

REPUBLICQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE

Université de Mohamed El-Bachir El-Ibrahimi - Bordj Bou Arreridj

Faculté des Sciences et de la technologie

Département de Génie civil.

Mémoire

Présenté pour obtenir

LE DIPLOME DE MASTER

FILIERE : Génie civil

Spécialité : Matériaux

Par

- **FARES Mohammed Mouncef.**
- **Boukhari Mohamed.**

Intitulé

**Caractérisations géotechniques des granulats de la carrière de
L'Eucl en vue de leur utilisation comme matériaux pour béton.**

Soutenu le :

Devant le Jury composé de :

<i>Nom & Prénom</i>	<i>Grade</i>	<i>Qualité</i>	<i>Etablissement</i>
<i>M.</i>	<i>MCB</i>	<i>Président</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.ZAHRI Farid</i>	<i>...</i>	<i>Encadreur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M.MAAFI Nabil</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>
<i>M. GUELMINE Layachi</i>	<i>MCB</i>	<i>Examineur</i>	<i>Univ-BBA</i>

Année Universitaire 2021/2022

Remerciements

Remerciements

Nous remercions en premier lieu, Dieu de nous avoir donné la volonté et le courage d'établir ce travail.

Nous remercions profondément Monsieur ZAHRI Farid, Professeur de l'Université de Sétif, pour l'intérêt constant qu'il a porté à ce travail, sa disponibilité, ses orientations, ses remarques fructueuses, autant qu'encadreur.

Qu'il trouve ici notre profonde gratitude.

Nous remercions également le président de jury, ainsi les membres de jurys pour l'intérêt qu'ils ont accordés à ce travail en acceptant de le juger et de l'examiner. Nous n'oublions pas dans nos remerciements tout le personnel du Laboratoire de génie civil, de l'université de BBA (Ingénieurs, Techniciens, Secrétaires).

Nous ne pourrions terminer ces remerciements sans y associer nos familles, nos parents, nos amis et tant d'autres sans le soutien des quels nous n'aurions pas pu entreprendre ces études.

A toutes et à tous nous leur disons merci.

Dédicaces

✚ FARES Med Moncef :

Je dédie ce modeste travail :

*A mes très chers **parents** qui ont été à mes côtés dans tous les moments difficiles.*

*A ma très chère **sœur***

*A mon cher **frère***

A tous mes amis en particulier :

Sofiane , Yanis , Didine , Aymen , Youcef et Hamoudi.

A tous ceux qui m'ont aidé de près ou de loin à réaliser ce travail Merci pour tous.

✚ Boukhari med :

Je dédie ce travail :

A mes parents, mes sœurs, mes frères et mes amis.

Résumé

Résumé

L'utilisation des granulats revêt un intérêt particulier dans le domaine du génie civil sous l'éclairage du développement durable. La présente étude vise à évaluer la possibilité d'utilisation des granulats de carrière de la région de "L'Euch" comme agrégats dans le béton à haute performance.

Les caractéristiques physiques et mécaniques des BHP réalisés à base de ces granulats de "L'Euch" ont été déterminées à travers des différents essais Selon les normes mentionnés.

Les bons résultats obtenus, permettent de conclure qu'il est possible de fabriquer un béton à haute performance à base des granulats de la zone de L'Euch.

Mots clés : Granulats, Génie civil, Béton à haute performance(BHP), Agrégats.

ملخص

استخدام الحصى له أهمية خاصة في مجال الهندسة المدنية في ظل التنمية المستدامة. تهدف الدراسة الحالية إلى تقييم إمكانية استخدام مادة الحصى المستخرجة من المحاجر الموجودة في منطقة "العش" كمادة في تكوين الخرسانة عالية الأداء

تم تحديد الخصائص الفيزيائية والميكانيكية للخرسانة عالية الأداء (BHP), المصنوعة من هذا الحصى من خلال اختبارات مختلفة وفقاً للمعايير المذكورة

أدت النتائج الجيدة التي تم الحصول عليها إلى الاستنتاج بأنه من الممكن تصنيع الخرسانة عالية الأداء بواسطة الحصى "المستخرج من منطقة "العش"

الكلمات المفتاحية: الحصى ، الهندسة المدنية ، الخرسانة عالية الأداء ، مادة

Abstract

The use of aggregates is of particular interest in the field of civil engineering in the light of sustainable development. The present study aims to evaluate the possibility of using quarry aggregates from the "L'Euch" region as aggregates in high performance concrete.

The physical and mechanical characteristics of HPC made with these aggregates from "L'Euch" were determined through various tests according to the mentioned standards.

The good results obtained, allow to conclude that it is possible to manufacture a high performance concrete based on the aggregates of the Euch area.

Keywords: Aggregates, Civil engineering, High performance concrete (HPC), Aggregates.

SOMMAIRE

SOMMAIRE.

Résumé, ملخص, Abstract.....	
INTRODUCTUION GENERALE	1

Chapitre I : Généralités sur les granulats.

I.1 Introduction	2
I.2 Définitions et classification	2
I.2.1 Qu'est-ce qu'un granulat	2
I.2.2 Origines	3
I.2.2.1 Naturel	3
I.2.2.2 Artificiel	3
I.2.2.3 Recyclé	3
I.3 Domaines d'utilisation des granulats	3
I.3.1 Routes et VRD (Voiries et Réseaux Divers)	4
I.3.2 Production de béton	4
I.3.3 Réseaux ferrés	4
I.4 Granulats naturels	4
I.4.1 Origine Minéralogique	4
I.4.2 Production	5
a) Décapage	5
b) Extraction	6
b.1) Gisement de granulats alluvionnaires	6
b.2) Gisement compact de roches massives	7
c) Transfert des matériaux sur le lieu de traitement	7
d) Traitement	8
e) Stockage et Livraison	9
e.1) Stockage	9
e.2) Livraison	9
I.5 Conclusion	9

Chapitre II : Généralités sur les bétons (BHP).

II.1 INTRODUCTION	10
II.2 Définition d'un béton	10
II.3 Les avantages des différents types de béton utilisés sur les chantiers	11
II.4 Généralités sur les bétons à haute performance	12
II.5 Définition d'un béton à haute performance	12
II.6 La composition des Bétons à Hautes Performances	12
II.6.1 Le ciment	13
II.6.2 Les granulats	13

SOMMAIRE

II.6.3 Les additions	13
II.6.4 Fumée de silice	13
II.6.5 Les adjuvants.....	13
II.7 La formulation du BHP	14
II.7.1 Méthode du Sherbrooke (méthode proposé)	14
II.7.2 Rapport eau/liant	16
II.7.3 Le dosage de l'eau	16
II.7.4 Dosage des gros granulats	17
II.7.5 Dosage du superplastifiant	17
II.7.6 Dosage de fumée de silice.....	17
II.7.7 La teneur en air.....	17
II.8 Les propriétés des Bétons à Hautes Performances	17
II.8.1 Béton frais.....	17
a) Maniabilité.....	17
II.8.2 Béton durcit.....	18
a) Les propriétés physiques	18
a.1) La masse volumique	18
a.2) Déformation des BHP (Les déformations libres)	18
a.3) Fluage des bétons à haute performance.....	18
b) Les propriétés mécaniques	18
b.1) Résistance à la compression et à la traction	18
b.2) Durabilité des bétons à hautes performances	18
b.3) Le retrait	19
b.4) Imperméabilité	19
II.9 Les avantages de l'utilisation des Bétons à Hautes Performances	19
II.9.1 A l'état frais.....	19
II.9.2 Aux jeunes âges.....	19
II.9.3 À long terme.....	19
II.10 Utilisations des Bétons à Hautes Performances	20
II.11 Conclusion	20

Chapitre III : Caractérisation géotechnique des granulats.

III.1 INTRODUCTION	21
III.2 caractéristiques du sable utilisés	21
III.2.1 Essai de l'équivalent de sable : Norme NF EN 933-8]	21
III.2.2 Essai Module de finesse (sable d'Oued souf) [NF EN P 18-304]	22
III.2.3 Les caractérisations physiques.....	24
a) Masse spécifique (absolue) [NF EN P 18-555] et apparente [NF EN P 18-555]	
Porosité et compacité et indice des vides	24
III.3 Les caractérisations des granulats de carrière de l'Euch	24
III.3.1 Densité apparente et absolue : [NF EN P 18-555]	24

SOMMAIRE

a) Densité apparente	24
b) Densité absolue	25
III.3.2 Essai d'analyse granulométrique : [NF EN 933-1]	26
III.3.3 Essai de LOS-ANGLES : [NF EN 1097-2]	30
III.3.4 Essai de Micro-Deval : [NF EN 1097- 1]	31
III.3.5 Essai de Coefficient d'aplatissement : [NF EN 933 – 3].....	33
III.4 Les caractérisations des granulats de la région de Sétif	35
III.4.1 Analyse granulométrique.....	35
III.4.2 Masses volumiques absolue et apparente : [NF EN P18-555]	36
III.4.3 Essai Los Angeles [NF EN P18-573]	36
III.5 Conclusion	36

Chapitre IV : Formulation du BHP.

IV.1 Introduction	37
IV.2 Composition du 0.035 m3 d'un BHP pour 2 échantillons	37
IV.3 Types et tailles des moules et conservation des éprouvettes.....	39
IV.4 Caractérisation du BHP	39
IV.4.1 Essais de caractérisations du béton à haute performance à l'état frais	39
IV.4.1.1 Essai de cône d'abrams : [NF EN 12350-2]	39
IV.4.2 Essais de caractérisations du béton à haute performance à l'état durci	40
a) Essai de compression : [NF EN 206-1]	40
b) Essai de traction par flexion : [NF EN P 18-408]	41
c) Vitesse de l'ultrason : [NF EN 12504-4]	43
d) Essai de Scléromètre : [EN 12398]	44
IV.5 Discussions et interprétation des résultats	46
IV.6 Conclusion.....	46
COCNCLUSION GENERALE.....	48

SOMMAIRE

Liste des figures.

Chapitre I : Généralités sur les granulats.

Figure I.1 : production des granulats selon leurs natures.	5
Figure I.2 : Décapage (ou découverte)	5
Figure I.3 : Exploitation de granulats alluvionnaires depuis la berge (A) : Pelle (B) : Dragline.....	6
Figure I.4 : Exploitation de granulats alluvionnaires en site immergé (C) : Excavateur à godet (D) : Drague flottante.	7
Figure I.5 :(A): Exploitation d'une carrière à ciel ouvert,(B):carrière souterraine de granulat.	7
Figure I.6 : Moyens de transport, (A) Bande transporteuse, (B) Dumper.....	8
Figure I.7 : Station de traitement des granulats.....	8

Chapitre II : Généralités sur les bétons (BHP).

Figure II.1 : fumée de silice	14
Figure II.2 : Super plastifiants (MEDAFLOW 30)	14
Figure II. 3 : Organigramme de la méthode propose pour formuler des BHP.....	15
Figure II. 4 : Relation E/L proposée par rapport à la résistance à la compression.	16
Figure II.5 : Détermination du dosage minimal de l'eau.....	16
Figure II.6 : Teneur en granulats grossiers.	17

Chapitre III : Caractérisation géotechnique des granulats.

Figure III.1 : Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable.....	21
Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique de sable d'Oued souf.	23
Figure III.3 : Les tamis utilisés.	26
Figure III.4 : Tamiseuse électrique.	26
Figure III.5 : Courbe d'analyse granulométrique des granulats.	29
Figure III.6 : (A) : Les boulets de Los angles,(B) : Appareil de los angles	30
Figure III.7 : les boulets de micro deval.	32
Figure III.8 : Appareil de micro deval.	32
Figure III.9 : Tamis a barre.	34
Figure III.10 :Série de tamis à maille carrée.....	34
Figure III.11 : Courbe d'analyse granulométrique des fractions (3/8) et (8/15).....	35

Chapitre IV : Formulation du BHP.

Figure IV.1 : Les différentes classes de consistance du béton (essai affaissement béton)	40
Figure IV.2 : Essai de compression, (A) : L'échantillon avant l'écrasement. (B) :L'échantillon après l'écrasement	40
Figure IV.3 : Histogrammes de la Résistance à la compression en fonction des jours.	41
Figure IV.4 : Essai de flexion à la traction. (A) : l'échantillon avant la flexion. (B) : l'échantillon après la flexion	42
Figure IV.5 : Histogrammes de la flexion a la traction en fonction des jours.	43
Figure IV.6 : Essai de vitesse d'ultra son.	43
Figure IV.7 : Appareil de Scléromètre	45
Figure IV.8 : Histogrammes de la résistance avec le scléromètre.....	45

SOMMAIRE

Liste des tableaux :

Chapitre II : Généralités sur les bétons (BHP).

<i>Tableau II.1</i> : les avantages de chaque type de béton.	11
---	----

Chapitre III : Caractérisation géotechnique des granulats.

<i>Tableau III.1</i> : Classification du sable en fonction d'ES.	21
<i>Tableau III.2</i> : Résultat et classification du sable.	22
<i>Tableau III.3</i> : Résultats d'analyse granulométrique du sable.	23
<i>Tableau III.4</i> : Résultat et classification le MF du sable.	24
<i>Tableau III.5</i> : Les propriétés physiques de sable utilisé.	24
<i>Tableau III.6</i> : Densité apparente du gravier.	25
<i>Tableau III.7</i> : Densité absolue du gravier.	25
<i>Tableau III.8</i> : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (0/3)	27
<i>Tableau III.9</i> : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (3/8)	27
<i>Tableau III.10</i> : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (8/15)	28
<i>Tableau III.11</i> : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (15/25)	28
<i>Tableau III.12</i> : Résultats d'analyse granulométrique des granulats.	29
<i>Tableau III.13</i> : Classification des granulats en fonction du coefficient L_A	30
<i>Tableau III.14</i> : Résultats d'essai de los Angles.	31
<i>Tableau III.15</i> : Coefficient de L_A et sa classification.	31
<i>Tableau III.16</i> : Référence d'essai de micro deval.	32
<i>Tableau III.17</i> : Classification des granulats selon le coefficient micro deval.	32
<i>Tableau III.18</i> : Classement et échantillon traité de MDE.	33
<i>Tableau III.19</i> : Valeurs de coefficient MDE(%) et leur appréciation.	33
<i>Tableau III.20</i> : Résultats d'aplatissement A%.	34
<i>Tableau III.21</i> : Résultats d'analyse granulométrique du granulat (3/8) et (8/15).	35
<i>Tableau III.22</i> : Masses volumiques absolue et apparente de gravier.	36

Chapitre IV : Formulation du BHP.

<i>Tableau IV.1</i> : Formulation du BHP (Sherbrooke).	38
<i>Tableau IV.2</i> : Quantités et qualités des matériaux utilisés pour 0.035 m ³ du BHP	39
<i>Tableau IV.3</i> : Classification de la consistance des bétons.	39
<i>Tableau IV.4</i> : Résultats d'affaissement et classification du béton.	40
<i>Tableau IV.5</i> : Résultats de la résistance à la compression en fonctions des jours.	41
<i>Tableau IV.6</i> : Résultats de flexion à la traction en fonction des jours.	42
<i>Tableau IV.7</i> : Classification de la qualité du béton en fonction de la vitesse du son	44
<i>Tableau IV.8</i> : Résultats et classification la qualité des bétons selon de la vitesse d'ultrason.	44
<i>Tableau IV.9</i> : La résistance avec le scléromètre.	45

Liste d'abréviations

Liste d'abréviations.

ES% : pourcentage d'équivalent de sable.

MF : module de finesse.

LA : Coefficient de los angles.

MDE(%) : coefficient Micro Deval.

A (%) : Le coefficient d'aplatissement.

(E/L) : Rapport eau/liant.

P : Porosité (%).

ρ (app) : Densité apparente.

ρ (abs) : Densité absolue.

E : Indice de vides.

C : Compacité (%).

Gc : poids spécifique du ciment ou du matériau cimentaire ;

G_{sss} : poids spécifique de l'agrégat à l'état sec de surface saturée ;

E_{abs} : eau absorbée dans l'agrégat en pour cent ;

E_{tot} : teneur totale en eau de l'agrégat en pour cent ;

E_h : teneur en humidité de l'agrégat en pour cent : $E_h = E_{tot} - E_{abs}$;

G_{sup} : gravité spécifique du superplastifiant liquide ;

S : teneur totale en solides du superplastifiant en pour cent ;

M_{sol} : masse de solides dans le superplastifiant ;

d : dosage du superplastifiant en pourcentage de la masse de solides par rapport à la massetotale de matériaux cimentaires ;

V_{liq} : volume de superplastifiant liquide ;

V_w : volume d'eau dans le superplastifiant liquide ;

V_{sol} : volume de solides dans le superplastifiant ;

E : masse d'eau en kg par mètre cube de béton ;

L : masse de liant en kg par mètre cube.

Liste des normes

Liste des normes.

[NF EN 933-8] : Essai de l'équivalent de sable.

[NF EN P 18-304] : Essai Module de finesse (sable d'Oued souf).

[NF EN P 18-555], [NF EN P 18-555] : Masse spécifique (absolue) et apparente Porosité et compacité et indice des vides du sable.

[NF EN P 18-555], [NF EN 1097-3] : Essai de densité apparente et absolue des granulats.

[NF EN 933-1] : Essai d'analyse granulométrique.

[NF EN 1097-2] : Essai de LOS-ANGLES.

[NF EN 1097-1] : Essai de Micro-Deval.

[NF EN 933 - 3] : Essai de Coefficient d'aplatissement.

[NF EN 206-1] : Essai compression.

[NF EN 12350-2] : Essai de cône d'abrams.

[NF EN P 18-408] : Essais traction par flexion.

[NF EN 12504-4] : Essai d'ultrason.

[EN 12398] : Essai de Scléromètre.

INTRODUCTION GENERALE.

L'un des matériaux le plus utilisé dans le domaine du génie civil et sa construction dans le monde entier ou en Algérie c'est les granulats, c'est un matériau très important pour la composition du différent béton. Dans ce jour la, la majorité des granulats utilisés sur le marché sont des granulats naturels provenant de carrières ou d'extraction en rivière ou en mer. Ces produits présentent l'avantage d'une qualité relativement constante et d'un approvisionnement continu.

L'Algérie contient de nombreuses sources pour obtenir ce matériau, pour chacune de ces sources il a des granulats avec ses propres caractéristiques et ses différents usages. A base de ces granulats on peut obtenir différents bétons pour différents usages.

A ses débuts, le béton traditionnel était un mélange de trois produits seulement : ciment, granulats et l'eau. Au XXe siècle, le béton a été développé, notamment avec l'évolution des techniques de production et l'arrivée d'ajouts minéraux, d'adjuvants et de fibres... donc Le béton a atteint des très bonnes performances en termes de la résistance à la compression (plus de 100 MPa), mais aussi en termes d'aspect architectural. Le béton est le meilleur matériau de construction avec le meilleur rapport (qualité/prix). La recherche sur le béton ne s'arrêtera jamais tant qu'il aura encore des défauts, notamment sa fragilité. En effet, on cherche à faire du béton un matériau qui résisterait à tous les types de contraintes, qu'elles soient statiques ou variables dans le temps.

Le plan de notre mémoire est subdivisé en quatre chapitres à savoir :

-Dans le premier chapitre, nous avons fait une recherche bibliographique sur les Granulats.

-Dans le deuxième chapitre, nous avons parlé du béton, et précisément sur le BHP tant que nous avons fait un BHP (définition, formulation, caractérisation, etc...).

-Au troisième chapitre nous avons fait des essais (los angles, Micro deval...etc), pour obtenir les caractérisations géotechnique des granulats et de sable qui nous avons étudié, et interpréter les résultats.

-En quatrième chapitre, nous avons réalisé deux mélanges de BHP, l'un à base de granulats de carrière de L'Euch et l'autre à base de granulats de la région de Sétif, et nous avons fait une comparaison entre les deux mélanges et interprété les résultats.

PARTIE BIBLIOGRAPHIQUE :

CHAPITRE 1 :

Généralités sur les granulats.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

I.1. Introduction :

Les granulats sont des composants fondamentaux et nécessaires dans le domaine de génie civil. Il est donc important d'appréhender toutes leurs propriétés (et impacts) du point de vue de leur développement et de leur utilisation (mise en œuvre) afin de mieux maîtriser les coûts tout en respectant les normes de qualité.

Les propriétés du sédiment déterminent les propriétés intrinsèques du granulat (résistance, porosité, etc.). En revanche, les propriétés géométriques et la propreté dépendent du procédé de fabrication.

Afin de produire des produits de la qualité requise, les producteurs de granulats utilisent des installations de plus en plus complexes, utilisant des technologies bien établies (concassage, séparation, lavage, etc.). [1]

I.2. Définitions et classification :

I.2.1. Qu'est-ce qu'un granulat ?

Le granulat est un fragment de roche destiné à la fabrication d'ouvrages de travaux publics, de génie civil et de bâtiment. Leur nature et leur forme dépendent de leur provenance et des techniques de production. Leur taille est comprise entre 0 et 125 mm.

Il est obtenu en extrayant du sable et des graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, ou d'origine éolienne, en concassant des roches massives (calcaires ou carbonatées) ou encore en recyclant des matériaux de démolition ou des "laitiers" de sidérurgie.

Les granulats représentent, après l'eau et l'air, la matière première la plus importante utilisée dans certains pays.

Il existe six classes granulaires principales caractérisées par les dimensions extrêmes d ou D des granulats rencontrés (norme XPP 18-540).

- Fillers 0/D où $D < 2$ mm avec au moins 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sablons 0/D où $D \leq 1$ mm avec moins de 70 % de passant à 0,063 mm ;
- Sables 0/D où $1 < D \leq 6,3$ mm ;
- Graves 0/D où $D > 6,3$ mm ;
- Gravillons d/D où $d \geq 1$ et $D \leq 125$ mm ;

Ballasts d/D où $d \geq 25$ mm et $D \leq 50$ mm. [2]

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

I.2.2. Origines :

Selon leur origine et leur nature, les granulats peuvent être :

a) Naturel :

Source minérale, provenant de roche meuble (alluvionnaire) ou de blocs rocheux n'ayant subi transformation autre qu'une action mécanique (par exemple concassage, broyage, tamisage, lavage).

Indépendamment de leur origine minérale, ces granulats se répartissent en deux catégories.

- Les granulats de roches molles, appelés granulats laminés, dont la forme a été acquise par l'érosion, sont lavés pour éliminer les particules d'argile nuisibles à la résistance du béton et criblés pour obtenir différentes classes. Bien que des roches différentes puissent être trouvées selon la région d'origine, les agrégats utilisés pour le béton sont le plus souvent siliceux, calcaires ou silico-calcaires.

Ils sont exploités à proximité des cours d'eau, dans la nappe phréatique ou au-dessus de la nappe phréatique ou sur les fonds marins peu profonds. L'extraction est donc effectuée en fonction du dépôt sec ou dans l'eau.

- Les granulats rocheux massifs sont obtenus par abattage et broyage, ce qui leur donne des formes angulaires. Une phase de pré-découplage est essentielle pour obtenir des granulats propres.

Différentes phases de concassage et de criblage permettent d'obtenir les classes granulaires requises.

Les granulats concassés ont des caractéristiques qui dépendent d'un grand nombre de paramètres : origine de la roche, degré de concassage et régularité de la berge. [3]

b) Artificiel :

Sous produits industriels comprenant multi transformations comme transformations thermiques ou autres et sont des granulats d'origine minérale

c) Recyclé :

Obtenir à partir d'un traitement mécanique d'une matière inorganique utilisée dans différents construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments.

I.3 Domaines d'utilisation des granulats :

Sont utilisé dans l'industrie du BTP. Ils destinés dans les constructions des ouvrages de génie civil, des bâtiments ou sont utilisés dans les TP.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

I.3.1 Routes et VRD (Voiries et Réseaux Divers) :

Les chaussées sont en partie constituées d'une couche de base (sous-fondation et couche de base). Elles peuvent être surmontées d'une couche de liant pour améliorer les performances, puis d'une couche de roulement adaptée au trafic (classe de trafic définie par le nombre moyen journalier de poids lourds par route).

Quel que soit le niveau, des granulats sont utilisés dans toutes ces couches. Ils doivent répondre à des critères de qualité liés à la solidité des ouvrages et à la sécurité. Ces exigences sont précisées dans des normes de produits françaises (NF) et européennes (EN)

Les granulats recyclés peuvent être utilisés dans les sous-fondations et les couches de base, ainsi que sur les accotements des chaussées. [4][5]

I.3.2 Production de béton :

Les granulats sont également utilisés dans l'industrie du béton. Ils donnent au béton sa consistance, son volume et sa résistance. Le ciment sert de liant à l'ensemble.

Le béton peut être fabriqué avec des granulats de différents types : alluvionnaires, éruptifs, calcaires. Le béton peut également être fabriqué avec des granulats concassés ou roulés, en fonction du contexte géologique local (rareté des alluvions), ou pour des raisons purement techniques.

I.3.3 Réseaux ferrés :

Les voies ferrées besoin beaucoup de quantités des granulats pour la réalisation de structure des plates-formes, des chaussées, et de ballast des chemins de fer.[6]

I.4. Granulats naturels :

Les agrégats naturels proviennent de roches meubles ou solides. La roche meuble (matériau alluvial) est exploitée le long des rivières.

I.4.1. Origine minéralogique :

Les granulats naturels les plus utilisés pour le béton proviennent de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, de roches métamorphiques ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

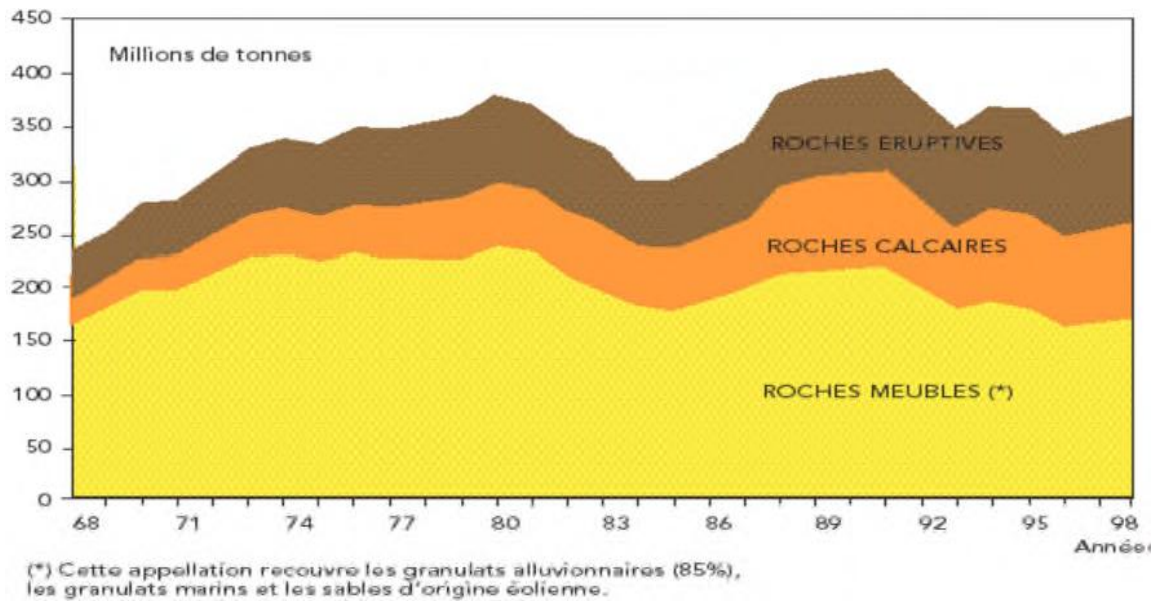


Figure I.1 : production des granulats selon leurs natures. [7]

I.4.2. Production :

La production de granulats à partir de roches meubles ou solides nécessite les étapes suivantes.

a) Décapage :

Elle consiste à décaper les terrains situés au-dessus des niveaux à exploiter et à les mettre en réserve pour un réaménagement. On distingue la bonne terre végétale des stériles, plus ou moins altérés, qui ne peuvent être exploités. La terre végétale et les stériles sont stockés indépendamment. Ils peuvent parfois être disposés en piles ou en tas.

Ils peuvent parfois être disposés en piles latérales ou en merlons qui permettent un écran visuel et sonore entre la carrière et son environnement extérieur. [8]



Figure I.2: Décapage (ou découverte).

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

b) Extraction :

Réalisée dans des carrières. Les techniques utilisées dépendent du type de gisement :

1) Gisement de granulats alluvionnaires :

Exploité en terrain sec (au moyen d'engins de terrassement) ou en site immergé (au moyen de dragage, par exemple). L'extraction peut être réalisée :

Soit par des engins flottants de dragage :

- Dragage à godets, équipée d'un train de godets entraînés en rotation sur un bras basculant. Les godets raclent le fond et soulèvent le matériau. Ce type de drague ne peut extraire que dans un gisement en eau peu profonde.

- Dragage à grappin. Le grappin est suspendu et actionné par des câbles. Il est équipé de deux mâchoires qui, une fois fermées, raclent le fond et piègent le matériau.

Ce type d'équipement peut extraire des granulats à une profondeur de plusieurs dizaines de mètres.

- Dragage aspirante qui extrait les matériaux par aspiration au bout d'un bras tubulaire.

Soit depuis la berge par :

- Les pelles à câble équipées d'une dragline : un godet qui est lancé au bout d'un câble et qui racle le fond ;

- Les pelles hydrauliques (mécaniques) ou pelles à godets fonctionnant sur le même principe que la drague à godets, mais installées sur la berge.

Une fois extrait, le matériau est transporté par des bandes transporteuses vers le centre de traitement. Pour l'extraction par drague flottante, un train de bandes transporteuses sur pontons est installé sur la surface de l'eau depuis la drague jusqu'à la berge. [3]



(A)



(B)

Figure I.3: Exploitation de granulats alluvionnaires depuis la berge, (A) Pelle, (B) Dragline.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats



(C)

(D)

Figure 1.4 : Exploitation de granulats alluvionnaires en site immergé, (C) Excavateur à godet, (D) Drague flottante.

2) Gisement compact de roches massives :

Ce type de gisement nécessite l'utilisation d'explosifs, le dynamitage et la fragmentation de blocs, à l'air libre ou sous terre.



(A)

(B)

Figure 1.5 : Exploitation d'une carrière à ciel ouvert (A), et carrière souterraine de granulats (B).

c) Transfert des matériaux sur le lieu de traitement :

Elle est effectuée soit de manière continue par des convoyeurs à bande, soit de manière discontinue par des camions et des bennes pour les extractions terrestres, soit par bateau dans

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

Le cas d'opérations immergées suffisamment éloignées de la côte. [9]



Figure I.6 : Moyens de transport, (A) Bande transporteuse, (B) Dumper.

d) Traitement :

Cela fait suite à l'extraction des matériaux, qui sont concassés et broyés (au moyen d'équipements de choc ou de concassage) pour réduire leur taille, criblés (au moyen de cribles vibrants) pour obtenir des granulats de différentes tailles, puis lavés (pour éliminer la pollution et les fines) ou dépoussiérés et enfin stockés. Les opérations de traitement permettent d'obtenir des granulats répondant à des spécifications précises en termes de caractéristiques géométriques et physiques pour des utilisations particulières. [8]



Figure I.7 : Station de traitement des granulats.

CHAPITRE 1 : Généralités sur les granulats

e) Stockage et livraison :

1) Stockage :

Au terme du processus, on obtient des produits de qualité répondant à des critères précis (nature des granulats, forme, taille). Une fois que les granulats ont été réduits, traités et classés, ils sont transportés vers les zones de stockage, soit en piles individuelles, soit en silos.

2) Livraison :

Divers moyens de transport sont ensuite utilisés pour les livrer aux clients : trains, camions ou barges. [10]

I.4. Conclusion :

Il existe plusieurs types de granulats, ainsi pour obtenir ces granulats, il est nécessaire de passer par plusieurs étapes. Ces étapes permettent d'obtenir ces différents types de granulats, chacun ayant sa classification et ses utilisations.

Une fois les granulats récupérés, ils sont utilisés pour différents projets dans le domaine du génie civil.

CHAPITRE 2 :

Généralités sur les bétons (BHP).

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

II.1. INTRODUCTION :

La résistance mécanique et la déformation sont des propriétés importantes des bétons, car elles jouent un grand rôle prépondérant sur la stabilité et la durabilité des ouvrages. Les propriétés du béton changent en fonction de la composition du béton de la nature de ces différents composants, notamment de la quantité et nature du ciment et de la quantité d'eau. Les autres paramètres qui influencent les propriétés des bétons peuvent être résumés en plusieurs catégories :

Le dosage et la nature des ses composants (ciment, adjuvants, granulats...); Conditions de son murissement au jeune âge (climat chaud, climat froid) ; Conditions de mise en œuvre (malaxage, vibration, protection ...) ; Conditions d'exposition du béton durci (environnements agressifs ou pas) ; Sollicitations auxquelles il sera soumis.

Ainsi, en prêtant une grande importance à ces aspects on peut produire des bétons avec des propriétés très variables: en résistances, isolation thermique, résistance au feu, isolation phonique, durabilité. On peut également se permettre avec le béton des réalisations de formes très complexes, de différentes teintes et textures. [11]

II.2. Définition d'un béton :

Qu'est ce qu'un béton ?

Le béton est un matériau composite aggloméré, constitué de granulats durs de diverses dimensions

Collées entre eux par un liant. Les composants sont très différents: leurs masses volumiques vont, dans les bétons courants de 1 pour l'eau eau à plus de 3 pour le ciment (en t/m³). Si le type de liant utilisé n'est pas un ciment, on parle alors, soit de liant composé binaire, ternaire ou quaternaire.

En bref le béton est un:

- Mélange d'agrégat (sable plus granulats) et de la pâte composée: de ciment, d'eau et d'adjuvant ;
- Pâte 30 à 40% ;
- Ciment Portland 7% to 15% par volume ;
- Eau 14% to 21% par volume ;
- Agrégats 60% à 80% ;
- Gros granulats ;

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

- Granulats fins ;
- Adjuvants chimique. [12]

II.3. Les avantages des différents types de béton utilisés sur les chantiers :

Tableau II.1 : les avantages de chaque type de béton. [13]

Type de béton	Avantages
Béton léger	léger et Malléable Résistant aux chocs
Béton lourd	Il répond à des différentes normes de sécurité très strictes Il dispose des granulats très lourds
Béton armé	Fondations renforcées par l'acier Limitation le risque de fissuration du béton Béton très adapté
Béton autoplaçant	Extrêmement fluide Mise en oeuvre sans vibration pour un gain de temps conséquent
Béton fibré	Renforcement général de la fondation Risque de fissuration du béton limité
Béton prêt à l'emploi	Gain de temps conséquent Transféré et livré sur chantier
Béton précontraint	État de compression optimal Meilleure qualité de finition des fondations réalisées
Béton haute-performance	Plus résistant à la compression Plus fluide et moins poreux
Béton projeté	Réduit l'affaissement de la fondation Empêche le coulage ultérieur du béton
Béton de ciment alumineux	Réduit le temps de bétonnage Une meilleure résistance sur le long terme

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

II.4. Généralités sur les bétons à haute performance :

Depuis longtemps, l'industrie et les concepteurs du béton sont contents de prescrire et de mettre sur le marché un béton universel dont la résistance en compression variant entre 15 et 25 MPa. Ces bétons leur étaient bien connus, ils étaient économiques, compétitifs et permettaient de construire des structures de façon sécuritaire. Depuis la découverte du béton armé, les études ont été axées sur la recherche de méthodes permettant de renforcer cette résistance. Des progrès considérables ont été enregistrés dans ce domaine au cours de ces dernières décennies. Aux Etats-Unis, durant les années 1950, une résistance à la compression de 35 MPa était considérée comme une résistance élevée. Dans les années 1970, la limite a été portée à 70 MPa, alors qu'en 1990, la notion de béton à haute résistance était réservée à un béton d'une résistance à la compression comprise entre 80 et 100 MPa. Et cette évolution n'est pas terminée, des résistances à la compression supérieures à 120 MPa ont été réalisées lors de constructions récentes. [14]

II.5. Définition d'un béton à haute performance :

Par convention on appelle béton à haute performance (BHP), un béton dont la résistance mécanique moyenne à la compression à l'âge de 28 jours est supérieure à 50MPa sur cylindre et un rapport (Eau efficace/liant équivalent) inférieur à 0,4. Le BHP contient les constituants suivants : des granulats ordinaires, du ciment portland ordinaire, de la fumée de silice, parfois d'autres ajouts minéraux comme des cendres volantes et des adjuvants (fluidifiants)

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, voire plus (150 à 200 MPa) pour des bétons fibrés à ultra hautes performances, BFUP. 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. Ils présentent une structure très dense, une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs. [15]

II.6. La composition des Bétons à Hautes Performances :

Le béton traditionnel besoin que du ciment, des granulats et de l'eau. Mais pour avoir une si haute performance, des additifs et des adjuvants sont indispensables.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

II.6.1. Le ciment :

Il est nécessaire d'utiliser des ciments de type CEM I ou CEM II ou encore CEM III.

Un ciment de classe 52,5 N est le plus utilisé. La classe 52,5 R peut être employé si une résistance initiale très élevée est souhaitée. Le dosage est généralement compris entre 400 et 450 Kg/m³.

En complément à la liste des 27 ciments courants que nous avons vu dans le paragraphe concernant le ciment de l'article sur les bétons ordinaires, le chiffre 52,5 représente la résistance du béton à 28 jours d'âge. La lettre R signifie que le béton aura déjà une assez bonne résistance (à court terme) à 2 jours d'âge tandis que si c'est N, la bonne résistance ne sera atteinte que 7 jours après le coulage.

II.6.2. Les granulats :

La résistance du béton pouvant être limitée par la résistance du granulat, le calcaire n'est pas recommandé. Seuls des granulats de très bonne qualité, tels que le porphyre et le gravier, peuvent être utilisés. La plupart du temps, le diamètre maximal des grains sera compris entre 10 et 20 mm.

II.6.3. Les additions :

Il s'agit des cendres volantes de silice-alumine, des fillers calcaires, des fillers de silice et du laitier de haut fourneau. La fumée de silice est également mentionnée ici en raison de ses propriétés ultrafines (0,1 micron de diamètre) qui permettent de réduire au maximum les vides entre les grains, contribuant ainsi fortement à la résistance du béton.

II.6.4. Fumée de silice :

Il s'agit d'un sous-produit de l'industrie du silicium. Il est récupéré à partir des fumées émises par les fours électriques utilisés pour la fabrication des produits.

II.6.5. Les adjuvants :

Les adjuvants généralement utilisés sont soit des plastifiants réducteurs d'eau, soit des supers plastifiants à fort pouvoir réducteur d'eau.

La multiplicité des composants rend extrêmement difficile la détermination de la composition optimale. Cependant, en général, le dosage en ciment ne dépasse que très exceptionnellement 450 kg/m³. La proportion de fumée de silice est de l'ordre de 5 à 10% du poids du ciment utilisé. Le rapport eau-ciment est compris entre 0,25 et 0,30. En cas de présence de fumées de

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

silice, des adjuvants réducteurs d'eau sont indispensables pour faciliter leur dispersion. La quantité d'adjuvants est souvent de l'ordre de 10 litres par mètre cube de béton. [16]

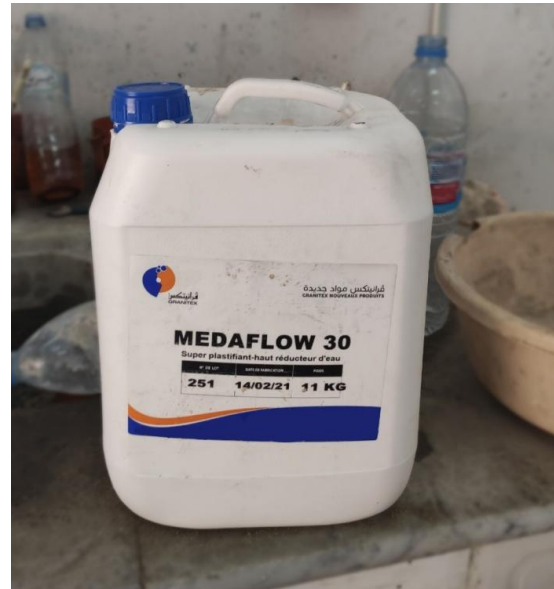


Figure II.1 : fumée de silice

Figure II.2 : Super plastifiants (MEDAFLOW 30).

II.7. La formulation du BHP :

Toutes les différentes méthodes de formulation de béton ils ont un objectif est de déterminer la combinaison des matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés souhaitées et qui sera le plus économique. Ainsi l'augmentation des performances mécaniques et de la stabilité du béton est obtenue par la réduction de la porosité. Il faut rechercher un mélange compact, c'est-à-dire une compacité élevée et une faible quantité d'eau de gâchage. Nous utiliserons la méthode de l'Université de Sherbrooke ajustée pour la formulation du BHP qui nous voulons.

II.7.1. Méthode du Sherbrooke (méthode proposé) :

L'université de Sherbrooke qui a développée la méthode de formulation d'un béton a haute performance sans air entraîné, et même aussi utilisée la formulation pour formuler un BHP à air entraîné à condition de tenir compte de la réduction de la résistance à la compression due à la présence du réseau de bulles d'air contenu dans le béton. C'est très simple cette méthode suit la même approche que la norme ACI 211-1(American Concrete Institute). Il s'agit d'une combinaison de résultats empiriques et de calculs basés sur la méthode des volumes absolus.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

La quantité d'eau contenue dans le super plastifiant est considérée comme faisant partie de la quantité d'eau de gâchage. L'organigramme de cette méthode est présenté dans la Figure II.3.

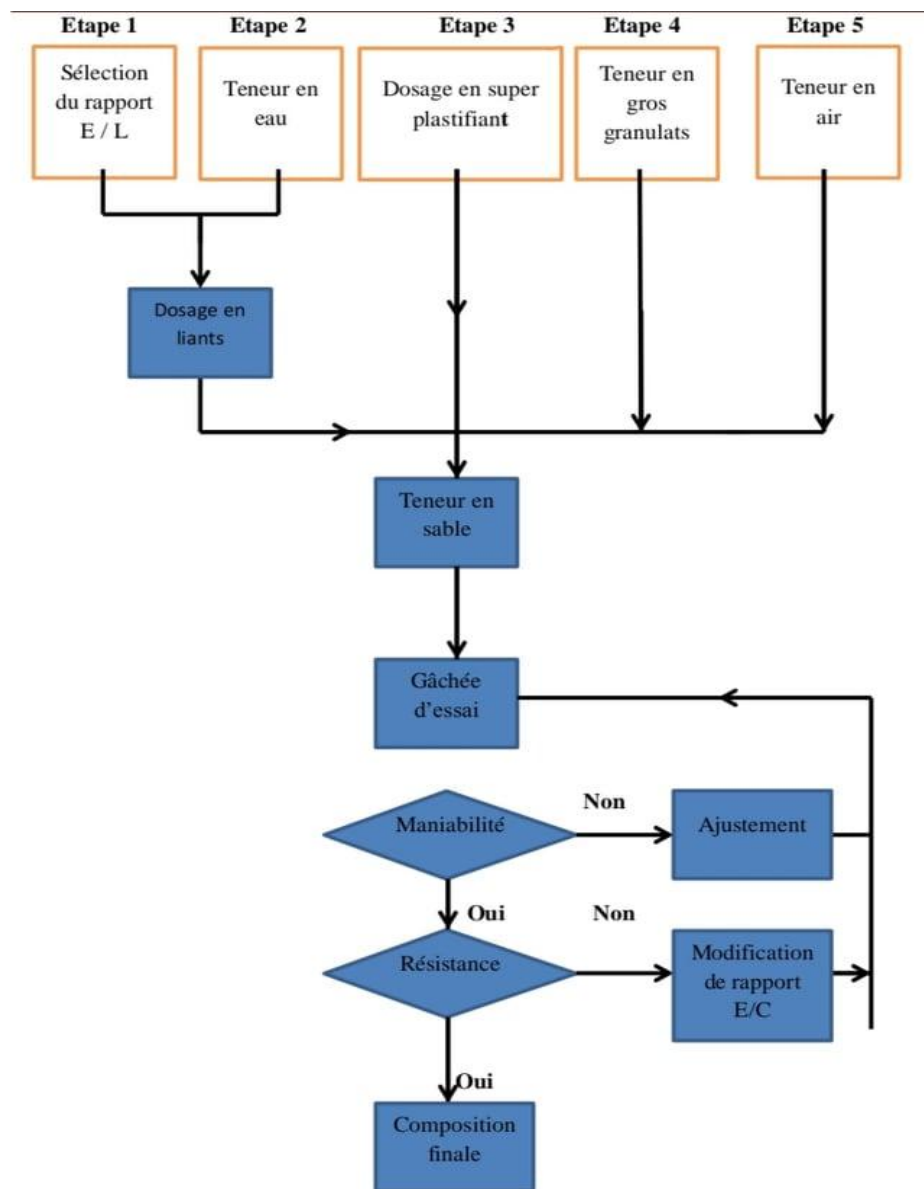


Figure II. 3 : Organigramme de la méthode proposée pour formuler des BHP.

Il ya cinq caractéristiques particulières du béton a haute performances ou des matériaux utilises a été commence par la procédure de formulation.

Le rapport (eau/liant), le dosage en eau, en gros granulats, en super plastifiants, et la teneur en air [17].

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

II.7.2. Rapport eau/liant :

Le rapport eau/liant suggéré peut être trouvé à partir de Figure II. 4 pour une résistance à la compression à 28 jours

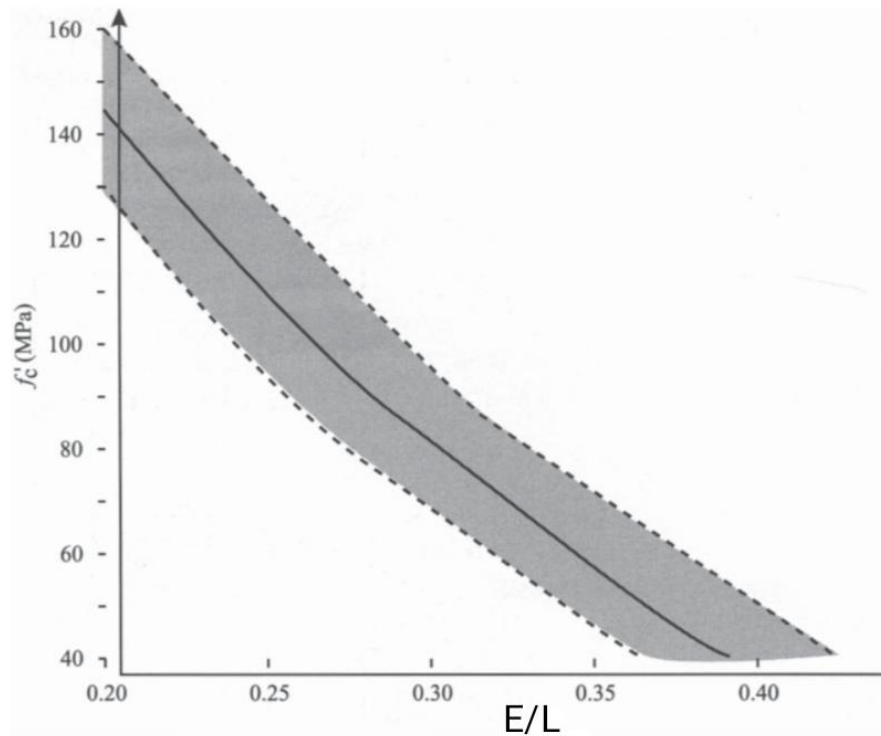


Figure II. 4 : Relation E/L proposée par rapport à la résistance à la compression. [17]

II.7.3. Le dosage de l'eau :

Cette méthode n'est pas toujours pratique, donc une approche simplifiée basée sur le concept de la saturation point est donné dans la Figure II.5 . Pour concevoir un mélange très sûr, 5 l/m³ d'eau peuvent être ajouté aux valeurs présentées dans la Figure 8.10. Si le point de saturation du superplastifiant n'est pas connu, il est conseillé de commencer par une eau contenu de 145 l/m³.

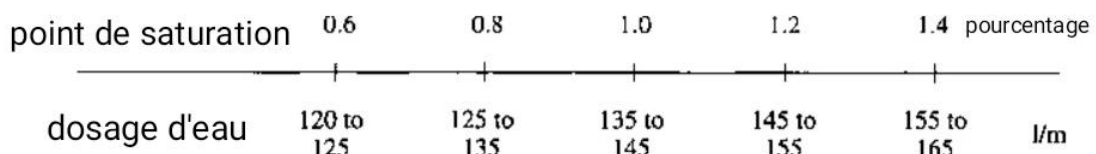


Figure II.5 : Détermination du dosage minimal de l'eau. [17]

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

II.7.4. Dosage des gros granulats :

La Figure II.6 permet de déterminer la teneur en granulats grossiers en fonction de la forme typique des particules. S'il y a un doute sur la forme du granulat grossier ou si sa forme n'est pas connue, une teneur de 1000 kg/m³ de granulat grossier peut être utilisée pour commencer.

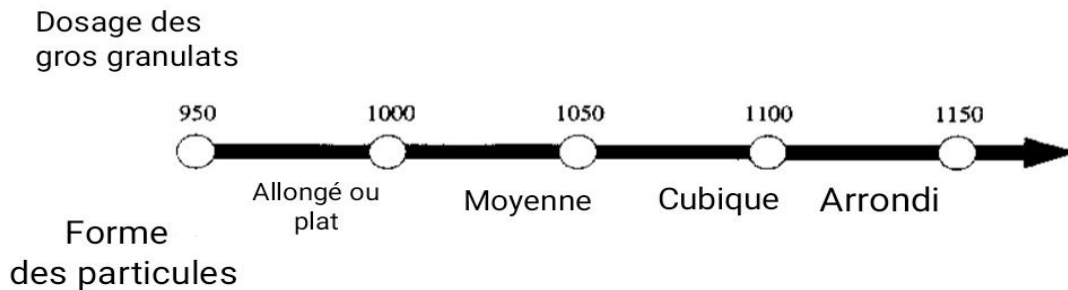


Figure II.6 : Teneur en granulats grossiers. [17]

II.7.5. Dosage du super plastifiant :

Le dosage de super plastifiant peut être déduit du dosage au point de saturation. Si le point de saturation n'est pas connu, il est conseillé de commencer par un dosage d'essai de 1,0%.

II.7.6. Dosage de fumée de silice :

Théoriquement, afin de fixer toute la chaux potentielle libérée par l'hydratation du C3 S et du C2 S, le dosage de la fumée de silice devrait être de 25 à 30%.

II.7.7. La teneur en air :

Pour les bétons à hautes performances destinés à être utilisés dans des environnements sans gel, il n'y a théoriquement pas besoin d'air entraîné, de sorte que le seul air présent dans le mélange est l'air emprisonné, dont le volume dépend en partie des proportions du mélange.

[17]

II.8. Les propriétés des Bétons à Hautes Performances :

II.8.1. Béton frais :

a) Maniabilité :

L'effet lubrifiant des super plastifiants permet aux particules solides de glisser les unes sur les autres. Le matériau frais se déforme facilement, même sous une contrainte modérée. Par exemple, dans l'essai au cône d'Abrams, le béton s'étale et présente des affaissements généralement de plus de 20 cm.

II.8.2. Béton durcit:

a) Les propriétés physiques :

a.1) La masse volumique :

En générale la masse volumique d'un béton a hautes performances est supérieure qu'un béton ordinaire. Ceci est dû à la meilleure compacité des BHP.

- La masse volumique apparente pour les BHP = 2400 à 2500.
- La masse volumique apparente pour BO = 2350 à 2400.

a.2) Déformation des BHP: (Les déformations libres (retrait) :

Ce sont des propriétés de première importance pour le constructeur. La construction d'une structure durable dépend donc de la maîtrise des déformations libres. La température et la teneur en eau sont deux paramètres qui contrôlent les déformations libres.

a.3) Fluage des bétons à haute performance :

Le fluage des BHP est beaucoup plus faible que celui des bétons usuel. Le coefficient de fluage, égal au rapport de la déformation différée par rapport à la déformation instantanée, est compris entre 1 et 1,5 pour les BHP, alors qu'il est de deux pour le béton ordinaire.

b) Les propriétés mécaniques :

b.1) Résistance à la compression et à la traction :

Une conséquence heureuse de la proximité initiale des gains de ciment est l'augmentation très rapide de la résistance à la compression une fois la période de dormance terminée. Des valeurs de 60 à 130 MPa sont couramment atteintes à 28 jours, et souvent beaucoup plus élevées.

b.2) Durabilité des bétons à hautes performances :

La porosité et la perméabilité de ces bétons améliorent également la durabilité. La résistance aux agressions chimiques, comme cela peut être le cas pour les bétons en milieu agressif ou marin. Il en va de même pour la résistance au gel. La résistance aux agents agressifs, le faible risque de corrosion des armatures, la résistance élevée au cycle gel-dégel et la faible perméabilité sont autant de propriétés qui qualifient ce béton comme étant durable.

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

b.3) Le retrait :

Le retrait est totalement identique à celui du béton traditionnel. La seule différence est que pour le BHP, le retrait se produit plus tôt, puisqu'il se développe immédiatement quelques jours après le coulage.

b.4) Imperméabilité :

Il présente une très grande imperméabilité à l'eau et à l'air en raison de sa plus grande compacité. [18][19]

II.9. Les avantages de l'utilisation des Bétons à Hautes Performances :

Les gains de performance permettront de réduire considérablement le coût de la maintenance. Outre les avantages liés à leurs propriétés exceptionnelles, ils présentent également des avantages dans leur application.

II.9.1. A l'état frais :

En particulier, grâce à sa fluidité et sa ouvrabilité, le BHP, lorsqu'il sera appliqué, permettra de

- Gagner en productivité et en rapidité d'exécution grâce à sa maniabilité,
- Remplir complètement le coffrage et enrober les armatures,
- Faire couler le béton plus facilement dans les zones à dense ferrailage.

II.9.2. Aux jeunes âges :

Grâce à leurs caractéristiques mécaniques, il est possible de

- Réduire le temps nécessaire à la mise en tension des armatures de précontrainte,
- d'augmenter la cadence de coffrage et de décoffrage,
- d'optimiser les séquences de production,

Réduire la section du béton en raison de sa résistance accrue, ce qui réduit le poids de la construction, Meilleure texture du béton.

II.9.3. À long terme :

Les BHP offrent des performances mécaniques élevées à long terme.

- une meilleure adhérence acier/béton
- un fluage inférieur à celui d'un béton ordinaire
- une augmentation du module d'élasticité ;

CHAPITRE 2 : Généralités sur les bétons (BHP)

- une réduction des sections de béton ;
- une grande résistance aux agents agressifs
- un faible risque de corrosion des armatures
- une résistance élevée aux cycles de gel/dégel ;
- une faible perméabilité [20].

II.10. Utilisations des Bétons à Hautes Performances :

Les caractéristiques du béton et sa flexibilité permettent de répondre aux diverses exigences de tous les types de structures.

Le BHP offre un certain nombre de nouvelles possibilités, notamment la possibilité de réaliser des constructions plus élancées. C'est déjà le cas pour les structures telles que les tunnels, les ponts et les monuments, mais aussi pour les ouvrages de la grande envergure comme les bâtiments et les échangeurs autoroutiers. En raison de leur résistance aux attaques chimiques, les ouvrages d'assainissement et les ouvrages en milieu agricole ou industriel peuvent être réalisés en BHP.

Les BHP peuvent également être utilisés pour la construction de bâtiments.

II.11. Conclusion :

Dans ce deuxième chapitre, nous présentons une synthèse bibliographique sur les BHP, nous donnons une définition du béton à haute performance et sa généralité, la formulation et les principales étapes du BHP, nous expliquons les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons à haute performance, et nous décrivons les applications les plus importantes des BHP dans le domaine du génie civil et les avantages du béton à haute performance.

PARTIE EXPERIMENTALE :

Chapitre 3 :

*Caractérisations
géotechniques des granulats.*

III.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous avons étudié les caractérisations géotechniques du granulats et du sable utilisé comme (la finesse et la dureté...etc.). Plusieurs normes sont utilisées pour l'interprétation des différents résultats obtenus à savoir (l'équivalent de sable, l'analyse granulométrique, Los angles...etc.).

III.2. Les caractéristiques du sable utilisés :

III.2.1. Essai de l'équivalent de sable : [NF EN 933-8]

But de l'essai :

L'équivalent de sable est un indicateur, caractérisant la propreté d'un sable ou d'un gravier.

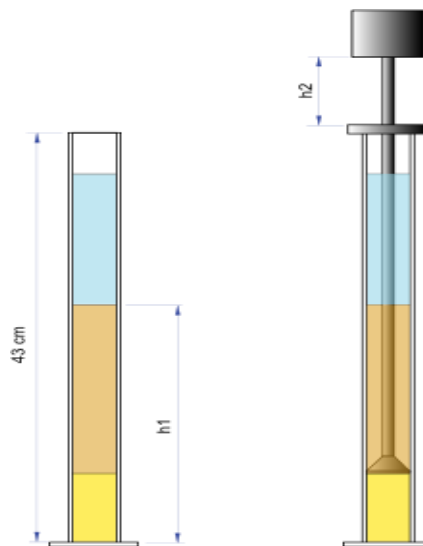


Figure III.1 : Appareillage pour l'essai d'équivalent de sable.

Tableau III.1 : Classification du sable en fonction d'ES.

ES%	Qualité de sable
ES<60	argileux
65<ES<70	l'égerment argileux
70<ES<80	Propre
ES>80	Très propre

ES% : pourcentage d'équivalent de sable.

$$\text{E.S.}\% = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \text{ (\%)} \text{ avec :}$$

h1: la hauteur du sable + flocculant ; **h2** : la hauteur du sable.

- **Résultats et classification pour le sable d'Oued Souf :**

On a : **h1** = 10.3 , **h2** = 8.5

$$\text{ES}\% = \frac{8.5}{10.3} \times 100 = 82.52\%$$

Tableau III.2 : Résultat et classification du sable.

ES%	Qualité de sable
82.52%	très propre.

III.2.2. Essai Module de finesse (sable d'Oued Souf) [NF EN P 18-304] :

But de l'essai :

Permet de caractériser la granulométrie des sables utilisés pour le béton.

Classification du sable :

Lorsque MF est comprise entre :

- 1,80 et 2,20 : Le sable est fin.
- 2,20 et 2,80 : On est en présence d'un sable préférentiel.
- 2,80 et 3,30 : Le sable est un peu grossier.

$$\bullet \text{ MF} = \frac{\sum \% \text{ de refus cumulés (Tamis } 0.16+0.315+0.63+1.25+2.5+5)}{100}$$

MF : module de finesse.

- **Résultats et classification :**

Les résultats d'analyse granulométrique du sable sont récapitulés dans le *Tableau III.3*.

Tableau III.3 : Résultats d'analyse granulométrique du sable

Tamis (mm)	Masse de refus	Masse de refus cumules	Pourcentage de refus cumulés	Pourcentage de tamis cumulés
Dimensions	g	g	%	%
5	0	0	0%	100%
4	0	0	0%	100%
3.15	2	2	0.2%	99.8%
2.5	6	8	0.8%	99.2%
1.25	49	57	5.7%	94.3%
0.63	182	239	23.9%	76.1%
0.315	455	694	69.4%	30.6%
0.16	275	969	96.9%	3.1%
0.08	32	1001	100%	0%
Fond	4	1005	100%	0%

La Courbe d'analyse granulométrique de sable d'Oued Souf a été mentionnée dans la *Figure III.2* :

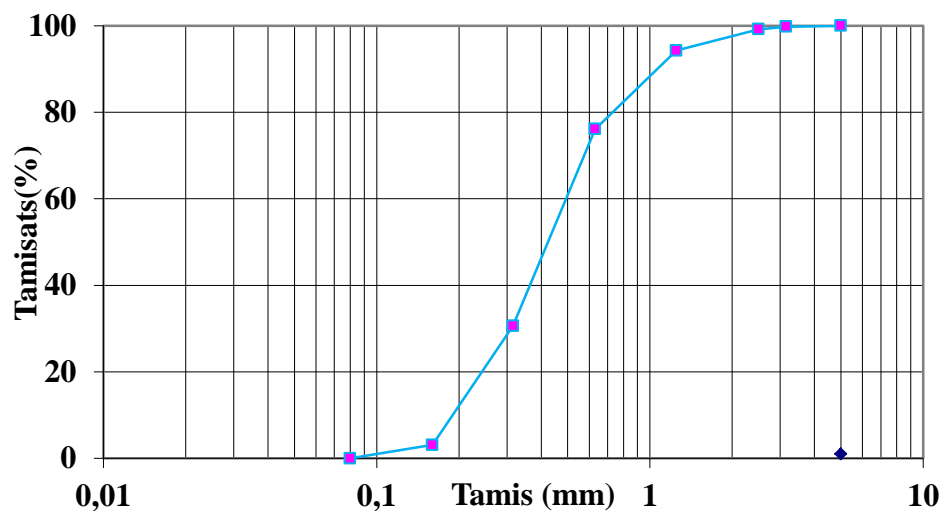


Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique de sable d'Oued Souf.

- ✓ **Commentaire** : La courbe d'analyse granulométrique du sable que nous avons obtenues, ont une bonne continuité.

$$MF = \frac{(96.9+69.4+23.9+5.7+0.8)}{100} = 1.97$$

Tableau III.4 : Résultat et classification le MF du sable.

MF	Classification
1.97	Sable Fin.

III.2.3. Les propriétés physiques :

a) **Masse spécifique (absolue) [NF EN P 18-555] et apparente [NF EN P 18-555]**

Porosité et compacité et indice des vides.

Pour étudier la formulation d'un béton, il est nécessaire de déterminer les caractéristiques physiques du sable selon les normes recommandées par l'AFGC, Les résultats trouvés sont mentionnés dans le *tableau III.5*.

Tableau III.5: Les propriétés physiques de sable utilisé.

Propriétés physique	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)	Porosité (%) P $P = (1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}}) \times 100\%$	Compacité (%) C = $\frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} = 1 - P$	Indice de vides E $E = \frac{P}{C}$
Valeurs moyenne	2.608	1.568	39.877	60.122	0.663

III.3. Les caractérisations des granulats de carrière de l'Euch :

Nous avons mesuré les caractérisations des granulats d'après les essais suivants :

III.3.1. Densité apparente et absolue : [NF EN P 18-555]

a) **Densité apparente :**

Le principe de cette mesure consiste à remplir un récipient d'un volume interne connu et à peser la quantité correspondante de granulat.

$$\gamma (\text{app}) = \frac{(M2 - M1)}{V}$$

Avec : $\gamma (\text{app})$: Densité apparente ; **M2** : Masse de récipient plein.

M1 : Masse de récipient vide ; **V** : Volume de récipient.

Chapitre 3 : Caractérisations géotechniques des granulats

✓ Résultats :

Les résultats de La Densité apparente des granulats sont récapitulés dans le *Tableau III.6*.

Tableau III.6 : Densité apparente du gravier.

	Essai	Sable concassé	Gravier3/8	Gravier8/15	Gravier15/25
V (L)		1L	5L	5L	5L
M1 (kg)		1.443	3.840	3.840	3.840
M2 (kg)	Essai 1	2.99	10.111	10.7	11.09
M2 (kg)	Essai 2	3.01	10.023	10.62	11.135
$\gamma(\text{app})$ (g/cm ³)	Essai 1	1.547	1.25	1.37	1.44
$\gamma(\text{app})$ (g/cm ³)	Essai 2	1.567	1.236	1.35	1.46
γ (moyen) (g/cm ³)		1.56	1.24	1.36	1.45

b) Densité absolue :

La densité absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre des grains. [20]

$$\rho (\text{abs}) = \frac{M}{(V2-V1)}$$

Avec : ρ (abs) : Densité absolue ; M = masse de l'échantillon ;

V1 = volume d'eau ; V2 = volume d'eau plus l'échantillon ;

• Résultats :

Les résultats de la masse volumique absolue sont présentés dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.7 : Densité absolue du gravier.

	Essai	Sable concassé	Gravier (3/8)	Gravier (8/15)	Gravier (15/25)
V1 (cm)		500	500	500	500
M(g)		300	300	300	300
V2 (cm)	Essai 1	620	616	610	611
V2 (cm)	Essai 2	615	620	613	610
ρ (abs)	Essai 1	2.5	2.59	2.72	2.7
ρ (abs)	Essai 2	2.6	2.5	2.65	2.72
ρ (abs) (moyen) (g/cm ³)		2.55	2.55	2.69	2.71

III.3.2. Essai d'analyse granulométrique : [NF EN 933-1]

But de l'essai : L'analyse granulométrique permet de détecter et d'exploiter la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains composant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats dont la taille nominale est inférieure ou égale à 63mm, à l'exclusion des filets.

Appareillage :

Étuve à température constante ; Une balance ; Un tamiseur mécanique ; Une série des tamis.



Figure III.3: Les tamis utilisés.



Figure III.4 : Tamiseuse électrique.

Chapitre 3 : Caractérisations géotechniques des granulats

- **Résultat de l'essai :**

Les résultats d'analyse granulométrique ont été mentionnés dans les tableaux suivants :

Tableau III.8 : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (0/3).

Tamis	Masse de refus	Masse de refus cumulée	Pourcentage de refus cumulé	Pourcentage de tamisas cumulée
Dimensions (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
4	0	0	0%	100%
3,15	2,3	2,3	0,23%	99,77%
2,5	44,4	46,7	4,67%	95,33%
1,25	291	337,7	33,7%	66,3%
0,63	209	546,7	54,67%	45,33%
0,315	163	709,7	70,97%	29,03%
0,16	115	824,7	82,47%	17,53%
0,08	76	900,7	90,07%	9,93%
fond	103	1003,7	100%	0%

Tableau III.9 : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (3/8)

Tamis	Masse de refus	Masse de refus cumulée	Pourcentage de refus cumulé	Pourcentage de tamisas cumulée
Dimensions (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
8	29	29	1,81%	98,19%
6,3	164	193	12,06%	87,94%
5	329	522	32,62%	67,38%
4	360	882	55,12%	44,88%
3,15	355	1237	77,31%	22,69%
2,5	245	1482	92,62%	7,38%
1,25	108	1590	99,37%	0,63%
0,63	5	1595	99,68%	0,32%
fond	5	1600	100%	0%

Chapitre 3 : Caractérisations géotechniques des granulats

Tableau III.10 : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (8 /15).

Tamis	Masse de refus	Masse de refus cumulée	Pourcentage de cumulé	Pourcentage de tamisas cumulée
Dimensions (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
20	0	0	0%	100%
16	179	179	5,96%	94,04%
12,5	1335	1514	50,46%	49,54%
10	758	2272	75,9%	24,1%
8	429	2701	90%	10%
6,3	211	2912	97%	3 %
5	41	2953	98,4%	1,6%
4	22	2975	99,1%	0,9%
fond	25	3000	100%	0%

Tableau III.11 : Résultats d'analyse granulométrique de granulats (15/25)

Tamis	Masse de refus	Masse de refus cumulée	Pourcentage de cumulé	Pourcentage de tamisas cumulée
Dimensions (mm)	(g)	(g)	(%)	(%)
25	111	111	2,22%	97,78%
20	1754	1865	37,3%	62,7%
16	2474	4339	86,78%	13,22%
12,5	608	4947	98,94%	1,06%
10	40	4987	99,74%	0,26%
8	5	4992	99,84%	0,16%
6,3	2	4994	99,88%	0,12%
Fond	6	5000	100%	0%

Chapitre 3 : Caractérisations géotechniques des granulats

Tableau III.12 : Résultats d'analyse granulométrique des granulats.

Tamis	Pourcentage de tamisas cumulée%			
Dimensions(mm)	(0/3)	(3/8)	(8 /15)	(15/25)
25				97.78
20				62.7
16			94.04	13.22
12.5			49.54	1.06
10			24.1	0.26
8		98.19	10	0.16
6.3		87.94	3	0.12
5		67.38	1.6	
4		44.88	0.9	
3.15	99.77	22.69		
2.5	95.33	7.38		
1.25	66.3	0.63		
0.63	45.33	0.32		
0.315	29.03			
0.16	17.53			
0.08	9.93			

La courbe d'analyse granulométrique des granulats sont présentés dans la *Figure III.5*.

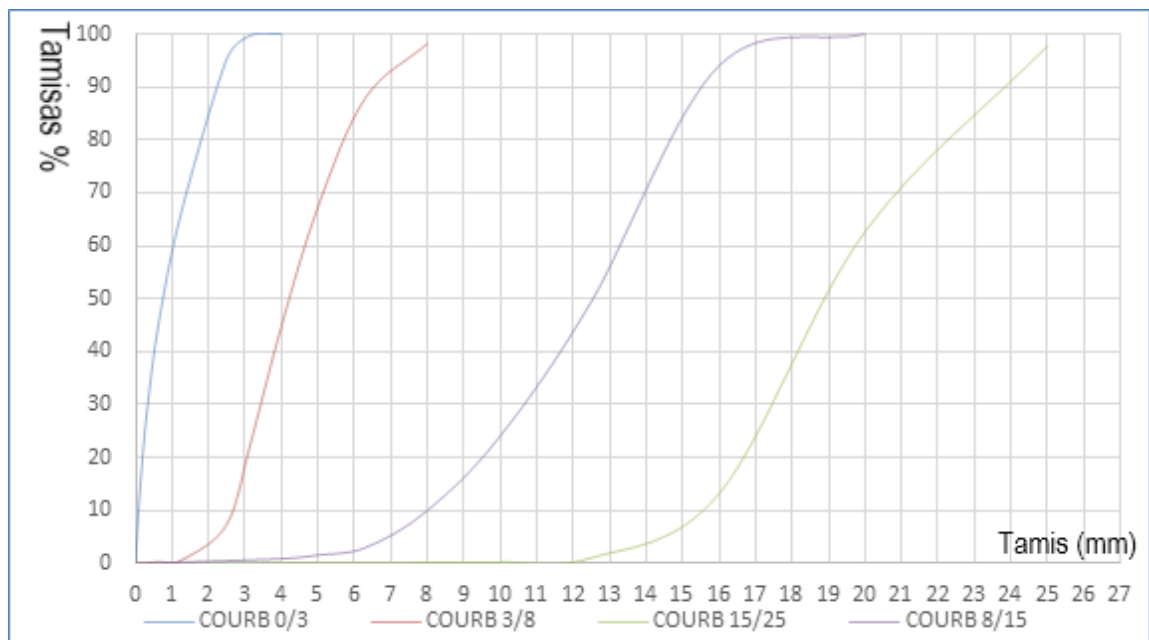


Figure III.5 : Courbe d'analyse granulométrique des granulats.

- ✓ **Commentaire** : Les courbes que nous avons obtenues, ont une bonne continuité, et même aussi une bonne distribution des granulats.

III.3.3. Essai de LOS-ANGLES : [NF EN 1097-2]

But de l'essai : L'essai permet de savoir la dureté d'un matériau en calculant un coefficient de Los Angeles.

Appareillage : Tamis 1.6mm ; Appareil de los Angeles ; Des boulets ; Etuve à température réglable à $(110 \pm 5) ^\circ\text{C}$; Balance électronique avec une précision de $\pm 0.1\%$.



Figure III.6 : (A) : Les boulets de Los angles ,(B) : Appareil de los angles.

Le coefficient Los- Angel es (**LA**) :

$$LA = \frac{m}{M} \times 100.$$

Avec : **m** : masse du refus à 1,6 mm ; **M** : masse initiale ; **LA** : Coefficient de los angles.

Remarque : Plus le pourcentage Los Angeles (LA) est bas, plus l'échantillon est résistant tant à fragmentation.

Tableau III.13 : Classification des granulats en fonction du coefficient L_A

Coefficient L_A	Nature de los Angeles L_A
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tendre

- **Résultats et classification :**

Après avoir tamisé l'échantillon sur le tamis 1.6, en suite l'échantillon sera lavé et séché. Le résultat est présenté dans le tableau ci-dessous.

Tableau III.14 : Résultats d'essai de los Angles.

Classe granulaire (mm)		Nombre des boulets	Poids total de la charge (g)	Poids des fractions (g)
10-25	10-16	11	3770 g	3000 g
	16-25	11	3770 g	2000 g

$$m = 5000 - 3770 = 1230 \text{ g.}$$

$$LA = \frac{1230}{5000} \times 100 = 24.6\%.$$

Tableau III.15 : Coefficient de LA et sa classification.

Coefficient LOS ANGLES %	Classification
24.6	Dure

Le gravier (10/25) est un gravier **dure** ($L_A=24.6\%$) (20à 25), se trouve dans l'intervalle des graviers admissibles.

III.3.4.Essai de Micro-Deval : [NF EN 1097– 1]

But de l'essai : détermination du coefficient de Micro-Deval des roches.

Appareillage :

- Tamis de 1,6-4-6,3-8-10-14-25-40 et 50mm
- Eprouvette cylindrique en fer muni d'une plaque de fermeture avec des vis.
- L'appareil micro-Deval conforme à des caractéristiques définis (il comporte un à quatre cylindres creux fermés à une extrémité).
- La charge abrasive est constituée par des billes sphériques de 10 mm $\pm 0,5$ mm de diamètre en acier inox.
- Etuve à température réglable à (110 \pm 5) °C. Balance électronique avec une précision de $\pm 0.1\%$.



Figure III.7: les boulets de micro deval.

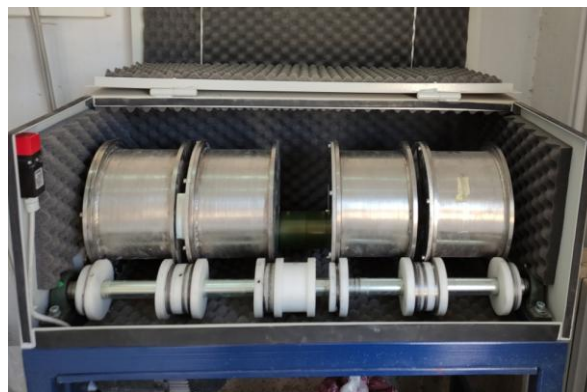


Figure III.8: Appareil de micro deval.

Mode opératoire :

La composition de l'échantillon d'essai, la charge abrasive et le volume d'eau ajouté sont déterminés en fonction de la classe granulaire étudiée comme indiqué dans le tableau en bas. Placer l'échantillon d'essai dans le cylindre MDE. Ajouter la charge abrasive puis l'eau. Faire fonctionner la machine pendant 2 heures. Retirer les billes, laver le matériau à travers le tamis de 1,6 mm. Sécher le rejet de 1,6 mm. Tamiser le rejet séché en 1,6 mm et le peser.

Tableau III.16 : Référence d'essai de micro deval.

Classe granulaire (mm)	Charge abrasive (g)	Masse de la charge de la prise d'essai	Volume d'eau ajoutée (L)	Nombre de tours	Composition de la pris d'essai
4/6.3	2000	500	2.5	12000 tours ou rotation pendant 2h à 100tr/min	100% 4/6.3
6.3/10	4000	500	2.5		100% 6.3/10
10/14	5000	500	2.5		100% 10/14
25/50	Sans charges	10000	2.0		60% 25/40 40% 40/50

Tableau III. 17 : Classification des granulats selon le coefficient micro deval.

Valeurs de coefficient Micro Deval	Appréciation
< 10	Très bon à bon
De 10 à 20	Bon à moyen
De 20 à 35	Moyen à faible
> 35	Médiocre

- **Résultats et classification des résultats :**

Le coefficient Micro-Deval est déterminé par la relation :

$$MDE(\%) = \frac{M}{500} \times 100$$

MDE(%) : coefficient Micro Deval ;

M : masse passant au tamis 1.6mm ;

Tableau III.18 : Classement et échantillon traité de MDE.

Classement granulaire (mm)	Poids d'échantillon(g)	Poids de la charge (g)
10-14	500g	5000g

- **Résultats et classification :**

Après avoir tamisé l'échantillon sur le tamis 1.6, en suite l'échantillon sera lavé et séché. Le poids de l'échantillon atteint la valeur de 480.25g.

$$M = 500g - 480.25g = 19.75g$$

$$MDE (\%) = \frac{19.75}{500} \times 100 = 3.95\%.$$

Tableau III.19 : Valeurs de coefficient MDE(%) et leur appréciation.

Valeurs de coefficient MDE(%)	Appréciation
3.95%	Très bon à bon

III.3.5. Essai de Coefficient d'aplatissement : [NF EN 933 – 3]

Les résultats de l'essai ont été obtenu par le laboratoire de la carrière "SARL GRAIN PRO" EL MDJEZ COMMUN EL EUCH :

- **But de l'essai :**

Détermination du coefficient d'aplatissement d'un échantillon de granulats de dimensions comprises entre 4 et 80 mm par le test du double tamis.

Appareillage :

Une série de tamis à maille carrée avec couvercle et fond de tamis ; Une série de grilles avec couvercle et fond de grille ; Etuve à température réglable à (110±5) °C ; Balance électronique avec une précision de ±0.1%.



Figure III.9 : Tamis a barre.



Figure III.10: Série de tamis à maille carrée.

Mode opératoire :

- Laver la masse de prise d'essai dans le tamis 80 µm pour éliminer les fines.
- Sécher la masse lavée dans l'étuve (110±5) °C
- Tamiser et peser le refus Partiel de chaque tamis.
- Tamiser le refus de chaque tamis par la grille équivalente et mesurer son refus.

- **Résultats :**

Le coefficient d'aplatissement A_i de chaque granulat élémentaire exprimé en (%) est :

$$A_i = \frac{m_i}{R_i} \times 100$$

m_i : Masse du passant de la grille à fentes correspondante au granulat élémentaire.

R_i : Masse de chaque granulat élémentaire.

Le coefficient d'aplatissement global A exprimé en (%) est :

$$A = \frac{M_2}{M_1} \times 100$$

M_1 : Somme des masses des granulats élémentaires ; **M_2** : Somme des masses de passants sur les grilles.

A (%) : Le coefficient d'aplatissement.

Les résultats de coefficient d'aplatissement sont récapitulés dans le Tableau suivant :

Tableau III.20 : Résultats d'aplatissement $A\%$.

	Gravier (3/8)	Gravier (8/15)	Gravier (15/25)
Aplatissement $A\%$	24%	10.08%	7.28%

III.4. Caractérisations des granulats de la région de Sétif : d'après les résultats de "GHAZALI Marouane" et "ZIAINA Abd ennacer".[21]

III.4.1. Analyse granulométrique :

Les résultats d'analyse granulométrique des granulats (3/8) et (8/15) sont présentés dans le Tableau ci-dessous.

Tableau III.21 : Résultats d'analyse granulométrique du granulat (3/8) et (8/15).

Tamis	Pourcentage de tamis cumulée%	
	(3/8)	(8/15)
16	99.63	
12.5	83.66	
10	53.66	
8	11.69	98.375
6.3	0.85	25.8125
5	0.32	8.0625
4		2.1875
3.15		0.1875
2.5		0.0625
1.25		00.00

La courbe d'analyse granulométrique des fractions (3/8) et (8/15) sont illustrés dans la Figure suivante :

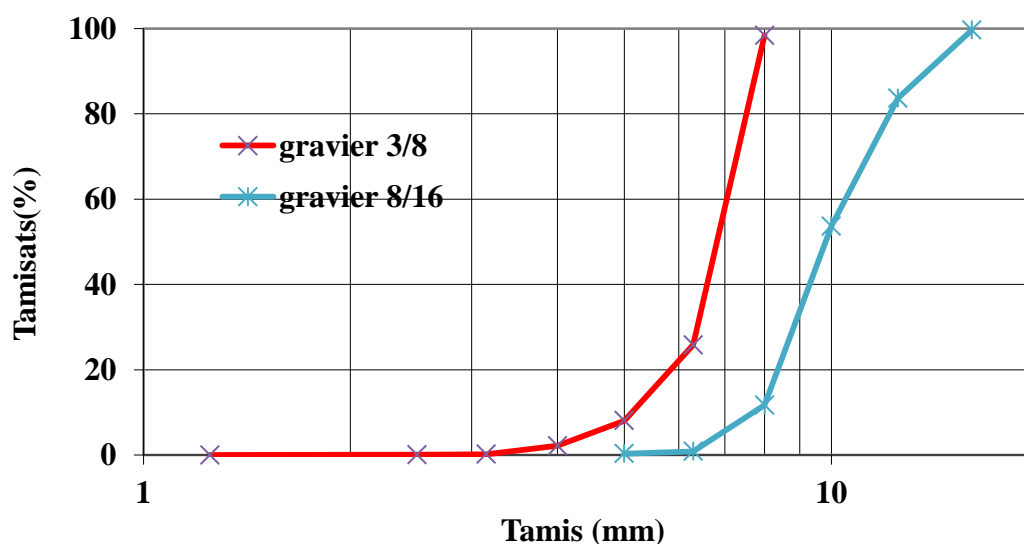


Figure III.11 : Courbe d'analyse granulométrique des fractions (3/8) et (8/15).

✓ **Commentaire** : Les courbes que nous avons obtenues (3/8) et (8/15), ont une bonne

continuité, et même aussi une bonne distribution des granulats.

III.4.2 Masses volumiques absolue et apparente : [NF EN P18-555]

Les résultats de la masse volumique absolue et apparente des granulats (3/8) et (8/15) sont récapitulés dans le Tableau suivant :

Tableau III.22 : Masses volumiques absolue et apparente de gravier.

Caractéristiques Physiques	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Valeurs moyenne du gravier 3/8	2.5	1.50
Valeurs moyenne du gravier 8/16	2.63	1.89

III.4.3 Essai Los Angeles : [NF EN P18-573]

$$LA = 100 \times \frac{5000 - 3587}{5000} = 28.26.$$

Le gravier (8/16) est un gravier **Assez dure** ($L_A=28.26\%$) (25 à 30), se trouve dans l'intervalle des graviers admissibles.

III.5. Conclusion :

A partir des résultats obtenus, nous pouvons tirer les conclusions suivantes :

- ✓ Pour le sable d'Oued-Souf : (**ES%** est très propre, **MF** est fin).
- ✓ Les courbes granulométriques des granulats ils ont une bonne continuité et distributions des granulats.
- ✓ En ce qui concerne les granulats de l'Euch : (**LA** "dure" et **MDE**(%) "Très bon à bon).
- ✓ Les granulats de la région de Sétif est "Assez dure".

Chapitre 4 :

Formulation du BHP.

IV.1 Introduction :

En vue de l'utilisation des granulats de la carrière de l'Euch comme un matériau pour béton, nous avons réalisés deux mélanges du BHP pour obtenir deux échantillons :

- ❖ Echantillon numéro 1 : BHP à base des granulats de l'Euch.
- ❖ Echantillon numéro 2 : BHP à base des granulats de Sétif.

Après l'obtention des deux mélanges, les caractéristiques du BHP à l'état frais et à l'état durci sont déterminées. Par la suite nous avons fait des comparaisons entre les deux échantillons après l'interprétation des différents résultats obtenus.

IV.2 Composition du 0.035 m3 d'un BHP pour 2 échantillons :

La formulation du BHP pour les deux échantillons à base de la méthode de Sherbrooke ont été présentées dans le *Tableau IV.1*.

Avec :

- ❖ G_c : poids spécifique du ciment ou du matériau cimentaire ;
- ❖ G_{sss} : poids spécifique de l'agrégat à l'état sec de surface saturée ;
- ❖ E_{abs} : eau absorbée dans l'agrégat en pour cent ;
- ❖ E_{tot} : teneur totale en eau de l'agrégat en pour cent ;
- ❖ E_h : teneur en humidité de l'agrégat en pour cent : $E_h = E_{tot} - E_{abs}$;
- ❖ G_{sup} : gravité spécifique du superplastifiant liquide ;
- ❖ S : teneur totale en solides du superplastifiant en pour cent ;
- ❖ M_{sol} : masse de solides dans le superplastifiant ;
- ❖ d : dosage du superplastifiant en pourcentage de la masse de solides par rapport à la masse totale de matériaux cimentaires ;
- ❖ V_{liq} : volume de superplastifiant liquide ;
- ❖ V_w : volume d'eau dans le superplastifiant liquide ;
- ❖ V_{sol} : volume de solides dans le superplastifiant ;
- ❖ E : masse d'eau en kg par mètre cube de béton ;
- ❖ L : masse de liant en kg par mètre cube.

Chapitre 4 : Formulation du BHP

Tableau IV.1 : Formulation du BHP (Sherbrooke).

FC 28±= 100 Mpa

	Gs	%
Ciment	3.14	90
F.S	2.2	10

	%			
Granulats	Gsss	Eabs	Etot	Eh
Gros	2.66	0.8	0.0	-0.8
Fin	2.5	1.2	3.5	2.3

$$E_h = E_{tot} - E_{abs} \quad M = M_{sss}(1+E_h)$$

SUPERPLASTIFIANT					
Densité (G _{sup})	Teneur en solides (s)	M _{sol} =c*d/100	V _{liq} = M _{sol} *100/s*G _{sup}	V _E =V _{liq} *G _{sup} *(100-s)/100	V _{sol} = V _{liq} -V _E
1.07	30	4.7	14.64	10.97	3.67

Matériaux		1		2	3	4	5	
		Teneur en kg/m ³		Volume L/m ³	Dosage état sss kg/m ³	Correction d'humidité L/m ³	1 m ³	0.035m ³
Eau	E/L = 0.27	140		140	140		121	4.23
Ciment		520	470	150	470		470	16.45
F.S		50		23	50		50	50
Gros granulat		1050		395	1050	+ 9	1041	36.44
Granulat fin				273.3	683.2	- 17	700	24.5
Air		POURCENTAGE		15	0			
		15 %						
Superplastifiant		1 %		3.67	4.7	- 11	14.64	0.38
Total				726.7	2397.9	- 19		

Donc à travers la méthode de Sherbrooke nous avons déduit les quantités des matériaux utilisés pour 0.035 m³ du BHP, et nous les présentons dans le tableau ci-dessous :

Chapitre 4 : Formulation du BHP

Tableau IV.2 : Quantités et qualités des matériaux utilisés pour 0.035 m³ du BHP.

Matériau	Eau (L)	Ciment (Kg)	Fumée de silice (Kg)	Gros granulats (Kg)	Granulats fin (Kg)	Superplastifiant (Kg)
Qualité	/	CEM42.5	MEDAPLAST HP	Granulats (3/8) et (8/15)	Sable d'Oued Souf et Granulats (0/3)	MEDAFLOW30
Quantité	4.23	16.45	1.75	36.44	24.5	0.38

Remarque : Pendant le malaxage, nous avons ajouté dans les mélanges :

- **0.8 L** D'eau pour l'échantillon numéro 1.
- **1.2 L** D'eau pour l'échantillon numéro 2.

IV.3 Types et tailles des moules et conservation des éprouvettes :

Les moules utilisés pour la confection des éprouvettes pour les deux échantillons sont des moules en acier de forme :

Cubique (10× 10×10cm), prismatique (7× 7× 28cm) et cylindrique (16 × 32cm).

Le démoulage de toutes les éprouvettes a été effectué 24h après le coulage puis conservées sous l'eau.

IV.4 Caractérisation du BHP :

IV.4.1 Essais de caractérisations du béton à haute performance à l'état frais :

a) Essai de cône d'abrams : (NF EN 12350-2)

▪ But de l'essai :

L'essai d'étalement s'est imposé comme l'essai le plus facile à réaliser, il permet de mesurer la consistance d'un béton (voir le *Tableau IV.3*). Cet essai s'effectue comme un essai d'affaissement au cône d'Abrams.

Tableau IV.3 : classification de la consistance des bétons.

Classe	Affaissement (cm)	Désignation de la consistance
S1	1 à 4	Ferme
S2	5 à 9	Plastique
S3	10 à 15	Très plastique
S4	16 à 21	Fluide
S5	>22	Très fluide (BAP)

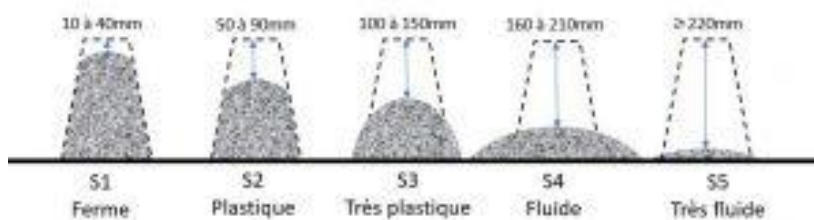


Figure IV.1 : Les différentes classes de consistance du béton (essai affaissement béton).

- **Résultats et commentaire :**

Les résultats d'affaissement et classification du béton sont présentés dans le Tableau ci-dessous.

Tableau IV.4 : Résultats d'affaissement et classification du béton.

	Affaissement (cm)	Classification
Echantillon 1	17	Fluide
Echantillon 2	20	Fluide

- ✓ **Commentaire :**

Les deux mélanges du BHP présentent des bétons fluides avec des valeurs D'affaissement aux alentours de 17 cm à 20 cm.

IV.4.2 Essais de caractérisations du béton à haute performance à l'état durci :

a) **Essai de compression : [NF EN 206-1]**

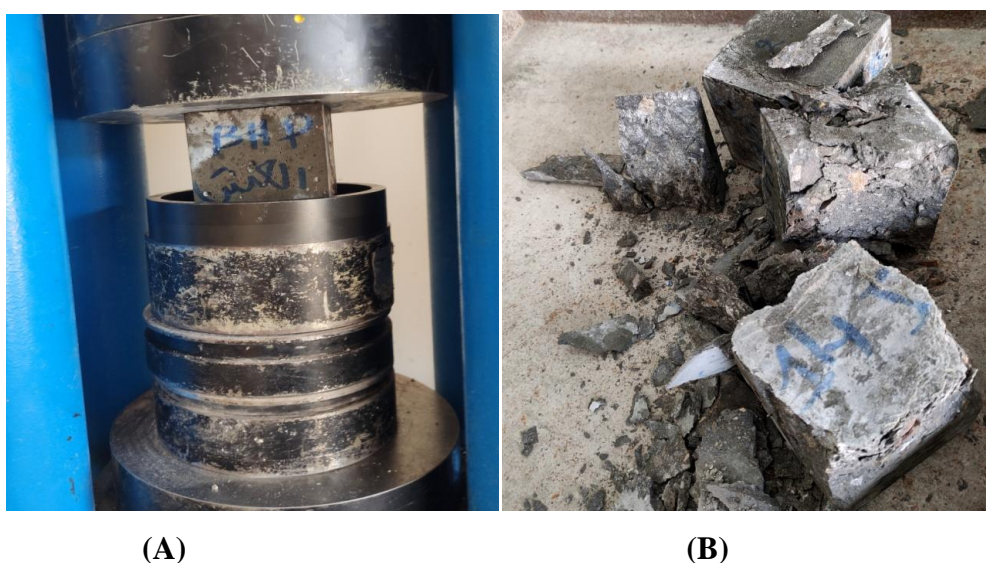


Figure IV.2: Essai de compression, (A) : L'échantillon avant l'écrasement. (B) : L'échantillon après l'écrasement.

- **Résultats et commentaire :**

Les résultats de compression de l'échantillon 1 et 2 pendant les 7, 14 et 28 jours pour les éprouvettes cubique (10×10×10cm) sont récapitulés dans le *Tableau IV.5*.

Tableau IV.5 : Résultats de la résistance à la compression en fonctions des jours.

	Compression (MPa)	
	Ech1(Granulats de L'Euch)	Ech2(granulats de Sétif)
7 jours	59.69 MPa	60.93 MPa
14 jours	65.85 MPa	67.28 MPa
28 jours	82.7 MPa	86.89 MPa

Les histogrammes de la Résistance à la compression en fonction des jours, sont présentés dans le tableau ci-dessous :

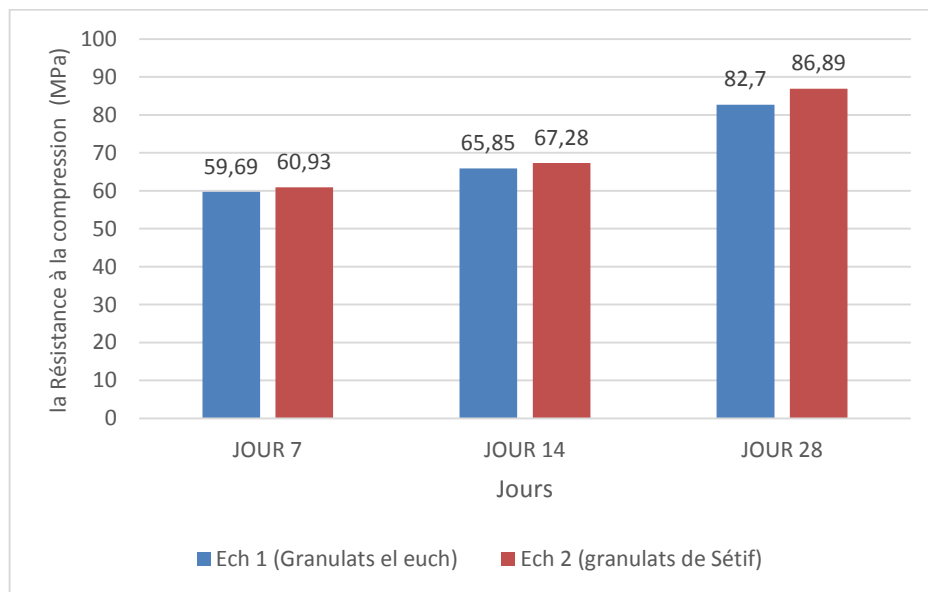


Figure IV.3 : Histogrammes de la Résistance à la compression en fonction des jours.

- ✓ **Commentaire :**

A partir de l'histogramme représenté dans la figure IV.3, on remarque une augmentation sensible de la résistance mécanique des deux bétons en fonction des jours.

b) Essai de traction par flexion : [NF EN P 18-408]

But de l'essai :

- Cet essai a également pour but de déterminer la résistance à la traction du béton, c'est un

essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prismatique (7x7x28) placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse. [22]

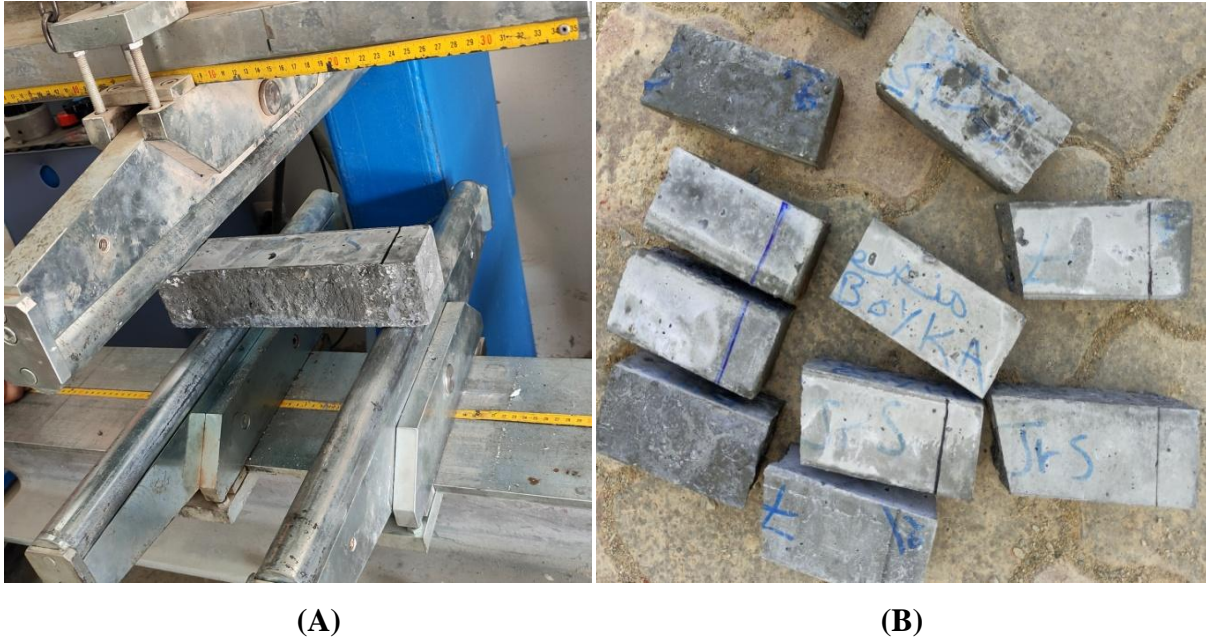


Figure IV.4 : Essai de flexion à la traction. (A) : l'échantillon avant la flexion. (B) : l'échantillon après la flexion.

- **Résultats et commentaire:**

Les résultats de la flexion a la traction de l'échantillon 1 et 2 pour 7,14 et 28 jours pour les éprouvettes prismatique (7× 7× 28cm) sont présentés dans le *Tableau IV.6*.

Tableau IV.6 : Résultats de flexion à la traction en fonction des jours.

	Flexion a la traction (MPa)	
	Ech 1 (Granulats el euch)	Ech 2 (granulats Sétif)
7 jours	6.95 MPa	7.58 MPa
14 jours	7.06 MPa	7.74 MPa
28 jours	8.28 MPa	8.06 MPa

Les histogrammes de flexion à la traction en fonction des jours sont illustrés dans la *Figure IV.5*.

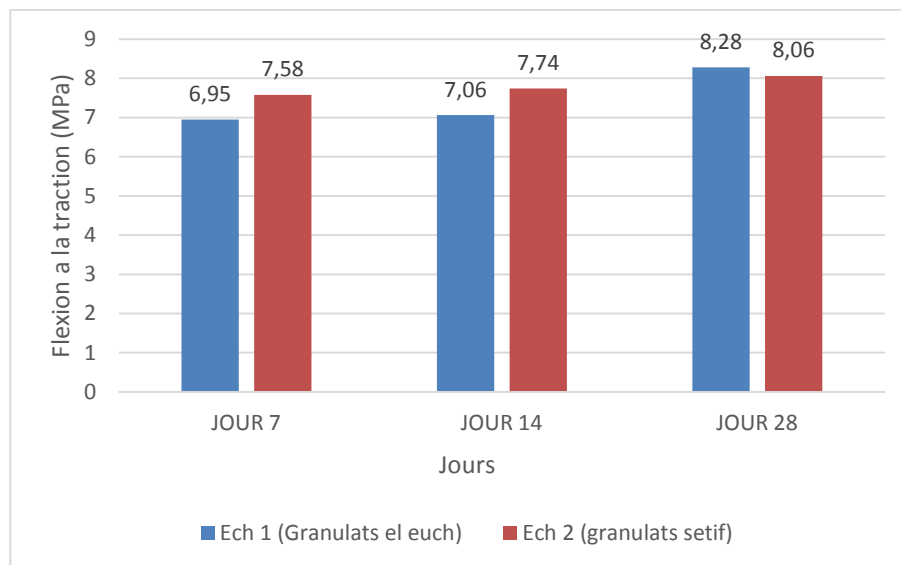


Figure IV.5 : Histogrammes de la flexion à la traction en fonction des jours.

✓ **Commentaire :**

A travers de l'histogramme représenté ci-dessus, on remarque une progression remarquable de flexion à la traction des deux échantillons en fonction des jours.

c) Vitesse de l'ultrason : (NF EN 12504-4)

Les mesures de vitesse d'impulsion ont été réalisées selon la norme (NF EN 12504-4) des cubique de section (10x10x10) et prismatique (7x7x28). Le principe de la mesure consiste à envoyer une impulsion d'onde dans l'éprouvette et le temps d'exécution de la propagation à travers l'éprouvette est mesuré. L'impulsion est générée par un émetteur et reçue par un récepteur. Connaissant la longueur du trajet et le temps mesuré (t_{tr}), la vitesse de l'impulsion (v) peut être calculée. [23]



Figure IV.6 : Essai de vitesse d'ultra son.

Tableau IV.7 : classification de la qualité du béton en fonction de la vitesse du son.

Vitesse du son m/s	Appréciation de la qualité.
> 4500	Excellent
3500 à 4500	Bon
3000 à 3500	Assez bon
2000 à 3000	Médiocre
< 2000	Très mauvais

• **Résultats et commentaire :**

$$V = \frac{L}{T} \quad \text{Avec : } V = \text{Vitesse (m/s)} ; L = \text{Longueur(m)} ; T = \text{Temps(s)}.$$

Les résultats de la vitesse d'ultrason et l'appréciation de la qualité des deux échantillons ont été mentionné dans le *Tableau IV.8*.

Tableau IV.8 : Résultats et classification la qualité des bétons selon de la vitesse d'ultrason.

échantillon	jours	Vitesse du son (m/s)	Appréciation de la qualité
Echantillon 1	7 jours	4087.2	Bon
	14 jours	4184.1	Bon
	28 jours	4610.58	Excellent
Echantillon 2	7 jours	4861.3	Excellent
	14 jours	4923.8	Excellent
	28 jours	4961.9	Excellent

✓ **Commentaire :**

D'après les résultats du *Tableau IV.8* Nous avons remarqué un développement de vitesse en fonction des jours, elle atteint plus de 4600 (m/s) à 28 jours pour l'échantillon 1 et plus de 4900 (m/s) concernant l'échantillon 2.

d) Essai de Scléromètre : [EN 12398]

Objectif de l'essai : Cet essai permet de tester l'homogénéité du béton in situ et d'obtenir une estimation rapide de la résistance du béton d'un ouvrage, sans procéder à des prélèvements de béton durci par carottage. [24]



Figure IV.7 : Appareil de Scléromètre.

✓ **Résultats:**

Les résultats de La résistance avec le scléromètre ont été mentionnés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.9 : La résistance avec le scléromètre.

Type de béton	La résistance avec le scléromètre (MPa)
Echantillon 1	46.1
Echantillon 2	44.75

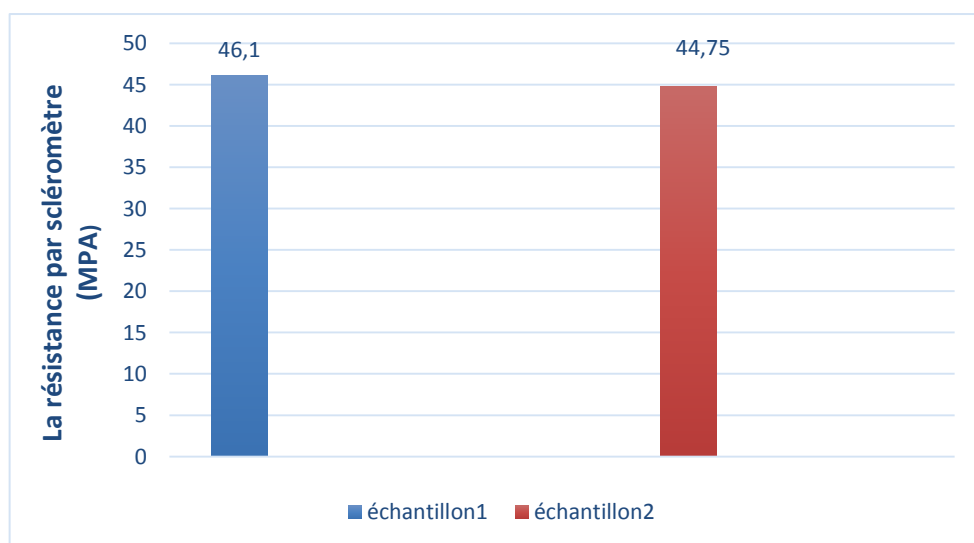


Figure IV.8 : Histogrammes de la résistance avec le scléromètre.

✓ **Commentaire :**

De bons résultats de résistance ont été obtenus avec le scléromètre pour les deux bétons.

IV.5 Discussions et interprétation des résultats :

A partir des histogrammes représentés dans les figures et les tableaux précédents on remarque une augmentation sensible de tous les caractéristiques à l'état durcit des bétons étudiés.

Sur la base des résultats obtenus, et sous l'effet d'utilisation des deux types des granulats utilisés pour la formulation des BHP, on peut constater :

- Les BHP sont des bétons fluides avec un rapport E/C très faible avec des valeurs D'affaissement aux alentours de 17 à 20 cm.
- Les deux échantillons du BHP présentent des résistances en compression importantes, ils atteintes presque de 60 MPa au bout de 7 jours et plus de 80 MPa à 28 jours.
- La résistance en compression d'échantillon de la carrière de Sétif est plus grande que la résistance de l'échantillon de la carrière de L'euch parce que les caractéristiques physiques et mécaniques de granulats de Sétif un peu mieux que les caractéristiques de granulats de L'euch.
- Les résistances des deux échantillons augmentent régulièrement avec l'âge de conservation de toutes les éprouvettes.
- Les histogrammes d'évolution de la résistance mécanique et de la flexion à la traction en fonction du temps (1, 7, 28 jours) présente la même allure pour les deux échantillons.
- Concernant les résultats de la vitesse d'ultrason des deux échantillons, peuvent être justifiés par les vides (densité) et l'homogénéité des granulats et la bonne résistance à l'écoulement et à la ségrégation dans le béton et par l'influence des fines. Notant que l'augmentation de la vitesse du son est liée à la diminution des vides internes pour obtenir un bon résultat.

- On voit qu'on n'a pas atteint les résistances visées par la méthode de formulation de l'université de Sherbrooke, mais nous avons obtenus des bons résultats par exemple :

Pour $FC_{28} = 100$ MPa on a trouvé :

- $FC_{28} = 82.7$ MPa pour l'échantillon numéro 1.
- $FC_{28} = 86.89$ MPa pour l'échantillon numéro 2.

IV.6 Conclusion :

Le présent chapitre était consacré à la formulation et les caractérisations des BHP à base des deux types des granulats. A la lumière des résultats obtenus au cours de cette étude nous concluons que :

- Les caractérisations des deux échantillons de BHP sont très bonnes et similaires, et cela à cause des bonnes propriétés physique et géotechnique des deux types des granulats et du sable qui nous avons utilisés dans la formulation du BHP.
- La Présence de tous les matériaux et les composants nécessaire pour le BHP comme (le fumée de silice, superplastifiant...etc.), a contribué à l'obtention des bonnes caractéristiques du BHP.
- Tant que nous obtenons une résistance à la compression à 28 jours est supérieure de 60 MPa, donc les deux bétons qui nous avons réalisés sont des bétons a hautes performance.

CONCLUSION GENERALE.

Cette étude a été menée pour évaluer les caractérisations géotechniques des granulats De la région de L'Euch et leur influence sur les propriétés mécaniques de Béton a haute performance.

Ainsi, les résultats expérimentaux nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✚ Lors de la sélection des granulats il est nécessaire de bien connaître leurs propriétés intrinsèques, Ces propriétés influencent les performances du béton.
- ✚ Les résultats des essais géotechniques que nous avons réalisés sur des échantillons provenant de carrière de la région de L'Euch, montrent que ces échantillons sont des granulats de bonnes propriétés et de bonne qualité.
- ✚ Les granulats qui nous avons étudié, présentent des propriétés acceptables pour la confection des bétons a haute performance.
- ✚ Les deux BHP présentent des résultats significatifs et acceptables pour la résistance à la compression et la flexion en traction.
- ✚ les deux mélanges de BHP montrent de bons résultats pour la vitesse du son (essai D'ULTRASONIC) et la résistance avec le scléromètre (essai de scléromètre "marteau de Schmidt").

Au terme de cette étude, on peut dire que les valeurs obtenues concernant les propriétés physiques et mécaniques des BHP à l'état frais et durci contenant les agrégats de la région de l'Euch, permettent leur utilisation dans les bétons à haute performance et dans les structures en général.

Recommandation :

La région de L'Euch, présente des carrières de matériaux qui nous donnent des indications que ces matériaux de ces montagnes ont de bonnes caractéristiques et acceptables dans de futures utilisations en BHP. Nous recommandons et espérons avoir d'autres études dans les futures utilisations de ce matériau dans d'autres types de béton.

Référence bibliographique

Référence bibliographique :

- [1] : BENABID Abderrahmane, Cours Matériaux de construction, chapitre 2 : les granulats, Université de Batna.
- [2] AIT CHIKHOUNE Cherif, Caractéristique géotechnique des granulats le cas des granulats de l'oued sebaou et la carrière almaharoune , mémoire master 2 , université MOULOUD MAMMERI de TIZI OUZOU année 2015.
- [3] MANSEUR Nabil, ZIANI Sifax , Étude et caractérisation des granulats recyclés de démolition, mémoire master 2, université ABDERAHMANE MIRA année 2014
- [4]. NF EN 1744-1, septembre 1998– Essais pour déterminer les propriétés chimiques des Granulats.
- [5]. AFNOR – NF EN 1097-2, Octobre 1998– Essais pour déterminer les caractéristiques Mécaniques et physiques des granulats Partie 2 : méthodes pour la détermination de la Résistance à la fragmentation.
- [6] GRONDIN Aurélie, Étude des caractéristique physiques et mécanique des bétons de granulats recyclés de béton, Mémoire Projet de fin d'étude, Institut National des Sciences Appliquées de Strasbourg : INSA Strasbourg année 2011.
- [7] UNICEM, Statistiques année 1997. Revue matériaux de construction et produits de Carrières. N°700, numéro spécial novembre 1998.
- [8] (Site WEB) : <https://docplayer.fr/8793627-2-1-les-granulats-pour-beton.html>
- [9] Conception, rédaction et réalisation : UNPG/François Michel - Décembre 2005, livre Direction artistique et maquette : Obea Communication
- [10] (Site WEB) : <https://www.rapport-gratuit.com/traitement-des-granulats/>
- [11] TALEB Karina, Etude à l'état frais et à l'état durci de l'influence des Fines de Mortiers de Démolition sur les propriétés des Mortiers, mémoire master 2 , Université Mouloud MAMMERI Tizi-Ouzou année 2016.
- [12] S-Laldji Cours-ETS hiver 2015, Caractéristiques fondamentales du béton.
- [13] (Site WEB) : <https://www.coffrages-cosmos.com/les-differents-types-de-beton-et-leurs-specificites/#:~:text=Malgr%C3%A9%20un%20panel%20tr%C3%A8s%20large%20de%20types%20de,le%20ciment%2C%20les%20granulats%2C%20le%20sable%20et%20l'eau>
- [14] (Site WEB) : Le béton à haute performance-[www.febelcem.be /fileadmin/user upload/dossier-ciment-94](http://www.febelcem.be/fileadmin/user_upload/dossier-ciment-94).

Référence bibliographique

- [15] TEBBAL Nadia, Effet de la nature des granulats sur les propriétés physico- mécaniques et durabilité d'un béton à haute performance, mémoire de doctorat en sciences, université Mohamed Boudiaf - M'SILA année 2017.
- [16] (Site WEB) : <https://maconnerie.bilp.fr/guide-general/part-1-generalites/materiel-materiaux/beton/bhp>
- [17] Pierre_ Claude Aïtcin (1998) (livre) Université de Sherbrooke, Québec, Canada High-Performance Concrete.
- [18] ZIBATE Oujidane (exposé) academica.edu Béton à haute performance(BHP).
- [19] Sami SALHI (7 Juin 2013) Architecte dans Béton, fr.slideshare.net
- [20] NEILA Anis academica.edu (exposé) , université de Boumerdas, Algérie , génie des matériaux.
- [20] Travaux pratique en MDC 1 dirigé par Mme OTSMANE.L, Université Yahya Fares de Médéa , département de génie civil.
- [21] ZIAINA Abdenacer, GHAZALI Marouan , Optimisation d'un béton autoplaçant à base de céramique par modélisation, mémoire master 2 université el Bachir el Ibrahim BBA ,juin 2022.
- [22] MAZA Nabil , REDJOUH Housseem Eddine , caractérisation d'un BAP par modélisation , mémoire master 2 , université el Bachir el Ibrahim BBA, Année 2021.
- [23] BOURENANE CHERIF Amina, Effet des granulats recyclés sur le comportement et la durabilité des Bétons autoplaçants, mémoire master 2, université el Bachir Ibrahim BBA , Année 2020.
- [24] (Site WEB) : <https://coursgeniecivil.blogspot.com/2013/07/essai-de-sclerometre.html>