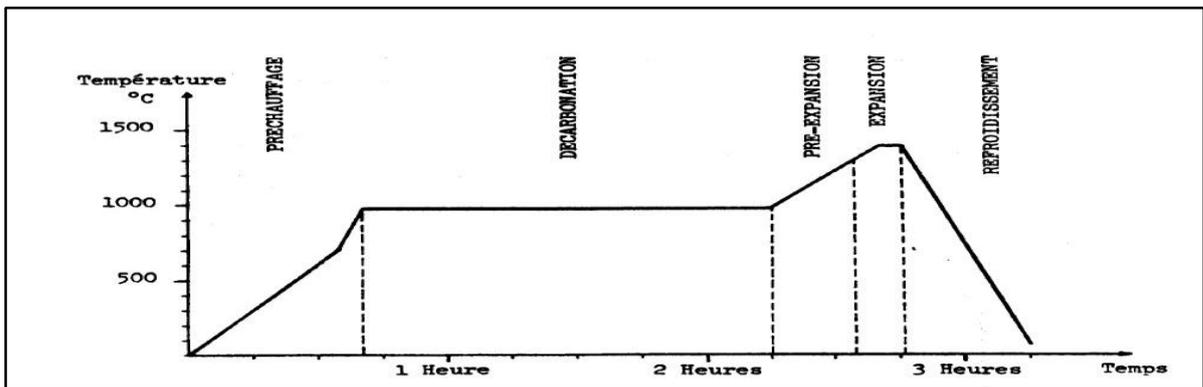


Figure I.11. Courbe représentative de variation de température en fonction du temps suivie des phénomènes présents.

● **Refroidissement**

Cette phase fait directement suite à la phase d'expansion pour empêcher ce matériau ainsi obtenu de fondre. On a donc durcissement total de ce matériau qui améliore la propriété mécanique.

● **Tamissage et stockage**

Après le refroidissement l'Argile Expandée sort du four en dimensions entre 0-25mm, elle est stockée dans des gros tas à l'abri.

Elle est ensuite tamisée dans les granulométries commercialisées et stockée en partie à l'air libre et en partie dans des silos couverts. L'ensilage à partir des silos couverts.



Figure I.12. Tamisage et stockage d'argile expansée.

✓ **Caractéristiques des granulats d'argile expansée**

• **Caractéristiques physiques et mécaniques**

Généralement, l'argile expansée est caractérisée physiquement par la légèreté, sa faible masse volumique et par sa forte absorption d'eau.

Grâce à son écorce extérieure compacte et rigide, l'Argile Expansée a une résistance mécanique idéale qui permet la réalisation de mortiers et de béton même structurels à haute résistance.

• **Caractéristique d'isolations**

Ce qui il rend ces granulats légers c'est la structure interne poreuse enveloppée dans une surface dure et compact, l'existence de celui-ci aussi favorise la faiblesse de la valeur de la conductibilité thermique et la bonne insonorisation de ce matériau. Alors, elle est donc parfaite pour l'application d'isolation thermique et généralement utilisée pour la Construire des murs isolants thermique et phonique, dans le domaine de génie civil.

• **Caractéristiques chimiques**

L'argile expansée est un matériau inerte, durable, recyclable et totalement respectueux de l'environnement en raison de l'absence total de substances chimiques artificielles. Toutes les substances d'origine organique sont déjà disparues lors de sa cuisson, donc ce matériau ne produit pas de fumée ou des gaz toxique. Alors, elle est inodore et ne risque pas d'être attaquée par des parasites et des micro-organismes. Elle est donc considérée comme un matériau respectueux de l'environnement. [38]

✓ **Effets des granulats argile expansée sur les propriétés de béton**

• **Effets sur les propriétés à l'état frais**

A l'état frais, a due aux granulats d'argile expansée il peut y avoir une diminution de l'affaissement, Plusieurs sources expliquent cela par la diminution du poids volumique du mélange, qui impacte ainsi l'intensité de l'action de la gravité sur ce dernier.

L'absorption d'eau des granulats d'argile expansée présente un taux très important, Il ne faut pas les ignorer, dans ces cas les précautions peuvent être de pré-saturation en eau des granulats par immersion dans l'eau, ou l'ajout à la formulation initiale d'une quantité d'eau correspondant à l'absorption des granulats

La pré-saturation des granulats, est amélioré la maniabilité à l'état frais (affaissement plus élevé), a aussi une conséquence favorable sur la résistance à la compression du béton.

- **Effets sur les propriétés à l'état durci**

- ✓ **Effets sur les propriétés physiques**

L'argile expansée est deux à trois fois moins dense qu'un granulats naturel classique, à cause de ça La masse volumique des bétons d'argile expansée diminue quand la quantité de granulats d'argile expansée qu'il contient augmente.

En raison de fort taux d'absorption d'eau d'argile expansée, la porosité ouverte augmente très légèrement, mais elle peut diminuer lorsque ces granulats présentent des coques externes peu poreuses, ce phénomène est dû au bouchage de la coquille externe des granulats d'argile expansée par la pâte de ciment ; l'eau ne peut plus pénétrer les granulats d'argile expansée après que le matériau ait pu s'hydrater.

- ✓ **Effets sur les propriétés mécaniques**

La diminution des résistances mécaniques, et aussi du module d'élasticité. S'accompagne avec la diminution de la masse volumique.

Pour les bétons ordinaires contenant uniquement des granulats roulés ou concassés d'origine minérale, le point faible du matériau se situe aux zones interraciales entre matrice et granulats, ainsi qu'au cœur de la matrice, et la face de rupture ne passe pas au cœur des granulats Pour les bétons comportant des granulats d'argile expansée, Dans le cas de bétons de granulats d'argile expansée, les granulats, bien qu'acteurs dans le comportement mécanique du composite, sont en général moins résistants que la matrice cimentaire ; les faces de rupture de ces échantillons peuvent montrer des granulats fracturés.

- ✓ **Domaine d'application et d'utilisation**

L'argile expansée peut être utilisée de différentes manières à cause de sa légèreté (4 fois plus légère que le gravier), telle que :

- La fabrication d'un béton léger ou le remplissage de cavités.
- Pour une isolation phonique, et acoustique
- Pour Garnissage du tunnel et remplissage les terrains incliné et d Les supports des ponts. [39]

Conclusion

Dans ce chapitre on à présenter une synthèse bibliographique sur les différents types de bétons (béton ordinaire et béton à haute performance) et leurs avantages et inconvénients et leurs domaines d'utilisation et ses propriétés physique et mécanique et on a étudié aussi les classifications et les différents types es béton à base des granulats léger (d'argiles expansé)

D'après cette étude nous avons remarqué le rôle des granulats d'argile expansé et ses effets sur les bétons ordinaire et à haute performance à l'étas frais et l'étas durci.

INTRODUCTION

La caractérisation des matériaux utilisés dans la composition d'un béton joue un rôle très important sur ses propriétés et ses performances.

Dans ce chapitre, on présente les caractéristiques des matériaux et leur effet sur les caractéristiques des différents types de béton (ordinaire et à haute performances), ainsi que les essais à effectuer selon les normes européennes.

Nous décrirons par la suite les formulations des bétons, dans le but de faire un béton léger et résistant à base des granulats d'argile expansée.

II.1. Présentation des matériaux

II.1.1. Le liant

II.1.1.1. Le ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est un ciment portland composé de classe CPJ-CEM II/A 42,5 MPa, répondant à la norme Algérienne **NA 442[1]**, la composition chimique est réalisée par laboratoire de la cimenterie de HDJAR ESSOUD wilaya de SKIKDA.

Masse volumique absolue	Masse volumique apparente	Surface spécifique Blaine	Composition minéralogique						
			C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF			
3000 kg/m ³	1020 kg/m ³	3480 g/cm ²	58,2 %	18,5 %	9,3 %	8,2 %			
Consistance normal	Début de prise	Fin de prise	Composition chimique						
			CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃	MgO	Ca Olibre
27 %	1h : 40min	4h : 50min	60,41 %	21,9 1%	5,19 %	2,94 %	1,6 %	2,19 %	1,01 %

Tableau II 1. Caractéristique physique et chimique du ciment selon la fiche technique.

Age	Résistance(MPA)	
	Compression	Flexion
2 jours	13 - 17.5	3 - 4
7 jours	23 - 33	5 -6.5
28 jours	42.5 - 53	6.5 – 8.5

Tableau II.2. Caractéristiques mécaniques du ciment selon la fiche technique.



Figure II.01 : Ciment utilisé.

II.1.1.2. Laitier granulé

Le laitier granulé de haut fourneau D’El -Hadjar (Annaba), est utilisé en qualité d’ajout, obtenue par refroidissement par trempe dans l’eau et chute dans un grand bassin, il se présente sous forme de sable de couleur gris clair de granulométrie 0 à 5 mm.

Sa composition chimique est donnée au tableau II. 3, c’est un silico-aluminate de calcium et de magnésium, il est constitué essentiellement de quatre oxydes qui sont : (SiO₂- Al₂O₃- CaO-MgO).

Element	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O	Cl-	MnO
Oxydes (%)	41,69	7,05	1,41	39,77	5,49	0,15	0,44	0,10	-	-

Tableau II.03.Composition chimique du laitier D'El-Hadjar(Annaba)

La préparation des fillers de ce laitier granulé a été faite par broyage à sec en laboratoire des matériaux au niveau de département de génie civil de l'université Badji Mokhtar-Annaba.

II.1.1.3. L'adjuvant

L'adjuvant utilisé est un super plastifiant haut réducteur d'eau POLYFLOW SR 8800 de nouvelle génération à base de poly carboxylate provient de l'usine SARL SOLU-EST (Annaba) cet adjuvant permet de conserver une maniabilité très plastique ou fluide pendant le temps indiqué. Le dosage de l'adjuvant et recommandé ente 0,3 et 3% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchés. [2]

II.1.1.4. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet du département de génie civil de la région d'Annaba conforme à la norme [NF EN 1008]. [3]

II.1.2. Granulats (Sable et gravillon)

II.1.2.1. Le sable

Deux types de sables sont utilisés dans cette étude :

- Sable de rivière (oued) : Il provient de la région de (BOUTHELDJA) Wilaya d'EL-TARF, avec un module de finesse de : 2,3.
- Sable gros d'argile expansée qu'on a ramené de l'usine d'ALGEXPAN (Usine d'argile expansée –Houssainia Bouinan), wilaya de Blida. Avec un module de finesse égale à 3,1.



Figure II.2. Les deux types de sable (sable naturel-sable d'argile expansée).

II.1.2.2. Le gravier

Deux types de granulats sont utilisés dans cette étude :

Un granulat naturel concassé de roche calcaire en trois fractions de (3/8) (8/16) (16/25) ; provenant de la carrière d'Aine Abid (Constantine), et le deuxième gravier d'argile expansée en trois fraction aussi.



Figure II.03. Granulats d'argile expansée.



Figure II.04. Granulats naturelles.

II.2. Essais de caractérisation

II.2.1. L'analyse granulométrique [NF P 18-560]

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs. Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 0.08 - 0.16 - 0.315 - 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5.0. Et pour le gravier, on utilisera en général

Les tamis de modules 3.15 – 5.0 – 6.3 – 8 – 10 – 12.5 – 16. L'essai selon la norme [NF P 18-560]. [4]

Principe de l'essai

- a) Verser l'échantillon séché dans la colonne des tamis classés de haut et en bas dans l'ordre de maille décroissante.
- b) Agiter manuellement ou mécaniquement cette colonne puis prendre et agiter un par un les tamis en commençant par celui qui a la plus grande ouverture en adoptant un fond et un couvercle. Le tamisage est considéré terminé lorsque le refus ne se modifie pas de plus de 1% en une minute de tamisage
- c) Peser le refus dans chaque tamis, et cumuler avec les précédents.
- d) Tracer les courbes granulométriques

e) Calculer le module de finesse du sable.



Figure II.05. Tamis d'analyse granulométrique.

II.2.2. Module de finesse [XP P18-540]

La norme XP P 18-540 définit le module de finesse d'un sable qui caractérise sa granularité, comme le 1/100^e de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : (0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5 mm). [5]

Module de finesse	Observation
$1,8 < M_f < 2,2$	Sable fin
$2,2 < M_f < 2,8$	Sable moyen
$2,8 < M_f < 3,2$	Sable gros

Tableau II. 4. Valeurs préconisées pour le module de finesse.

II.2.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent des sable)

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme

[P 18-597]. [6]

L'équivalent de sable visuel est donné par la formule suivante :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100\%.$$

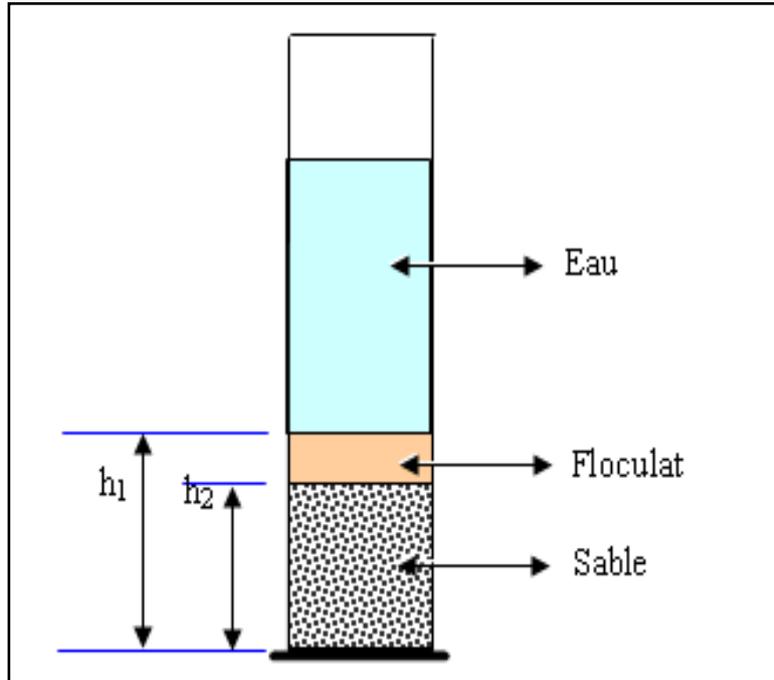


Figure II 06. Equivalent de sable.

PS	Nature et qualité du sable
<60	"Sable argileux" risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de quality.
60≤PS<70	"Sable légèrement argileux" de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait.
70≤PS<80	"Sable propre" à faible pourcentage de fines argileux convenant parfaitement pour les bétons de hautes qualités.
PS>80	"Sable très propre" l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Tableau II. 05. Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.

II.2.4. La masse volumique

II.2.4.1. La masse volumique apparente (NF EN1097-3)

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, y compris les vides et des pores entre des grains. Cet essai est réalisé selon la norme (NF EN 1097-3). [7]

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (\text{g/cm}^3)$$

M : Est la masse de l'échantillon à l'état sec en gramme.

V : Volume de l'échantillon en centimètre cube.



Figure II.07. Essai de La masse volumique apparente.

II.2.4.2. La masse volumique absolue [NF EN 1097-3]

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme (NF EN 1097-3). [7]

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau. La différence de volume rapporté à la masse du matériau nous donne la masse volumique absolue.

$$\rho = \frac{M}{(V_2 - V_1)} \quad \text{g/cm}^3$$

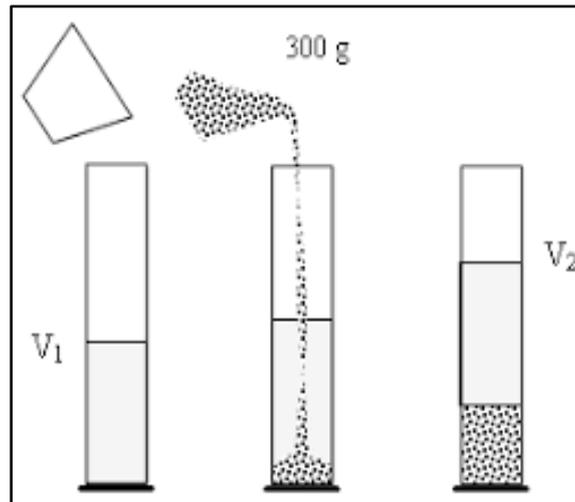


Figure II.08. Essai de La masse volumique absolue.

II.2.5. L'essai Los Angeles [NF P 18-573]

Cet essai consiste à mesurer la quantité d'élément inférieur à 1,6 mm, produite en soumettant le matériau au choc de boulets normalisés dans la machine Los Angeles. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les 6 classes granulaires : 4/6,3mm ; 6,3/10mm ; 10/14mm ; 10/25mm ; 16/31,5mm ; 25/50mm. Le coefficient Los Angeles est par définition le rapport :

$$CLA = \frac{5000 - M'}{5000} \times 100$$

Avec M' : Masses sèche après essai et tamisage au tamis 1,6 mm. [8]



Figure II.09. La machine de Los Angeles.

II.2.6. Essai d'usure micro-deval [NF P18-572]

L'essai consiste à mesurer l'usure produite dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies, par frottement entre les granulats et une charge abrasive réciproque dans un cylindre en rotation dans des conditions bien définies. La granularité du matériau soumis à l'essai est choisie parmi les classes granulaires : (4-6,3) mm, (6,3-10) mm, (10-14) mm et (25-50) mm. Pour les essais effectués sur les gravillons entre (4 et 14) mm une charge abrasive est utilisée.

Si M est la masse du matériau soumis à l'essai, m la masse des éléments inférieurs à 1,6 mm produits au cours de l'essai. La résistance à l'usure s'exprime par la quantité :

$$C_{MD} = 100 \times \frac{m}{M}$$

Par définition, cette quantité sans dimension, est appelée, suivant la méthode employée.

- Coefficient micro-deval sec du granulat (MDS).
- Coefficient micro-deval en présence d'eau du granulat (MDE). [9]



Figure II.10. Dispositif de l'essai de micro-Deval

Categories	La+ MDE	La	MDE
A	≤25	≤20	≤15
B	≤ 35	≤ 25	≤ 20
C	≤45	≤30	≤25
D	≤55	≤35	≤30
E	≤80	≤45	≤45
F	>80	>45	>45

Tableau II. 06. Catégories des granulats selon la résistance au choc et à l'usure.

La : Coefficient Los Angeles.

MDE : Coefficient Micro-Deval

II.2.7. Essai de l'absorption d'eau [NF P18-555]

Le coefficient d'absorption d'eau est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par une imbibition partielle en eau, à la masse sèche de l'échantillon. Cette imbibition partielle est obtenue par immersion de l'échantillon dans l'eau pendant 24h à 20°C à la pression atmosphérique. [10]

Principe de l'essai

Cet essai permet de déterminer le coefficient d'absorption d'eau d'un matériau. Le coefficient d'absorption d'eau A_b d'un matériau représente la capacité de conserver des échantillons quand ils sont immergés au sein de l'eau à température 20°C. A cette condition l'eau peut pénétrer dans la plupart des vides interstitiels du matériau. Si la porosité du matériau est importante, l'absorption de l'eau est plus grande, mais l'absorption est toujours inférieure à la porosité du matériau.

On détermine le coefficient d'absorption qui est le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon après imbibition par l'eau.

$$Ab = \frac{mh - ms}{ms} \times 100\%$$

Mh : Masse humide de l'échantillon.

Ms : Masse sec de l'échantillon.

II.2.8.Essai de la teneur en eau [NF P18-554]

Définition :

La teneur en eau W d'un granulat est définie par le rapport de la masse d'eau contenue dans le granulat sur la masse de granulat sec ou par le rapport de la différence entre la masse de l'échantillon humide et la masse de l'échantillon sec, à la masse sec de l'échantillon. [11]

Principe de l'essai :

La teneur en eau est déterminée expérimentalement en desséchant une quantité connue de granulats jusqu'à masse constante.

Peser l'échantillon humide, soit Mh Puis placé dans une étuve à 105°C pour faire s'évaporer l'eau, jusqu'à ce que le matériau soit sec (masse constante).Le peser soit Ms (masse de matériau sec).

$$w = \frac{mh - ms}{ms} \times 100\%$$

II.3.Résultats

II.3.1. Caractéristiques physico-mécaniques des agrégats utilisés

Les caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés sont regroupées dans le tableau suivant :

Caractéristiques	Unité	<u>Sables</u>		<u>Graviers</u>					
		Sable naturel	Sable argile expansée	Gravier naturel 3/8	Gravier naturel 8/16	Gravier naturel 16/25	Gravier argile expansée 3/8	Gravier argile expansé e 8/16	Gravier argile expansée 16/25
Masse volumique apparente	Kg/m ³	1380	920	1385	1365	1450	670	510	425
Masse volumique absolue	Kg/m ³	2500	1830	2450	2450	2450	860	710	625
Module de finesse	%	2.7	3.1	-	-	-	-	-	-
Equivalent de sable visuel	%	96,86	97,21	-	-	-	-	-	-
Résistance à la fragmentation (los Angeles)	%	-	-	23			28,52		
Résistance à l'usure (Micro	%	-	-	16			47,79		

Deval)									
Absorption d'eau	%	-	-	0.2	0.2	0.2	12,98	7,2	12,1
Teneur en eau	%	0,91	7,55	-	-	-	2,35	0,4	0,19

Tableau II.07. Caractéristique des granulats.

Remarque :

D'après les résultats nous pouvons constater les remarques suivantes :

- Le module de finesse de sable d'argile expansée est plus grand que celle du sable naturel
- Les granulats d'argiles expansées sont d'une forte capacité d'absorption d'eau et moins masse volumique que celle des granulats naturels.

II.3.2. L'analyse granulométrique des agrégats :

Les résultats de l'analyse granulométrique des deux sables et des différents types des graviers sont illustrés par les tableaux suivants :

Tamis	mi(g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
3,15	3,4	0,35	0,35	99,65
2,5	15,4	1,53	1,880	98,12
2	25,8	2,57	4,451	95,549
1,6	53,0	5,29	9,743	90,257
1,25	96,2	9,61	19,357	80,643
0,63	418,2	41,86	61,237	38,763
0,5	234,1	23,40	84,648	15,352
0,315	59,1	5,89	90,54	9,460
0,2	73,7	7,40	97,943	2,057
0,16	6	0,59	98,533	1,467
0,125	8,39	0,859	99,383	0,617
0,08	3,2	0,310	99,693	0,307
0,05	1,8	0,190	99,883	0,117
Fond	1,1	0,110	99,999	0,007

Tableau II.08 : Résultats de l'analyse granulométrique du Sable de rivière utilisé.

Tamis	mi(g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
5	0	0	0	100
3,15	0,1	0,01	0,01	99,99
2,5	6,7	0,68	0,695	99,305
2	88,3	8,89	9,585	90,415
1,6	184,5	18,59	28,175	71,825
1,25	203,2	20,49	48,665	51,335
0,63	278,70	28,10	76,76	23,24
0,5	66,8	6,73	83,49	16,51
0,315	44	4,43	87,92	12,08

0,2	69,80	7,04	94,96	5,04
0,16	13,10	1,32	96,28	3,72
0,125	11,80	1,19	97,28	2,53
0,08	12,80	1,29	98,76	1,24
0,05	8,30	0,83	99,59	0,41
Fond	3,70	0,37	99,96	0,04

Tableau II.09. Résultats de l'analyse granulométrique du sable d'argile expansée.

Tamis	Gravier (3/8) Naturel				Gravier (3/8) d'Argile Expansée			
	mi(g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât	mi(g)	ai(%)	Ai(%)	Tamisât
8	0,61	0,037	0,037	99,96	28,50	1,78	1,78	98,22
6,3	1172,91	73,44	73,48	26,51	240,5	15,05	16,83	83,17
5	249,1	15,52	89,006	10,99	265,60	16,60	33,34	66,57
3	162,49	10	99,176	0,823	723,90	45,32	78,75	21,25
Fond	13,20	0,82	100	0	338,90	21,22	99,97	0,03

Tableau II.10. L'analyse granulométrique du gravier 3/8.

Tamis	Gravier (8/16) Naturel				Gravier (8/16) d'Argile Expansée			
	mi(g)	ai (%)	ai(%)	Tamisât	mi(g)	ai(%)	ai(%)	Tamisât
16	5,99	0,188	0,188	99,81	76,50	2,40	2,40	97,60
12,5	759,40	23,83	24,02	75,98	2612,3	81,98	84,38	15,62
10	1513,77	47,51	71,53	28,47	457,50	14,35	98,73	1,27
8	777,93	24,41	95,94	4,061	33,40	1,04	99,77	0,23
Fond	129,38	4,06	100	0	6,50	0,204	99,87	0,03

Tableau II.11. L'analyse granulométrique du gravier 8/16.

Tamis	Gravier (16/25) Naturel				Gravier (16/25) d'Argile Expansée			
	mi(g)	ai (%)	ai(%)	Tamisât	mi(g)	ai(%)	ai(%)	Tamisât
25	10	0.2	0.2	99.8	5	0.14	0.14	99.86
20	115	2.30	2.5	97.5	10	0.29	0.43	99.57
16	4385	87.87	90.37	9.63	2940	85.96	86.39	13.61
Fond	480	9.61	99.98	0.02	465	13.59	99.98	0.02

Tableau II.12. L'analyse granulométrique du gravier 16/25.

Les deux figures suivantes présentent les courbes granulométriques des différents types du sable et du gravier :

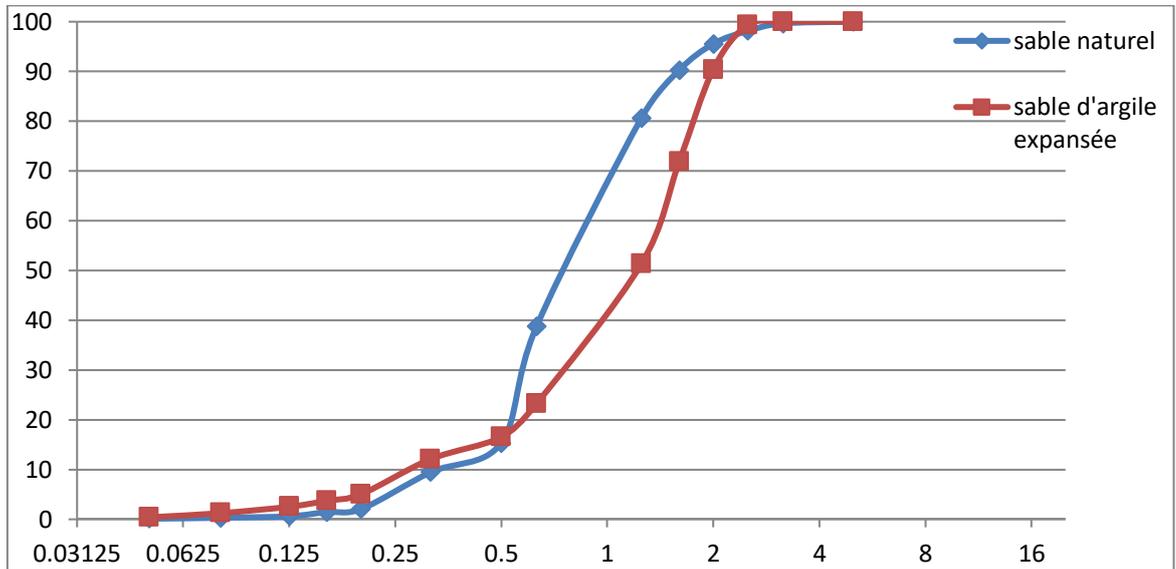


Figure II.11. Courbe granulométrique des différents types de sables.

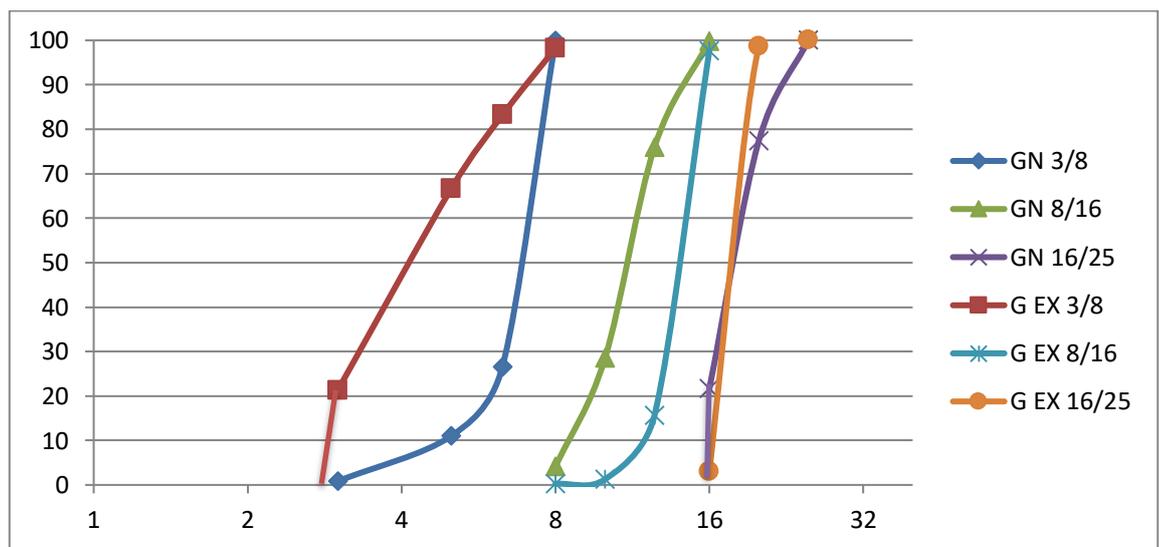


Figure II.12. Courbe granulométrique des différents types de gravier.

II.4. FORMULATION DES BETONS

II.4.1. Formulation du béton ordinaire par la méthode de Dreux-Gorisse.

La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton.

Dans cette étude on a formulé quatre compositions de **béton ordinaire** dans le cadre d'une

substitution entre les granulats naturels et les granulats d'argiles expansées. On a commencé par la formulation du **B₀ témoin** avec des granulats (sable, gravier) naturels, ensuite nous avons remplacé le sable naturel par le sable d'argile expansée, après on à remplacer les graviers naturels par des graviers d'argile expansée.

Enfin, nous avons formulé une composition qui contient complètement des granulats d'argiles expansées.

La propriété mesurée à l'état frais est la maniabilité déterminée par l'affaissement au cône d'ABRAMS.

II.4.1.1. Données de base

Le but de cette formulation est de produire un béton courant de résistance caractéristique envisagée en compression de 30 MPa à 28 jours ($F_{c28} = 30$ Mpa), $D_{max} = 16$ mm, $A_c = 7$ cm.

Le rapport E/C est fixe pour tous les compositions. $E/C = 0,52$.

II.4.1.2. Étapes de calcul

- Critère de résistance :

Par mesure de sécurité cette valeur doit être supérieure de 15% à la résistance minimale F_{c28} .

$$\sigma'_{28} = 1.15 \times F_{c28}$$

- Le rapport C/E :

Le rapport C/E est calculé grâce à la formule de Bolomey :

$$\sigma'_{28} = G' \sigma'_c (C/E - 0.5)$$

-Le dosage en ciment :

La quantité de ciment est déterminée en fonction de la valeur du C/E et de l'affaissement au cône d'Abarms. La figure 13 illustre la procédure.

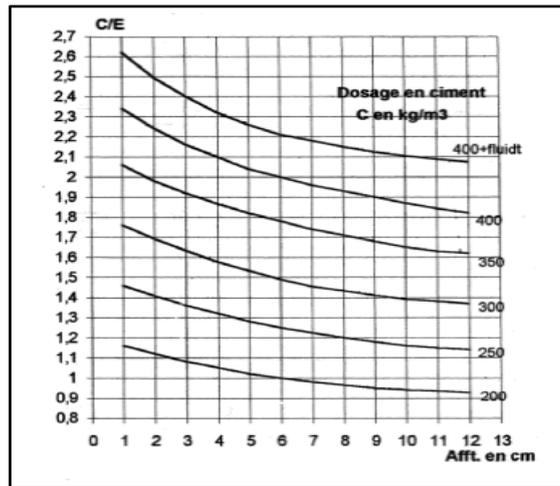


Figure. II.13 : Abaque de détermination du ciment

Le dosage en Eau : -

La quantité d'eau nécessaire se calcule en fonction de la valeur du rapport C/E et C.

$$E = C / (C/E)$$

- Le dosage en granulats :

On trace la référence OAB de la courbe granulométrique et on calcul les points :

O(0,0), **A**(X, Y), **B** (Dmax, 100%),

Si : Dmax < 20mm XA = Dmax/2

Si : Dmax > 20mm XA = (module Dmax + 38) / 2.

Et : YA = 50 - $\sqrt{D + K + K_s + K_p}$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de la forme des granulats, de la puissance de serrage et de la finesse de sable.

Le point d'intersection entre la ligne de partage et la courbe OAB de mélange optimum indique les proportions en pourcentage de volume absolu des granulats. Ces pourcentages sont lus sur le pourcentage de tamisât correspondant à ce point d'intersection.

-le volume total des granulats :

$$Vt = (1000 \times \gamma) - Vc$$

-la masse des granulats :

$$Vs = Vt \times S\% \qquad Ms = Vs \times \rho_{abs}(s)$$

$$Vg = Vt \times g\% \qquad Mg = Vt \times \rho_{abs}(g)$$

$$VG = Vt \times G\% \qquad MG = VG \times \rho_{abs}(G)$$

Après application théorique, les pourcentages des granulats et les résultats des quatre formulations des bétons ordinaires avec quatre types des granulats différents sont présentés dans les tableaux suivants.

II.4.1.3. La composition des bétons :

Nous avons tracé les courbes granulaires de référence de chaque type de béton ordinaire et calculer la formulation avec les types des granulats différent.

- Courbes granulaires de référence de chaque type

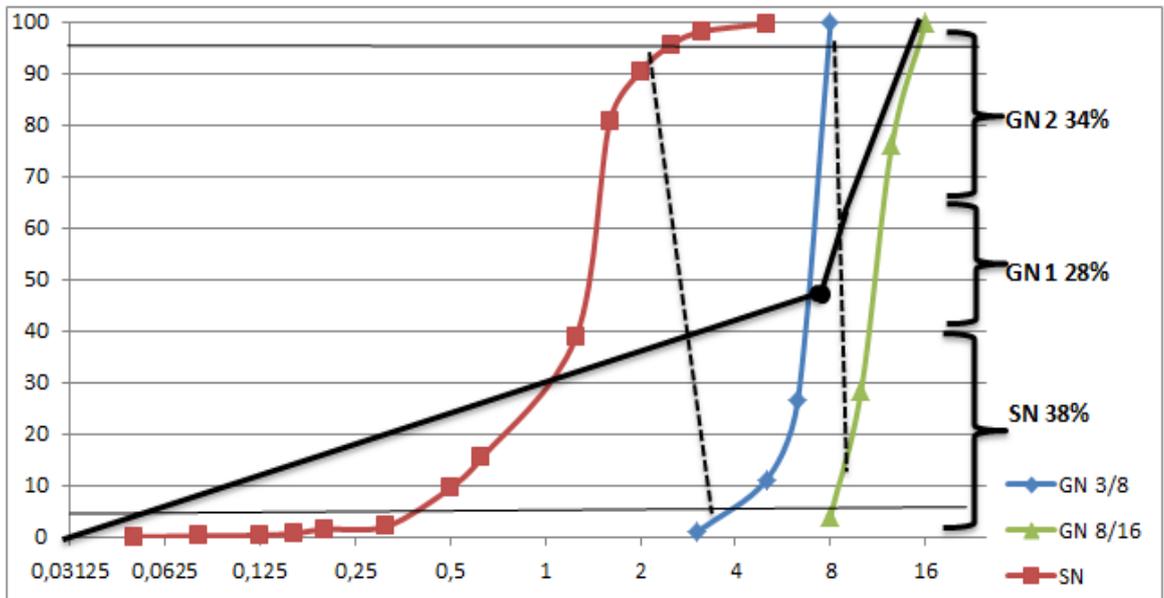


Figure. II.14. Courbe de référence du béton ordinaire témoin a base des granulats naturels

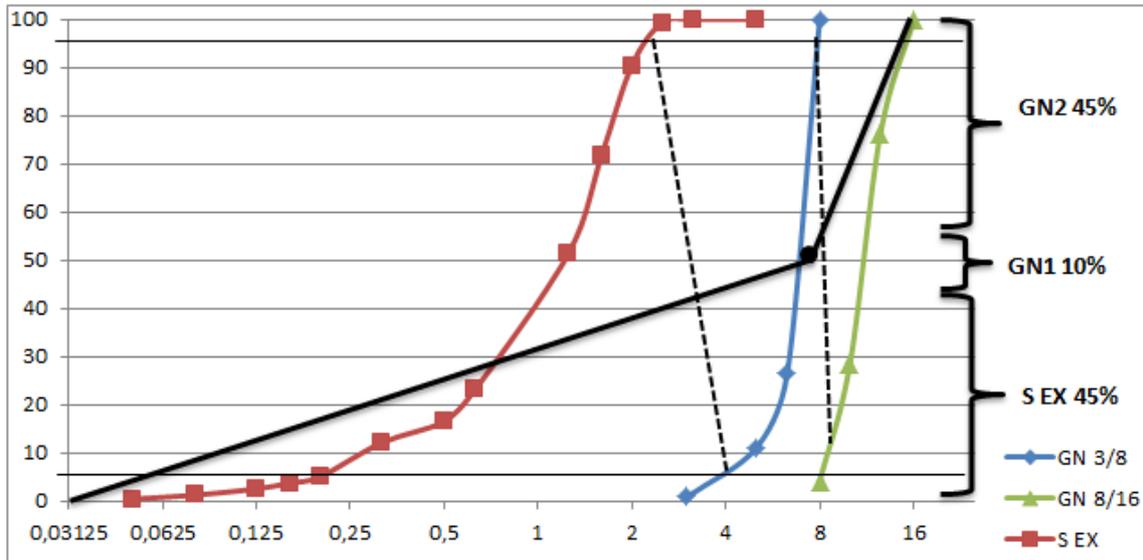


Figure II.15. Courbe de référence du béton ordinaire à base du sable d'argile expansée et graviers naturels

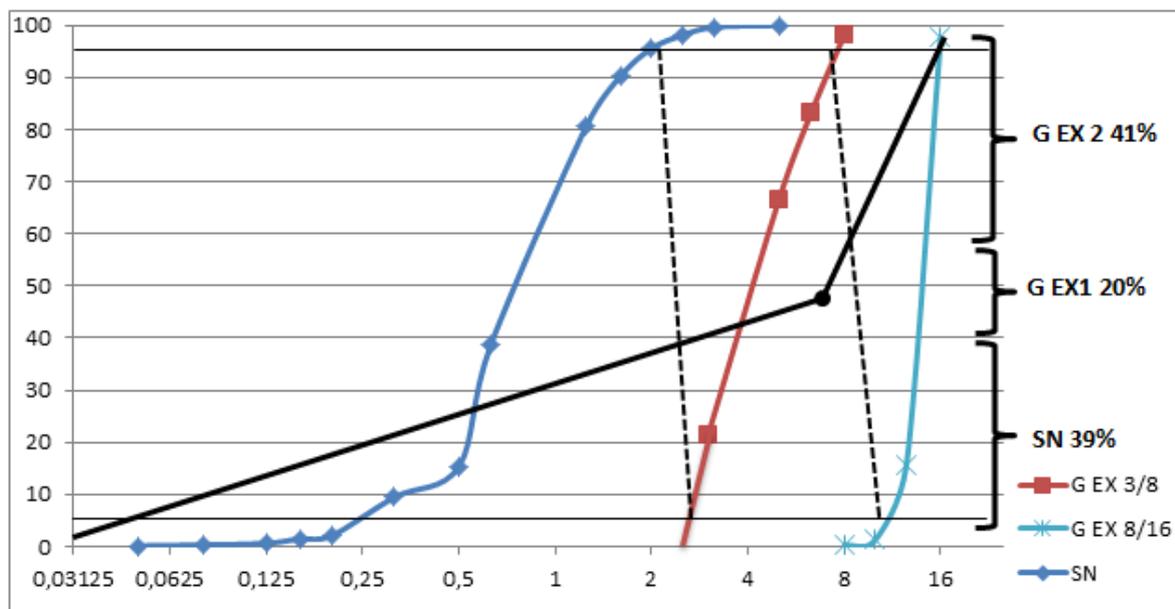


Figure. II.16. Courbe de référence du béton ordinaire à base du sable naturel et graviers d'argile expansée.

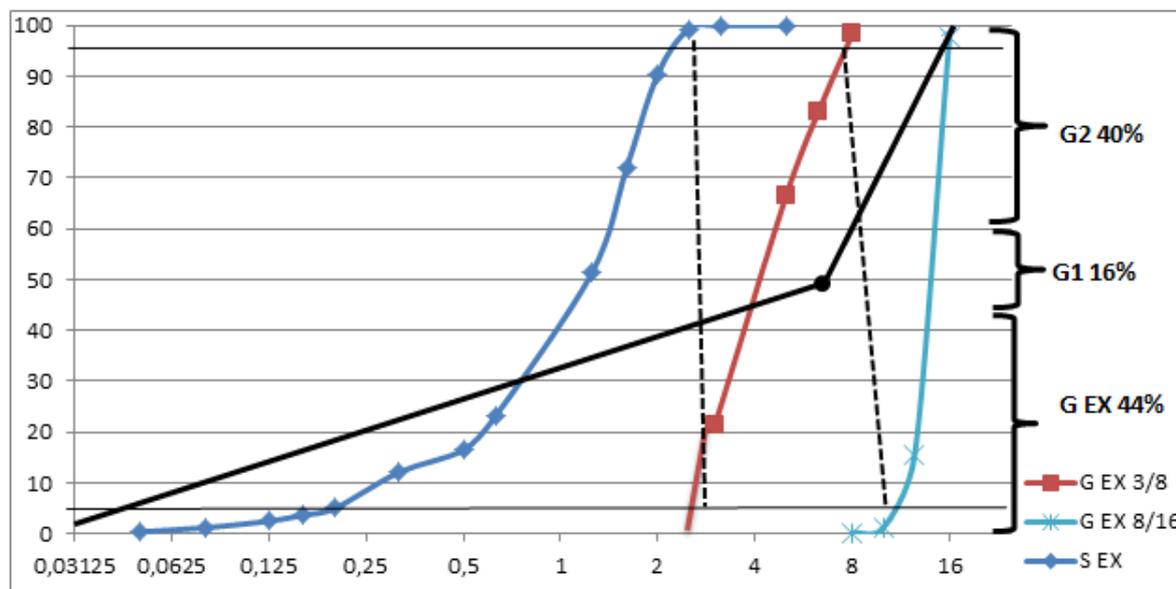


Figure. II.17. Courbe de référence du béton ordinaire à base des granulats d'argile expansée

Les pourcentages des granulats de chaque type de béton sont donnés dans les tableaux suivants :

	BOI	BOII	BOIII	BOIV
Sable (%)	38%	45%	39%	44%
Gravier 3/8 (%)	28%	10%	20%	16%
Gravier 8/16 (%)	34%	45%	41%	40%

Tableau II.13. Les pourcentages des granulats.

- **BOI** : béton témoin a base des granulats naturels.
- **BOII** : béton à base de sable d'argile expansée et graviers naturels.
- **BOIII** : béton à base de sable naturel et graviers d'argile expansée.
- **BOIV** : béton à base des granulats d'argile expansée.

La substitution entre les granulats dans chaque composition est illustrée dans le tableau suivant :

	BOI	BOII	BOIII	BOIV
Sable naturel	X		X	
Sable d'argile expansée		X		X
Gravier naturel (3/8)	X	X		
Gravier d'argile expansée (3/8)			X	X
Gravier naturel (8/16)	X	X		
Gravier d'argile expansée (8/16)			X	X

Tableau II.14 : composition des constituants pour chaque substitution.

Le tableau suivant résume les dosages des constituants en Kg/m³ pour chaque type de béton :

Constituants	Dosages en Kg/m ³							
	Ciment	Eau	Sable naturel	Sable d'argile expansée	Gravier naturel (3/8)	Gravier d'argile expansée (3/8)	Gravier naturel (8/16)	Gravier d'argile expansée (8/16)
BOI	400	208	639.13	-----	490.92	-----	575.59	-----
BOII	400	208	-----	556.34	169.88	-----	778.71	-----
BOIII	400	208	690.96	-----	-----	129.14	-----	202.11
BOIV	400	208	-----	569.01	-----	89.14	-----	207.28

Tableau II.15. La formulation des bétons ordinaires.

II.4.2. Formulation du béton à haute performance (BHP)

L'optimisation de la formulation d'un BHP consiste à diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire, La méthode de formulation du béton à hautes performances est illustrée ci-dessous.

II.4.2.1. données de base

Résistance caractéristique visé en compression = 60 MPa à 28 jrs

$$F_{c28} = 60\text{MPa}$$

II.4.2.2. Étapes de calcul

-Le rapport Eau/Liant :

On peut trouver le rapport eau/liant en utilisant l’abaque de rapport E/L en fonction de la résistance à la compression pour des bétons ayant des résistances à la compression données à 28 jours.

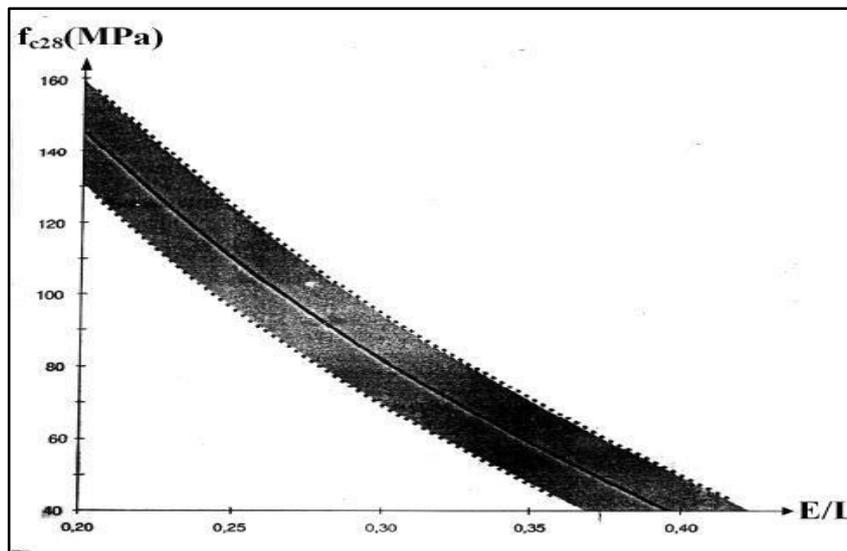


Figure II.18. Relation entre le rapport eau/liant et la résistance à la compression.

Dosage en eau

Pour avoir un bon rapport entre la quantité d’eau et super plastifiant on utilise un plan d’expérience. Toutefois, comme cette méthode et La figure II.18 présente une approche simplifiée, basée sur le concept de point de saturation.

Point de saturation	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	%
Dosage en eau	120 à 125	125 à 135	135 à 145	145 à 155	155 à 165	l/m^3

Figure II.19. Détermination du dosage en eau

- **Dosage en liant**

Pour trouver le dosage en liant il faut juste applique la relation suivante :

$$L=E/(E/L)$$

- **Dosage en super plastifiant**

Le dosage en super plastifiant se déduit du dosage au point de saturation. Si l'on ne connaît pas le point des saturations, on peut toujours commencer avec un dosage en super plastifiant égale à 1.0 %.

$$SP = 1,0\% \text{ Par rapport au poids de liant}$$

- **Dosage en filler et ciment**

$$F = 20\% \text{ Liant}$$

$$C = L - F$$

- **Dosage en granulats**

On trace la référence OAB de la courbe granulométrique et on calcul les points : O(0,0), A(X, Y), B (Dmax, 100%).

- Si $D_{max} \leq 25\text{mm}$. $XA = D/2$
- Si $D_{max} > 25\text{mm}$, « A » se projette au milieu du segment limité par le module 38 (6,3mm passoire) et le module correspondant à « D ». Ordonnée Y du point de brisure :
- Le pourcentage Y des tamis cumulatifs est :

$$Y = 50 - \sqrt{D_{max} + K}$$

K : est un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de la forme des granulats, de la puissance de serrage et de la finesse de sable.

Les points d'intersection entre les lignes de partage et la courbe OAB donnent les pourcentages des granulats.

- **Volume totale des granulats**

$$VT = 1000 - (VC + VE + VSP + VLG)$$

- Masse des granulats

$$V_s = V_t \times S \%$$

$$M_s = V_s \times \rho \text{ abs}(s)$$

$$V_g = V_t \times g \%$$

$$M_g = V_t \times \rho \text{ abs}(g)$$

$$V_G = V_t \times G \%$$

$$M_G = V_G \times \rho \text{ abs}(G)$$

Après application théorique, les pourcentages des granulats et les résultats des quatre formulations des bétons à haute performance avec quatre types des granulats différents sont présentés dans les tableaux suivants.

II.4.2.3.La composition des bétons :

Nous avons tracé les courbes granulaires de référence de chaque type de BHP et calculer la formulation avec les types des granulats différent.

- Courbes granulaires de référence de chaque type

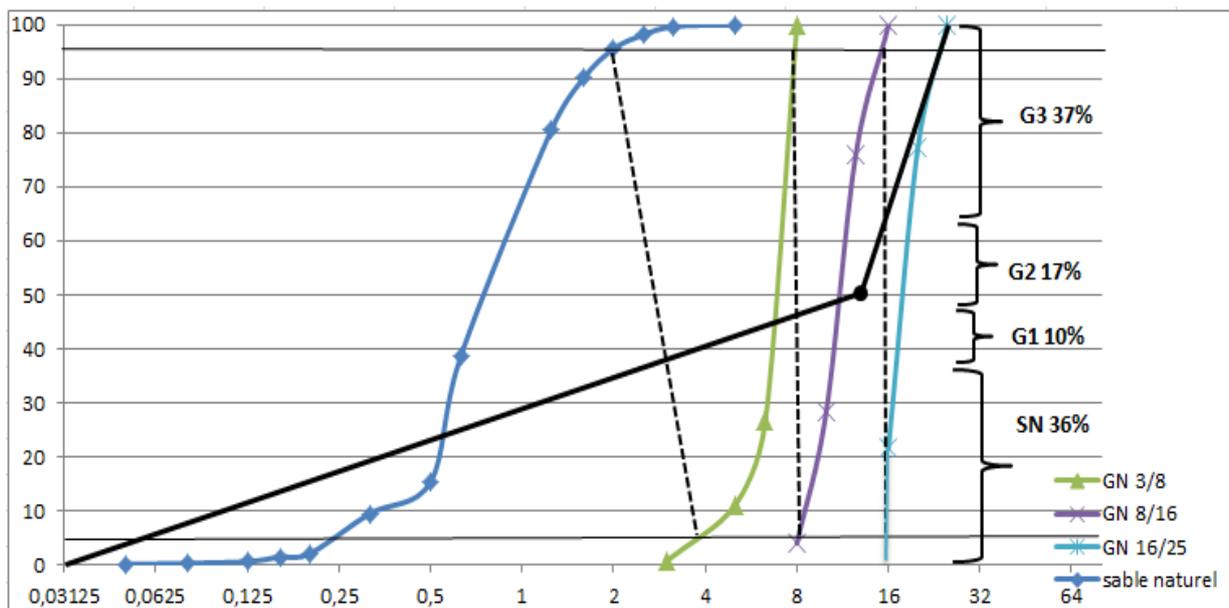


Figure. II.20. Courbe de référence du BHP témoin a base des granulats naturels.

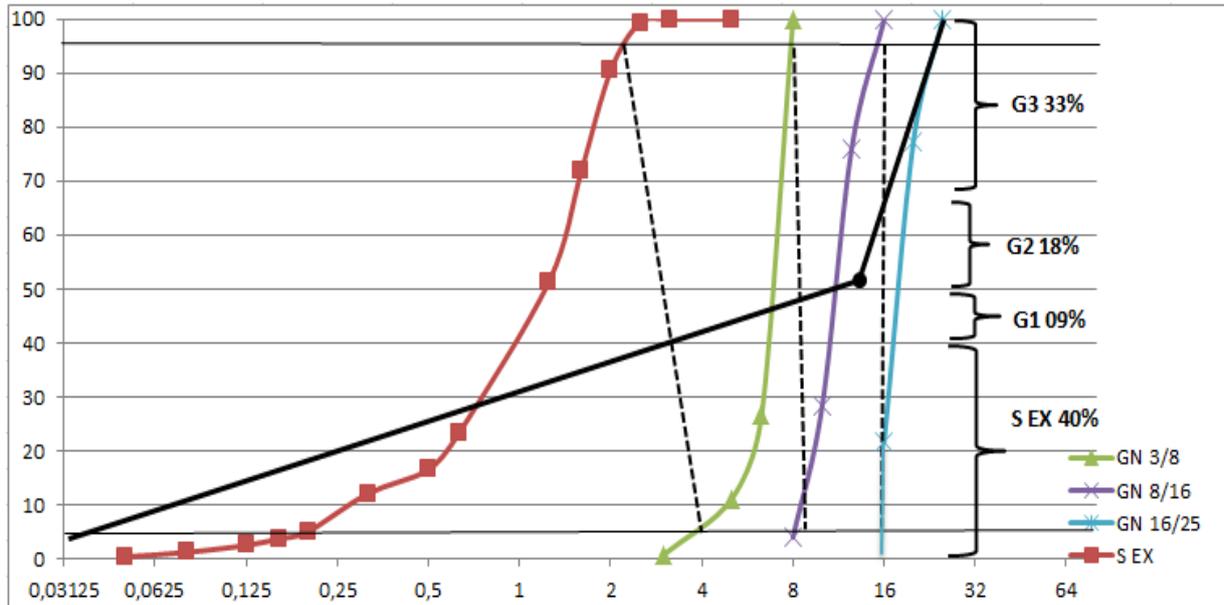


Figure. II.21. Courbe de référence du BHP à base de sable d'argile expansée et graviers naturels.

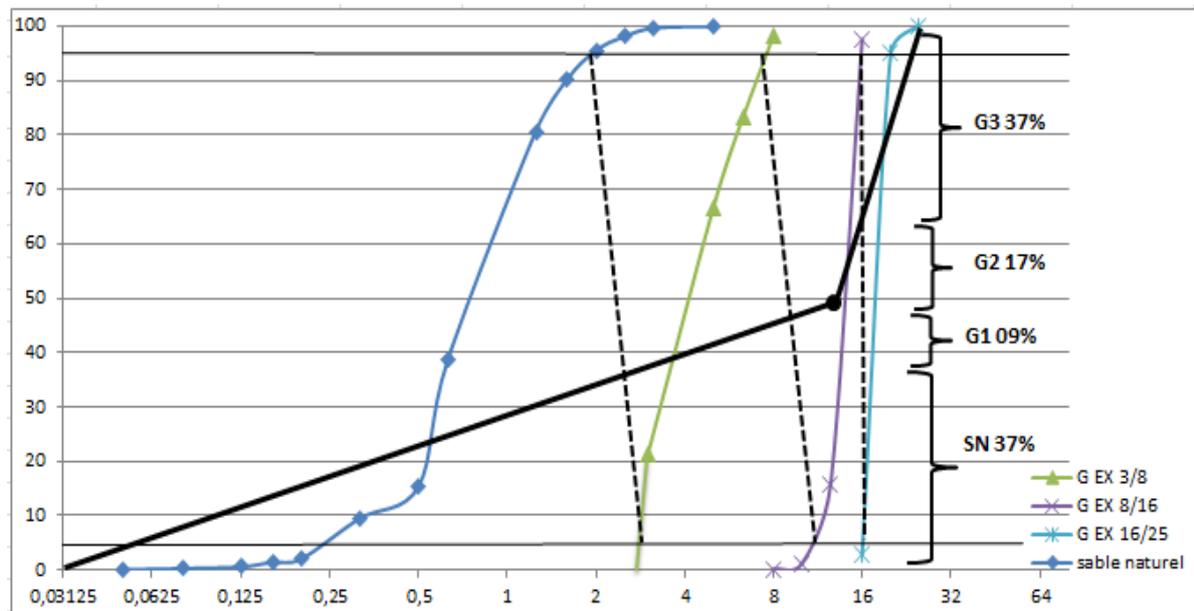


Figure II.22. Courbe de référence du BHP à base de sable naturel et graviers d'argile expansée.

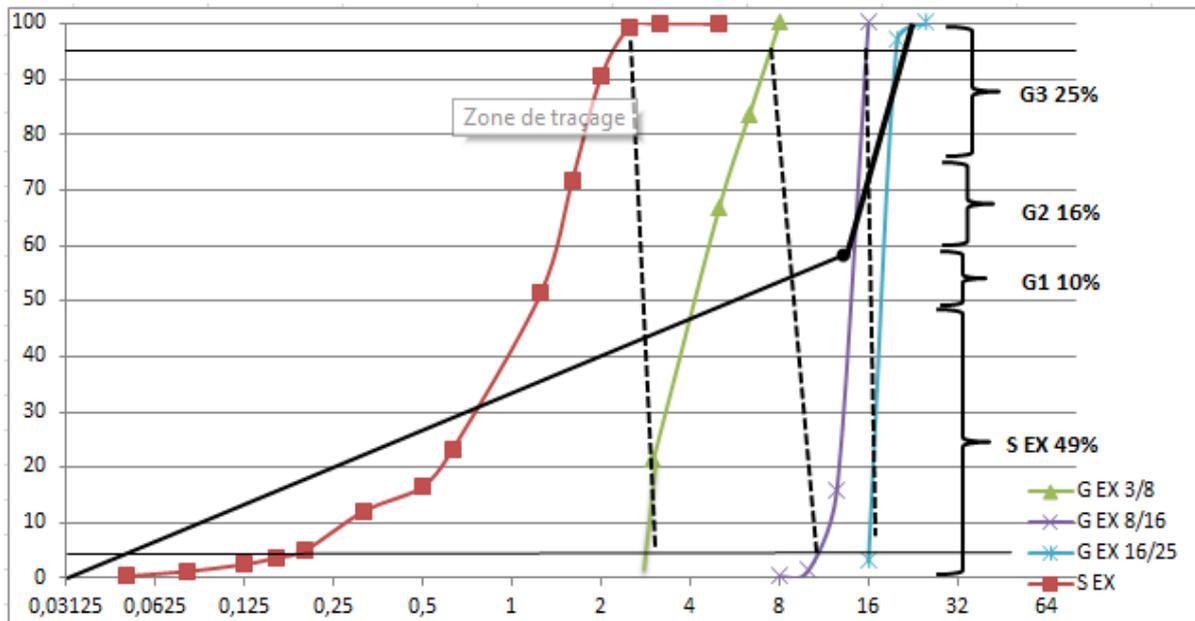


Figure. II.23. Courbe de référence du BHP à base des granulats d’argile expansée.

Les pourcentages des granulats de chaque type de béton sont donnés dans le tableau II.16 :

	BHPI	BHPII	BHPIII	BHPIV
Sable (%)	36%	40%	37%	49%
Gravier 3/8 (%)	10%	9%	9%	10%
Gravier 8/16 (%)	17%	18%	17%	16%
Gravier 16/25 (%)	37%	33%	37%	25%

Tableau II.16. Pourcentages des granulats

BHPI : Béton témoin a base des granulats naturels.

BHPII : Béton à base de sable d’argile expansée et graviers naturels.

BHPIII : Béton à base de sable naturel et graviers d’argile expansée.

BHPIV : Béton a base des granulats d’argile expansée.

Le suivant tableau résume la substitution entre les granulats dans chaque :

	BHP I	BHP II	BHP III	BHP IV
Sable naturel	X		X	
Sable d'argile expansée		X		X
Gravier naturel (3/8)	X	X		
Gravier d'argile expansée (3/8)			X	X
Gravier naturel (8/16)	X	X		
Gravier d'argile expansée (8/16)			X	X
Gravier naturel (16/25)	X	X		
Gravier d'argile expansée (16/25)			X	X

Tableau II.17 dosages des constituants pour chaque substitution.

Le tableau suivant résume les dosages des constituants en Kg/m³ pour chaque type de béton :

Constituant	Dosages en Kg/m ³											
	C	Eau	Sable N (Nature)	S A.Ex (argile)	Gravier N (3/8)	G A.Ex (3/8)	GN (8/16)	G A.Ex (8/16)	GN (16/25)	G A.Ex (16/25)	Laitier	SP
BHP I	388.8	140	598.21	-----	146.56	-----	239.12	-----	602.51	-----	129.62	3.37
BHP II	388.8	140	-----	514.97	151.32	-----	285.87	-----	554.92	-----	129.62	3.37
BHP III	388.8	140	857.97	-----	-----	96.76	-----	126.62	-----	188.74	129.62	3.37
BHP IV	388.8	140	-----	628.03	-----	96.76	-----	126.62	-----	188.74	129.62	3.37

Tableau II.18. La formulation des bétons.

II.5. Fabrication et mise en place et conservation :

II.5.1. Le malaxage :

Le malaxage des bétons a été réalisé à l'aide d'une bétonnière d'une capacité de 30 litres qui assure le mélange des constituants par simple rotation de la cuve, suivant un axe qui peut être horizontal ou légèrement penché.

Le meilleur brassage des éléments est obtenu lorsque l'inclinaison de la cuve sur l'horizontale ne dépasse pas 15 à 20° environ.

Les pales collées à la paroi intérieure du tambour sont d'une grande importance, et leurs dispositions permettent le bon versement des constituants dans la cuve, ainsi une bonne homogénéisation du mélange.

La séquence de malaxage de différentes constituantes décrit comme suit :

Chaque constituante introduit dans la bétonnière dans l'ordre suivant : gros gravier, gravillon, sable, ciment et « laitier granulé pour le (BHP) ».

Puis malaxage à sec pendant 60 secondes.

-Introduction de 75% d'eau et malaxage pendant 2 minutes.

-L'adjuvant est noyé dans les 25% d'eau restante, en suite introduit dans la bétonnière. (Pour le BHP)

Puis malaxage pendant 2 minutes. Alors la durée totale du malaxage est de 5 minutes



Figure II.24. Bétonnière utilisée pour le malaxage des composants.

II.5.2.Choix des éprouvettes et coulage des bétons

On met le béton frais dans des moules cubiques (10x10x10) cm³, les moules sont en acier doux (non déformable lors de l'usage), lubrifiés à l'aide d'une huile synthétique (commun pour les véhicules et les engins) au quel assure un surfacage parfait sans collage aux parois des moules au moment de décoffrage. Pour chaque essai on utilise trois éprouvettes. Après le coulage on met les moules sur la table vibrante.



Figure II.25. Moules cubiques.

II.5.3.Vibration [NF P18 421]

La mise en place du béton est réalisée sur une table vibrante (vibration externe), selon la norme [NFP18 421]. [12].

Le serrage du béton doit être effectué immédiatement après le remplissage des moules de façon à obtenir un serrage à refus du béton sans ségrégation.

-La durée de vibration est 30 + 30 (1min) secondes pour les agrégats naturels.

-30 secondes pour les agrégats argileux. (Phénomène de flottation des agrégats légers).



Figure II.26. Eprouvette sur la table vibrante.

II.5.4. Démoulage et conservation (NF EN 12390-2)

Le démoulage a été effectué à un jour (après 24H). Une fois démoulés, les échantillons ont été conservés dans un bac rempli d'eau potable à une température et humidité ambiante jusqu'à l'échéance déterminée (7 jours, 28 jours ou plus). [13]



Figure : II.27. Démoulage et conservation.

II.6. Descriptions des essais sur le béton :

II.6.1. Les essais sur le béton frais

Les principaux essais effectués sur les bétons frais sont les suivants :

II.6.1.1 Essai d'affaissement [NF EN 12350-2]

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est réalisé suivant les prescriptions de la norme [NFEN 12350-2]. Il permet de déterminer la consistance d'un béton frais en mesurant l'affaissement « h » qui n'est autre que la différence entre la hauteur du moule conique utilisé et le point le plus haut du corps d'épreuve affaissé[14], comme le montre la **Figure II-28**.

Principe de l'essai

Le béton frais piqué par la tige est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.



Figure II.28 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Classes de consistance	Affaissement (cm)	Tolerance (cm)
Ferme F	0 à 4	± 1 cm
Plastique P	5 à 9	± 2 cm
Très plastique TP	10 à 15	± 3 cm
Fluide Fl	≥ 16	

Tableau II.19. Classe de consistance en fonction d'affaissement.

II.6.1.2.Masse volumique du béton frais [NF EN 12 350-6]

La masse volumique ρ à l'état frais du béton est calculée en kg/m^3 lors de chaque coulage conformément à la réglementation en vigueur (NF EN 12350-6), Cette mesure consiste à

peser un récipient vide et rempli de béton vibré, la différence des deux pesées divisées par le volume du récipient [15], en appliquant la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{M_r - M_v}{V}$$

M_r : la masse du récipient rempli de matériau en kg.

M_v : la masse du récipient vide en kg.

V : volume du récipient en m³.



Figure II.29. Mesure de la masse volumique à l'état frais.

II.6.2 les essais sur le béton durci

II.6.2.1. Masse volumique du béton durci [NF EN 12 390-7]

La masse volumique de béton à l'état durci est le rapport de la masse de l'éprouvette à 28 jours par unité de son volume en kg/m³. Cet essai a été réalisé selon la norme (NF EN 12 350-7). [16]



Figure II.30. Mesure de la masse volumique à l'état durci

II.6.2.2L'essai de résistance à la compression [NF EN 12390-3]

L'essai de détermination de la résistance à la compression sur béton durci a été réalisé sur des éprouvettes de forme cubique de dimensions (10x10x10) cm^3 conformément à la norme européenne (NF EN 12390-3). [17]

En substance, cet essai consiste à appliquer la charge sans choc et l'accroître de façon continue à une vitesse constante jusqu'à la rupture.

La résistance en compression est calculée à partir de la formule suivante :

$$\sigma = F/S$$

σ : Est la résistance en compression exprimée en MPa (N/mm^2),

F : Est la charge maximale exprimée en N,

S : Est La section transversale d'éprouvette.



Figure II.31. Essai de compression.

CONCLUSION :

Ce chapitre présente les caractéristiques des matériaux utilisés dans la formulation des bétons (ordinaires, BHP) et leurs compositions et les différents essais à l'état frais et durcis. Ces essais de caractérisation nous permettent de tirer les conclusions suivantes :

-Deux types de sable utilisés pour la réalisation de ce travail le premier est un sable de rivière avec un module de finesse moyen est égale à 2,3 (sable de la région de BOUTHELDJA El-Taref), et un sable d'argile expansée grossière avec un module de finesse est égale à 3,1. Ce qui s'explique par une ouvrabilité satisfaisante et une bonne résistance mécanique avec des risques de ségrégation limitée.

- Les granulats utilisés présentent des distributions granulométriques continues. Alors, on a obtenu une bonne qualité des matériaux qui assurent une compacité élevée du mélange.

-D'après l'essai d'équivalent de sable on a constaté que les sables sont très propres ($ES > 80$ conforme à la norme).

-La masse volumique des granulats d'argile expansée est très petite par rapport à M_v des granulats naturels, et ils ont une grande capacité d'absorption d'eau contrairement aux granulats naturels.

-Les graviers d'argile expansée ont une moyenne résistance à la fragmentation, et une faible résistance à l'essai d'usure.

-Pour fixer les constituants des bétons ordinaires et à haute performance étudiés nous avons utilisé la méthode de Dreux-Gorisse.

- [1][NA 442], « Norme Algérienne. Ciment : Composition, spécification et critère de conformité des ciments courants », 2005.
- [2] Fiche technique de super plastifiant POLYFLOW LSR 8800, SOLU EST (ANNABA).
- [3] [NF EN 1008],«Norme européenne spécifie les prescriptions pour l'eau convenant à la production de béton», juillet 2003.
- [4] [NF P 18-560], « Analyse granulométrique par tamisage », Septembre 1990.
- [5] [XP P 18-540],« module de finesse d'un sable », Octobre 1997.
- [6] [P18-597] « Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) », Décembre 1990.
- [7] [NF EN 1097-3]« La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat », Aout 1998.
- [8] [NF P 18-573] « Essai de résistance à la fragmentation Los-Angeles », Décembre 1990.
- [9] [NF P18-572]« Essai de résistanceà l'usure micro -Deval », Décembre 1990.
- [10] [NF P18-555] « Mesure des masse volumiques, coefficient d'absorption d'eau et teneur en eau des sables », Décembre 1990.
- [11] [NF P18-554] « Mesure des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d'absorption d'eau et de la teneur en eau des gravillons et cailloux », Décembre 1990.
- [12] [NF P18-421] « La mise en place du béton dans des moules par micro-table vibrante», Décembre 1981.
- [13] [NF EN 12390-2] « Confection et conservation des éprouvettes pour essais», Avril 2012.
- [14] [NF EN 12350-2]« Détermination de la consistance du béton frais par l'essai d'affaissement», Décembre 1999.
- [15] [NF EN 12 350-6] « Mesure des masses volumiques des bétons frais », Décembre 1999.
- [16] [NF EN 12 390-7] « Mesure des masses volumiques des bétons durci», Décembre 1999.
- [17] [NF EN 12 390-3] « Résistance à la compression des éprouvettes - Essais pour béton durci», Février 2003.

INTRODUCTION :

Dans la partie précédente, nous avons exposé les caractéristiques des matériaux utilisés, ainsi que la formulation des bétons qui doivent être étudiées.

Ce chapitre présente les résultats des essais obtenus à l'état frais et durci sur les bétons « ordinaire et à haute performance » à base d'argile expansé, La résistance mécanique à la compression sur des éprouvettes cubiques (10x10x10) cm .complète d'une analyse comparative avec discussions.

III.1. PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS

Les essais de caractérisation des propriétés des bétons à l'état frais sont présentés dans cette partie :

- Essai sur l'ouvrabilité (affaissement).
- La masse volumique (la densité).

III.1.1.Ouvrabilité des bétons.

L'ouvrabilité du béton est déterminée à l'aide de l'essai d'affaissement cône d'Abrams selon la norme [NF EN 12350-2].

A- Ouvrabilité du béton ordinaire.

L'essai est fait sur quatre compositions du béton ordinaire :

BOI : Béton ordinaire à base des granulats naturels.

BOII : Béton : ordinaire à base sable d'argile expansée et gravier naturel.

BOIII : Béton ordinaire à base de sable naturel et gravier d'argile expansée.

BOIV : Béton ordinaire à base des granulats d'argile expansée.

Les résultats de l'affaissement au cône d'Abrams des bétons testés sont illustrés dans la figure suivante :

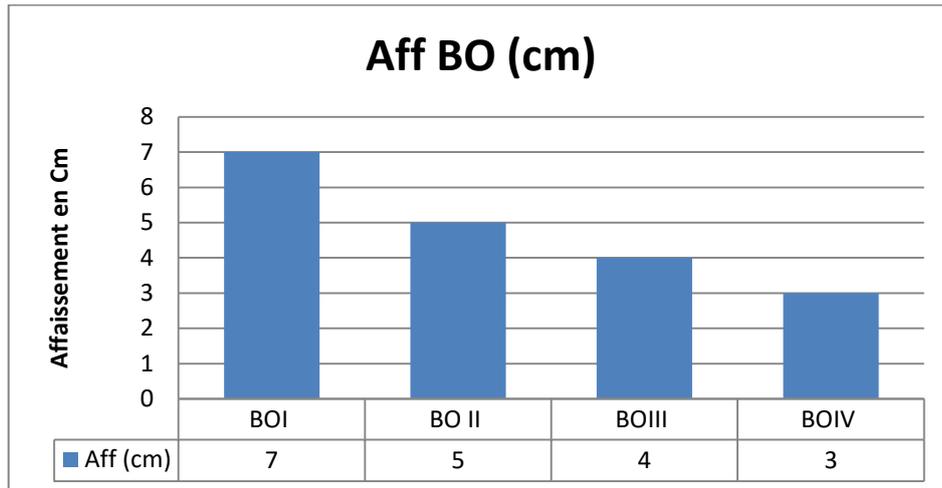


Figure III.1 Résultats d’affaissements des bétons ordinaires.

L’histogramme de la figure (III.1) montre que les différentes compositions des bétons ordinaires ont des valeurs d’affaissements décroissantes, La substitution des sables naturels par les sables d’argile expansée dans la composition du BOII a diminuée la maniabilité, Cette diminution est due à la nature et le module de finesse des sables d’argile expansée utilisé (sable gros).

Dans les deux dernières compositions on a utilisé des graviers d’argile expansée, dans la composition du BOIII la maniabilité abaissé, et la composition du BOIV nous donné un béton ferme, du fait des granulats d’argile expansée qui absorbent une quantité d’eau de gâchage ce qui influe évidemment sur l’ouvrabilité des mélanges.

B- Ouvrabilité du béton à haute performance.

L’essai est fait sur quatre compositions du béton à haute performance :

BHP I : Béton à haute performance à base des granulats naturels.

BHP II : Béton à haute performance à base sable d’argile expansée et gravier naturel.

BHP III : Béton à haute performance à base de sable naturel et gravier d’argile expansée.

BHP IV : Béton à haute performance à base des granulats d’argile expansée.

Les résultats de l’affaissement au cône d’Abrams des BHP testés sont illustrés dans la figure suivante :

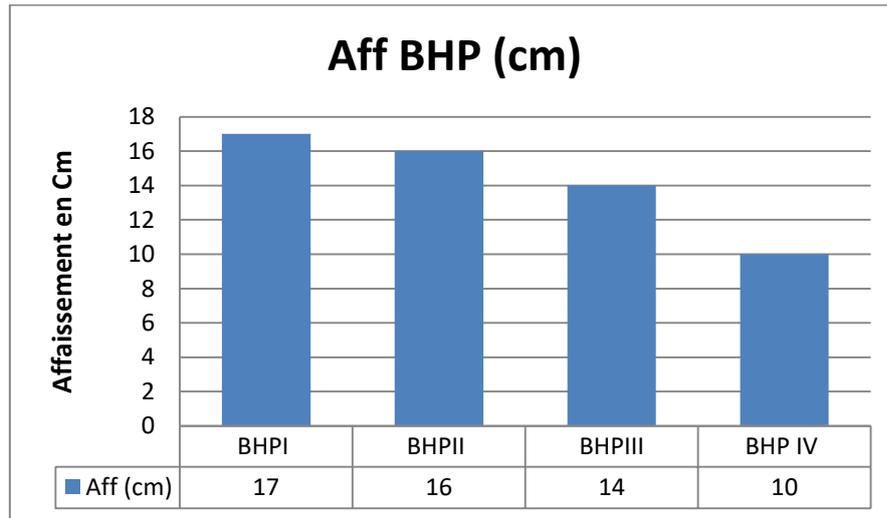


Figure III.2 Résultats d’affaissements des bétons a haute performances.

L’histogramme de la figure (III.1) montre que les différentes compositions des BHP ont des valeurs d’affaissements décroissantes, La substitution des sables naturels par les sables d’argile expansée dans la composition du BOII a diminuée légèrement la maniabilité, Cette diminution est due aux caractérisations géométriques de sable d’argile expansée. (Sable gros).

Dans les deux dernières compositions on a remplacé les graviers naturels par les graviers d’argile expansée, dans la composition du BOIII la maniabilité a baissé, et la composition du BOIV nous donné un béton ferme, du fait des granulats d’argile expansée qui absorbent une quantité d’eau de gâchage ce qui influe évidemment sur l’ouvrabilité des mélanges.

III.1.2. Masse volumique des bétons à l’état frais :

A- Masse volumique du béton ordinaire à l’état frais

Les résultats des masses volumiques du BO à l’état frais sont illustrés dans la figure suivante :

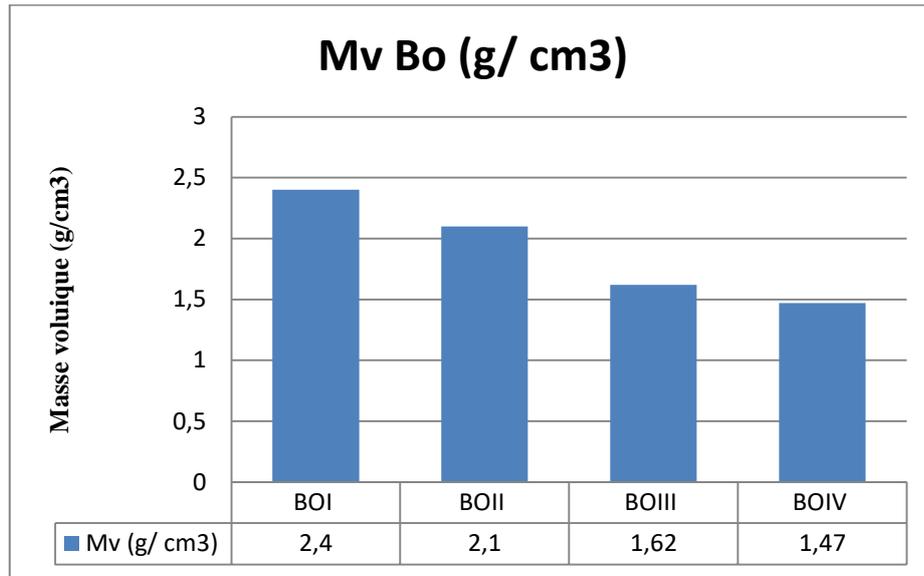


Figure III.3. Masse volumique à l'état frais des bétons ordinaire.

L'histogramme de la figure III.3 montre que la valeur de la masse volumique diminue lorsqu'on utilise les granulats d'argile expansée dans le béton ordinaire, et cela dû à la légèreté de ces granulats et ça faible masse volumique.

B] Masse volumique du béton à haute performances à l'état frais

Les résultats des masses volumiques du BHP à l'état frais sont illustrés dans la figure suivante :

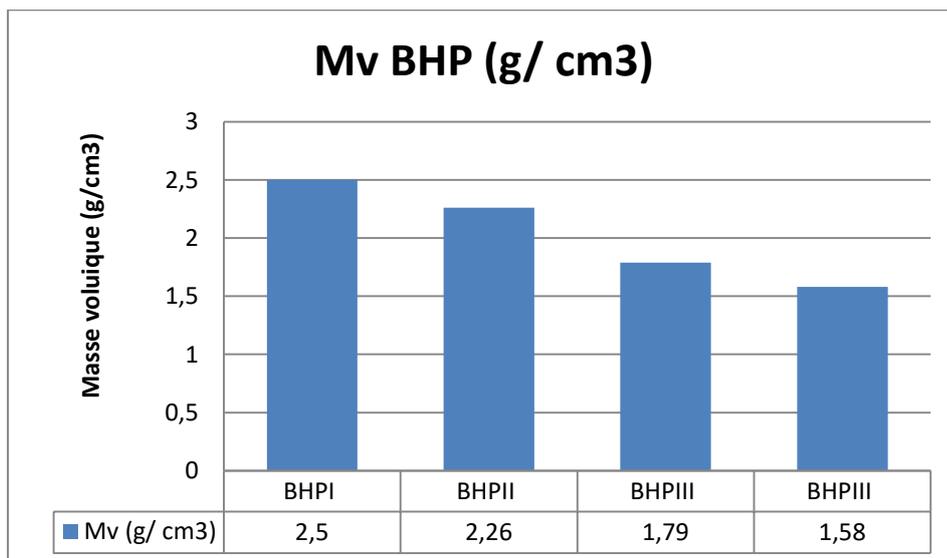


Figure III.4. Masse volumique à l'état frais des bétons à haute performance.

L'histogramme de la figure III.4 montre que la valeur de la masse volumique diminue lorsqu'on

utilise les granulats d'argile expansée dans le BHP, et cela dû à la légèreté de ces granulats et ça faible masse volumique.

III.2.PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT DURCI

III.2.1.Masse volumique des bétons à l'état durci :

A- Masse volumique du béton ordinaire à l'état durci

Les résultats des masses volumiques à l'état durci sont illustrés dans la figure suivante :

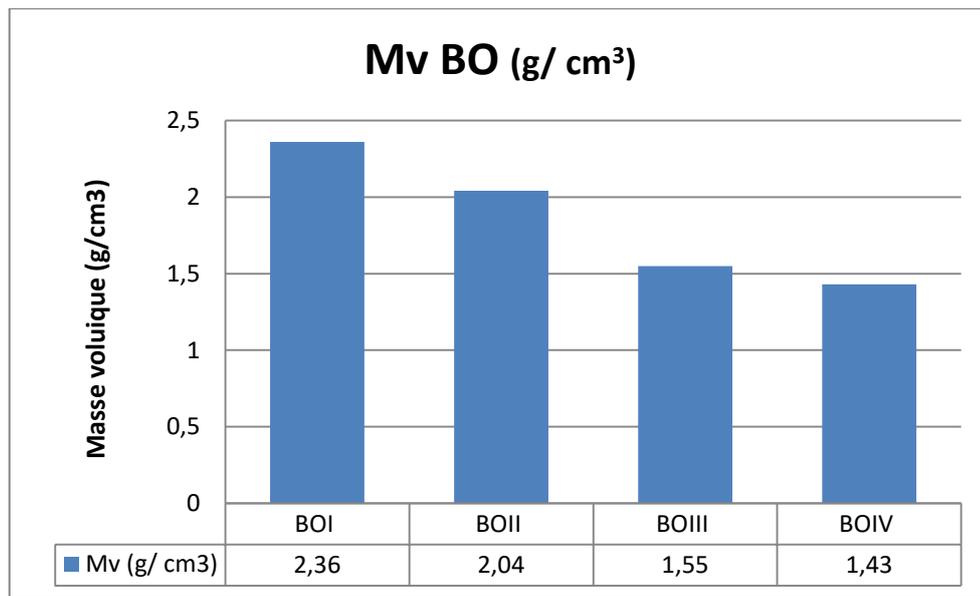


Figure III.5. La masse volumique à l'état durci des bétons ordinaire.

D'après la figure (III.5) on constate que la masse volumique de béton témoin BOI est supérieur par rapport à la masse volumique des autres types de bétons .Cette différence est due essentiellement à la faible masse volumique des granulats utilisés (Argile Expansée).

B- Masse volumique du béton à haute performance à l'état durci

Les résultats des masses volumiques à l'état durci sont illustrés dans la figure suivante :

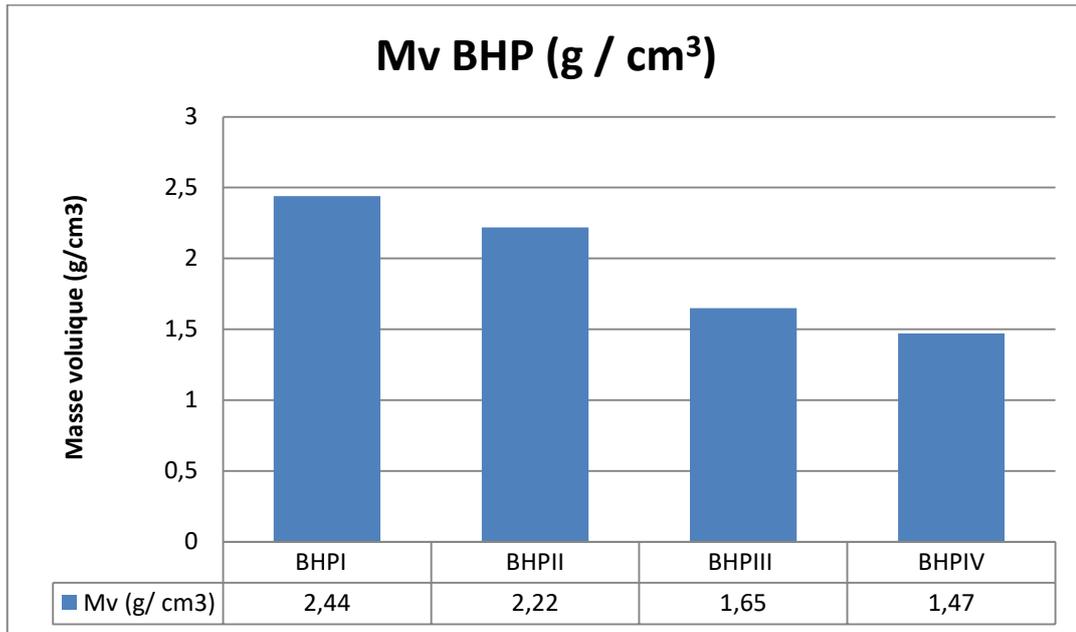


Figure III.6.La masse volumique à l'état durci des bétons à haute performance.

On constate que la masse volumique de béton témoin BHPI est supérieur par rapport à la masse volumique des autres types de bétons.

Le BHP IV qui est totalement à base des granulats d'argile expansée présente la plus faible masse volumique dans l'histogramme, Cette différence est due essentiellement à la légèreté des granulats d'argile Expansée.

III.2.2. Capacité d'absorption d'eau

La capacité d'absorption d'eau est calculée comme suit :

Capacité d'absorption d'eau :

$$W = \frac{(M_{sat} - M_{sec})}{M_{sec}} \times 100 \%$$

Les résultats de la capacité d'absorption d'eau sont illustrés dans la figure III.7

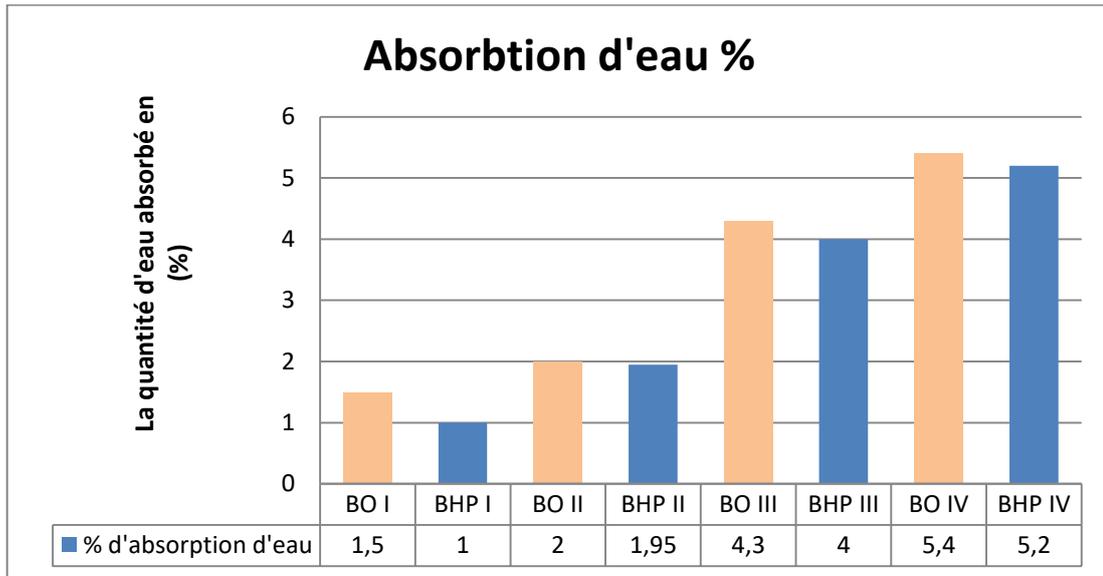


Figure III.7. Taux d’absorption d’eau des bétons ordinaire et à haute performances.

Concernant figure (III.7) l’absorption d’eau se défaire d’un type de béton à l’autre. Les bétons témoins BOI et BHPI (à base des granulats naturels) sont les moins poreux.

Les bétons à base d’argile expansée absorbent plus de l’eau grâce aux caractères poreux et la structure des granulats.

III.2.3. Résistance en compression

Cet essai a été effectué selon la norme (NF EN 12390-3).

A- Résistance à la compression des bétons ordinaire

Les résultats obtenus de la résistance en compression des bétons sont illustrés dans la figure III.8

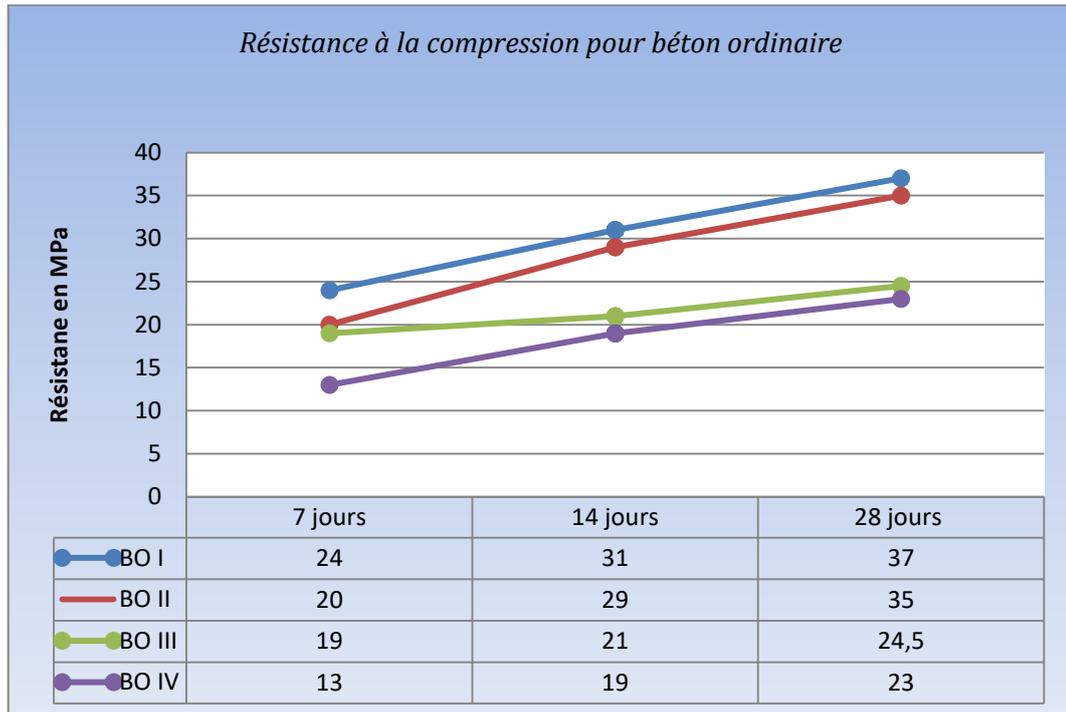


Figure III.8. Résistance à la compression des bétons ordinaire

D’après l’analyse globale des résistances en compression on observe que les résultats obtenue sur les quatre mélanges sont croissantes. Cela est dû au processus d’hydratation des minéraux du ciment.

Le béton à base des granulats naturels (BOI) nous a donné une valeur supérieure de résistance, la substitution du sable naturel par le sable d’argile expansée dans (BOII) à donner une valeur augmentée presque comme le béton témoin. Cette augmentation de résistance du à la nature géométrique de sable d’argile expansée (sable gros) qui donne une résistance élevée.

Comparant les autres types de bétons qui contient des graviers d’argile expansée il y’a des chutes de résistance par rapport au béton témoin, Ceci peut s’expliquer par les caractéristiques physiques et mécaniques et la structure poreuse des graviers d’argile expansée. Ce qu’influe sur la résistance de béton.

B- Résistance à la compression des bétons à haute performance

Les résultats obtenus de la résistance en compression des bétons sont illustrés dans la figure III.9

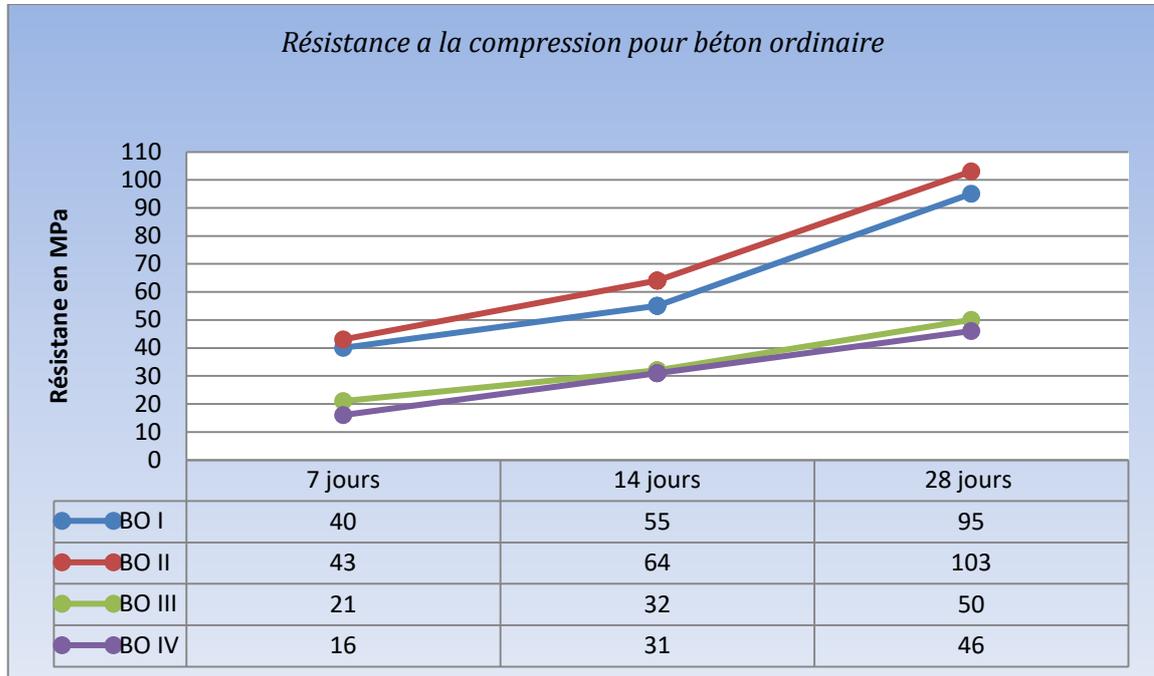


Figure III.9.Résistance à la compression des bétons à haute performance.

D’après la figure (III.9) en remarque que la résistance augmente avec le temps.

L’analyse des résistances en compression montre une valeur supérieure pour le béton (BHPII) qui est à base de sable d’argile expansée et de gravier naturel. Cette augmentation de résistance due au type et à la nature de sable utilisé (gros).

Comparent les autres types de bétons qui contient des graviers d’argile expansée il y’a des chutes de résistance par rapport au béton témoin, Ceci peut s’expliquer par les caractéristiques et la structure poreuse des graviers d’argile expansée.

Conclusion

Dans cette partie, On a étudié l'influence des granulats d'Argile expansée sur les caractéristiques des bétons ordinaire et à haute performance, à travers les résultats des essais réalisés on a pu tirer les points suivants :

Les granulats d'argile expansée influent sur la maniabilité des bétons étudiés, grâce aux caractéristiques physico-mécaniques de ces granulats.

La masse volumique dépend de la nature et de la masse volumique des granulats utilisés.

L'augmentation d'absorption d'eau, dépend de la structure poreuse des granulats d'argile expansée. La substitution entre les granulats elle peut améliorer la résistance comme le cas dans le BOII et BHPII, comme elle peut aussi diminuer l'ouvrabilité comme le cas dans le BOIV et BHPIV.

CONCLUSION GENERALE

Le travail présenté dans ce mémoire est d'étudié l'influence de la substitution entre les granulats naturels et les granulats d'argile expansée pour formuler un béton légers et résistant.

D'après les résultats obtenus, on constate que :

L'utilisation de sable d'argile expansée donne un béton peu léger que le béton traditionnel et elle impact positivement sur la valeur de résistance des bétons grâce à sa nature géométrique grosse.

Le gravier d'argile expansée impact sur la maniabilité des bétons grâce à sa capacité d'absorption d'eau.

Le gravier d'argile expansée diminue la valeur de résistance par rapporte aux bétons témoin, mais elle reste une valeur relativement acceptable

Le taux d'absorption d'eau des bétons ordinaires et à haute performance a base des granulats d'argile expansée est augmenté. En raison des caractères poreux de ces granulats.

Le remplacement des granulats ordinaires par des granulats d'argile expansée permet de réduire la masse volumique du béton.

La substitution entre les granulats d'argiles expansée et les granulats naturels a donné des bons résultats de résistances à la compression.

Finalement on conclue que cette étude nous a permis de montré qu'on peut fabriquer des bétons léger, isolant avec une résistance élevée.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] EP 1 237 826 B1: european patent office, procédé de fabrication de granules d'argile expansée et les granules obtenus par la mise en œuvre de ce procédé INVENTER: N. BESSIRON, F. VANDENBUSSCHE, juin 2004.
- [2] G. e. F... Dreux, Nouveau guide du béton et de ses constituants. EYROLLES, Huitième édition 1998 Troisième tirage 2007.
- [3] L. J. Vicat, Traité pratique et théorique de la composition des mortiers, ciments et gangues a pouzzolanes et de leur emploi dans toutes sortes de travaux.
- [4] J. M. Sganzin, Programme ou résumé des leçons d'un cours de constructions: avec des applications tirées spécialement de l'art de l'Ingénieur des ponts et chaussées.
- [5] R. Vittone, Bâtir: Manuel de la construction, PPUR Presses polytechniques, 2010.
- [6] o. d. bibliothèque, pratiques actuelles pour la formulation des bétons (5/191), F.S.I.
- [7] LAFARGE, Documents de LAFARGE, France.
- [8] K. NASR-EDDINE, PROPRIETES ET PATHOLOGIE DU BETON, OPU, 1991.
- [9] KATTAB.R, valorisation de sable de dune. Thèse doctorat, Alger: ENP, 2007.
- [10] A. M. NEVILLE, PROPRIETES DES BETONS, Eyrolles, 2000.
- [11] A. KOMAR, MATERIAUX ET ELEMENTS DE CONSTRUCTION, éditions mir Moscou, 1989.
- [12] Mémoire de Génie civil université Boumerdas: Influence des différentes granulométries du sable sur le comportement mécanique du béton. Réalisé par HACHEMI Nadir, BOUSSA Adel
- [13] Formulation des bétons ; Techniques de l'ingénieur, www.techniques-ingenieur.fr
- [14] Andria manantsilavo.N.R, 2003 : « comportement des matériaux cimentaires dans un coffrage : expérimentation, modélisation et simulation de la poussée et du processus de maturation », thèse de doctorat, Université de Bretagne sud
- [15] BUIL M., OLLIVIER J-P, « conception des bétons : structure poreuse », la durabilité des bétons. Presses de l'Ecole nationale des ponts et chaussées, p 106, 1993
- [16] COLLECTION TECHNIQUE CIM-BÉTON, « Les bétons: formulation, fabrication et mise en œuvre » chapitre 3 ; Tome II., Ecole Française du Béton, pp : 96-109.
- [17] Le Roy R., « déformations instantanées et différées des bétons à hautes performances », Le béton hydraulique, LCPC, Paris, 1982, p. 343.

- [18] De Larrard F. et Malier Y., « Propriétés constructives des bétons à très hautes performances: de la microstructure à la macrostructure », les bétons à très hautes performances: caractérisation, durabilité, application, 2e édition par Y. Malier, presse de l'ENPC, Paris, 1992, p. 129-156.
- [19] De Larrard F., « Prévion des résistances en compression des bétons à hautes performances aux fumées de siliceouune nouvelle jeunesse pour la loi de Féret », Annales I.T.B.T.P, n° 483, mai-1990.
- [20] Dreux G., « Nouveau guide du béton », E. Eyrolles, Paris, 1998.
- [21] Aïtcin P-C., « Bétons haute performance », édition Eyrolles, 2001, ISBN 2-212- 01323-X
- [22] Auperin M., Richard F. et al., « Retrait et fluage des bétons à hautes performances ». Annales.I.T.B.T.P, n° 474, mai 1989.
- [23] Bakker R., « Permeability of blended cement concrete », SP-79, ACI, 1983, Detroit, p.589- 605.
- [24] ASTM C 1202-91, « Standard test method for electrical indication of concrete's ability to resist chloride ion penetration », Annual book of ASTM standards, Section 4.
- [25] CIM béton. «Les bétons : formulation fabrication mise en oeuvre».Tome2, 134p.
- [26] H. GAHER. « Analyse de la résistance à la traction indirect et du retrait des bétons à Haute performance». Thèse de magister, USTHB, 2004.
- [27] : NEVILLE : «Propriétés des bétons». Eyrolles. Paris, 2000.
- [28] : M.CONTANT: «Confection de bétons légers la fabrication d'éléments architecturaux». Projet d'application présenté à L'école de technologie supérieure. Ecole de technologie supérieure L'université du Québec Édition. Montréal 14 Avril 2000.
- [29] : Thèse doctorat : «Caractérisation et Modélisation des paramètres physico-hygro-mécaniques d'un béton léger à base de granulats composites» 29 Mai 2014. Réalisé par Mme MOHELLEBI Samira
- [30] : M.SHINK «Compatibilité élastique, Comportement mécanique et optimisation Des bétons de granulats légers». Université Laval Québec Avril 2003.
- [31] : Livre : «Dictionnaire Professionnel du BTP» l'auteur : J. Roy, 1 janvier 1998.
- [32] : Jean-Pierre lott « Le béton, matériau de structure d'expression architecturale ».
- [33] : Latifou Bello «Méthodologie de formulation des Bétons Auto-Plaçant Légers » 2015.
- [34] : Livre : «guide pratique de l'isolation thermique des bâtiments » ,1977 Eyrolles.
- [35] : <http://www.leca-system.fr/fr/lacuteargile-expandee>

[36] NF EN 12350-2, « Essai pour béton frais, partie, essai d'affaissement », 1999.

[37] EN 12390-3, « Essai pour béton durci partie 3, résistance à la compression des éprouvettes », Février 2003

[38] RAMANAMIZAKA ANDRIANTIANA JEAN MARTINO, mémoire de master en chimie « Contribution à l'étude de la fabrication des granulats d'argiles expansées constituants du béton léger », Université d'Antananarivo, Mai 2018.

[39] FRANÇOIS DUPLAN, thèse de doctorat en génie civil « Composites Cimentaires à Module d'Élasticité Contrôlé : conception, caractérisation et modélisation micromécanique », Université Toulouse 3 Paul Sabatier (UT3 Paul Sabatier, Février 2014

Notice technique
Edition Mai, 2016
Version 02.2016
POLYFLOW® LSR 8800



POLYFLOW® LSR 8800 R24H

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

Conforme à la norme NF EN 934.2 tab. 1.3.1.3.2

Présentation
superplastifiant/

POLYFLOW® LSR 8800R24H est un

haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de polycarboxylate. POLYFLOW® LSR 8800R24H ne présente pas d'effet retardateur.

Domaines d'application
des

POLYFLOW® LSR 8800R24H permet d'obtenir bétons de très haute qualité

- ☞ POLYFLOW® LSR 8800R24H permet la fabrication de bétons plastiques à auto plaçants transportés sur de longues distances et pompés.
- ☞ Dans les bétons auto plaçants, POLYFLOW® LSR 8800R24H améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.
- ☞ POLYFLOW® LSR 8800R24H permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).

Caractères généraux

POLYFLOW® LSR 8800R24H est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :

- ☞ Longue rhéologie (> 3h)
- ☞ Robustesse à la ségrégation.
- ☞ Qualité de parement.
- ☞ Bel aspect de parement au décoffrage
- ☞ Augmente la vitesse de développement des résistances (résistance à jeune âge) initial du béton avec ou sans modification du temps de prise (accélérateur de durcissement)

Caractéristiques
Aspect

Liquide brun clair



Construction

Condit

- ☞ Fûts de 220 kg
- ☞ Conteneur perdu de 1100 kg
- ☞ Vrac

Stockage

Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. POLYFLOW® LSR 8800R24H 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 1,07 ± 0,01
pH 6 à 6,5
Teneur en ions Cl- ≤ 0,1 %
Teneur en Na2O éq. ≤ 1 %
Extrait sec 30% à 2%

Conditions d'application

Dosage

Plage d'utilisation recommandée : 0,3 à 3 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

Plage d'utilisation usuelle : 0,4 à 1 % du poids du ciment ou du liant.

Mise en œuvre
même

POLYFLOW® LSR 8800R24H est ajouté, soit en

Temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

Mentions légales

les propriétés énumérées sont seulement à titre de conseils et ne constituent pas une garantie de performance. L'emploi des produits doit être adapté aux conditions spécifiques à chaque situation. Toutes nos fiches techniques sont mises à jour régulièrement, il est de la responsabilité de l'utilisateur d'obtenir la version la plus récente.

SOLU EST ®
Zone Industrielle Port Bouchet
Loc N° 0291 EL HADJAR
ANNABA 23000-ALGERIE
Tél/Fax : +213035 49 40 10
Tél : 0560 91 53 30/31

سوسايتة السمنتات هادجار سودة
Société des Ciments de Hadjar Soud

FICHE TECHNIQUE

CIMENT PORTLAND COMPOSE
CEM II / A-M (S-L) 42,5N

CARACTÉRISTIQUES CHIMIQUES		CARACTÉRISTIQUES PHYSIQUES			CARACTÉRISTIQUES MÉCANIQUES	
Éléments	% En Masse	Garanties NA			Norme NA	EN Mpa
PAF 975°C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60		
SiO ₂	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		
Al ₂ O ₃	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10 mm		
Fe ₂ O ₃	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000	NA 234	FLEXION
MgO	1 - 2	NA5042	CHALEUR D'HYDRATATION	220-245 J/G ciment		
K ₂ O	0,3 - 0,6	NA 5061				
Na ₂ O	0,1 - 0,16	COMPOSITION POTENTIELLE EN % C3S 57 - 63 C2S 14 - 18 C3A 7 - 10 C4AF 10 - 12			% DES CONSTITUANTS CLINKER ≥ 74 % GYPSE 4 - 6 % CALCAIRE 10 % calcaire + TUF 10 %	
SO ₃	1,8 - 2,5					
CaOL	0,8 - 1,8					
CL [*]	0 - 0,01					

Domaine d'utilisation
Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton, Montage de mure et maçonnerie et Scèlements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment).

Précaution d'emploi
Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industrielles) emploi obligatoire de ciment ES pour travaux en eau à haute teneur en sulfates.
- Travaux à la mer (emploi obligatoire de ciment PM pour travaux à la mer).
- Bétonnage au-dessous de 5° C. (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R).

Stockage :
Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.

CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE CEMII/A-L 42,5N

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE	
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa
PAF 975 °C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60	NA 234	02 jours 13-17,5
SiO ₂	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 23 - 33
Al ₂ O ₃	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 42.5 -47
Fe ₂ O ₃	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ³ /g	3300 - 4000		FLEXION
MgO	1 - 2	NA231			02 jours 3,0-4,0	07 jours 5,0-6,5
K ₂ O	0,3 - 0,6				28 jours 6,5-8,5	
Na ₂ O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER μm/m	≤ 1000		
SO ₃	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 -1,8	C3S	52-58	CLINKER	≥ 74%	
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6%	
NB: Dans le mélange ajout: calcaire+tuf: le tuf est de l'ordre de 05%		C3A	8 - 12	CALCAIRE	16 %-18%	
		C4AF	9 - 13	pouzzolaine+ calcaire	/	
				calcaire + TUF	12 %-18%	

DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton , Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment) .

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industrielles) emploi obligatoire de ciment

ES pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.

- Travaux à la mère (emploi obligatoire de ciment PM pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5° C (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R)

STOCKAGE :

Eviter :

- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

EMBALLAGE :

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantie l'inviolabilité du sac.

ATTENTION

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.