

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE  
MINISTRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE  
UNIVERSITE MOHAMED BOUDIAF - M'SILA

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL



DOMAINE : SCIENCES ET TECHNOLOGIE  
FILIERE : GENIE CIVIL  
OPTION : MATERIAUX

N° :

**Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master Académique**

**Par : OUIFI HOSSAM  
: DJAAFER NOURI**

**Intitulé**

**Confection d'un béton haute performance à  
base de granulats mixtes (roulés et concassés),  
de pouzzolane, et de superplastifiant**

**Soutenu devant le jury composé de :**

Pr. Beddar. M	Université de M'sila	Président
Dr. Zitouni. S	Université de M'sila	Encadreur
Pr. Naceri. A	Université de M'sila	Co-Encadreur
Dr. Chicouche. M.A	Université de M'sila	Examineur

**Année universitaire :2016 /2017**

# Remerciements

On remercie le bon Dieu qui nous a donné le courage et la patience pour terminer ce modeste travail.

Ainsi on tien a remercier beaucoup Dr: Zitoni .S et Pr: Naefri. A

Pour les efforts considérables et le soutien qu'il nous a apportés pour la réalisation de ce travail.

Nous remercions avec beaucoup de gratitude les personnels de la génie civil de m'sila et surtout Dr: Baali .A

Nous remercions avec beaucoup les responsables de laboratoire de génie civil: yanna, wakiba, Hanane et Liba

Nous exprimons toute notre gratitude et reconnaissance à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin à élaborer ce modeste travail

On remercie également tout les enseignants du département des Génie civil

Enfin on tien a remercier nos amis

HOSSAM ET NOURI

CONTROLS

103076

*Au nom du Dieu le clément le miséricordieux*

*Je dédiee ce travail :*

- ✓ *A celle qui ma donnée la vie et que ma vie n'est rien sans elle, à ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur ; tout ce que je suis, je le doit à elle.*
- ✓ *A mon frère Hakim ; l'homme le plus affectueux celui qui a tout donné pour que je puisse arriver à mon but. Qu'il trouve ici mes remerciements les plus sincères.*

*Que Dieu me les protège.*

- ✓ *A mes chères sœurs que j'aime tellement, et ses enfants.*

*Et à mes frères : Hamza, Lakhidar, Saber, Djamel et Abd Allah .*

- ✓ *A tous mes amis, Nabil , Ali, Hossam , Hassen, Imad, Saad , Oqba Chamso, Walid, Gharib , Wred ; Mohamed , Fateh Et Kamel. Mokhtari*

- ✓ *A toute la promotion 2<sup>eme</sup> année master matériaux,*

*Pour vous tous,*

*Mon binôme Ouifi Hossam*

*Dj. Nouri*

*Au nom du Dieu le clément le miséricordieux*

*Je dédiee ce travail :*

- ✓ *A celle qui ma donnée la vie et que ma vie n'est rien sans elle, à ma tendre mère, qui m'a soutenu d'amour et de bonheur ; tout ce que je suis, je le doit à elle.*
- ✓ *A mon frère adel ; l'homme le plus affectueux celui qui a tout donné pour que je puisse arriver à mon but. Qu'il trouve ici mes remerciements les plus sincères.*

*Que Dieu me les protège.*

- ✓ *A mon oncle Ali redjem*
- ✓ *A mes chères sœurs que j'aime tellement, et ses enfants.*

*Et à mes frères : Ahmed et Tayeb*

- ✓ *A tous mes amis, Nabil, Ali, Nouri, Hassen, Imad, Saad, Oqba, chia, walid, Sami, Chamse Eddine, Boubakker, Alaa Eddine, mohamed et Saddam*
- ✓ *A toute la promotion 2<sup>ème</sup> année master matériaux.*

*Pour vous tous,*

*Mon binôme Djaafer Nouri*

*Ouifi.H*

# Liste des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Liste des notations

Résumé

Abstract

ملخص

## Sommaire

Introduction général.....1

### CHAPITRE I Généralité sur le BHP

I. 1. Généralité.....	3
I.2. Les constituants.....	4
I.2.1 le ciment.....	4
I.2.2. Les granulats.....	5
I.2.3. Forme et état de surface.....	5
I.2.4. Porosité.....	6
I.2.5. Nature minéralogique.....	6
I.3. Caractéristiques des BHP.....	6
I.3.1. caractéristique physique.....	6
I.3.1.1. Ouvrabilité.....	6
I. 3.1.2. Porosité.....	8
I.3.1.3. Perméabilité.....	9
I.4. Caractéristiques mécaniques.....	11
I.4.1. Résistance en compression.....	11
I.4.2. Résistance en traction.....	12
I. 5. Domaine d'utilisation de BHP.....	13
I.6. Avantages des BHP.....	13
I.7. Les ajouts cimentaires.....	14
I.7.1. Rôle granulaire des ajouts cimentaires.....	14
I.7.2. le pouzzolane.....	14
I.8. Différents types de pouzzolanes.....	14
I.8.1. Les pouzzolanes naturelles.....	14
I.8.2. Les pouzzolanes artificielles.....	14

I.9. Les adjuvants.....	14
I.9.1. Mécanismes d'action des adjuvants super plastifiants.....	15
I.9.2. Domaines d'utilisation des adjuvants super plastifiants.....	15
Conclusion.....	15

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

Introduction.....	17
II.1. Sable de dunes d'Oued souf et sable concasse.....	17
II.1.1. Origine du sable.....	17
II.1.2. Caractéristiques physiques des sables utilisés.....	17
II.1.3. Masse volumique (absolue) NF P 18-555.....	17
II.1.4. Masse volumique apparente NF P 18-554.....	18
II.1.4.1. Masse volumique apparente à l'état lâche.....	18
II.1.4.2. Masse volumique apparente à l'état compact.....	19
II.1.5. Porosité (NF P 18-554).....	20
II.1.6. Compacité.....	21
II.1.7. L'indice des vides.....	21
II.1.8. Equivalent de sable NF P 18-598.....	22
II.1.8.1. Equivalent de sable visuel (ESV).....	23
II.1.8.2. Equivalent de sable au piston (ESP).....	23
II.1.9. Teneur en eau NF P 18-555.....	25
II.1.10. Degré d'absorption d'eau NF P 18-555.....	26
II.1.11. Analyse granulométrique (NF P 18-560).....	27
II.1.12. Module de finesse.....	29
II.2. Gravier.....	30
II.2.1. Gravier concassé.....	30
II.2.1.1. Origine de gravier.....	30
II.2.1.2. Classes granulaires.....	30
II.2.2. Résistance à la compression de la roche d'origine.....	30
II.2.3. Caractéristiques physiques du gravier utilisé.....	30
II.2.3.1. Masse volumique apparente.....	30
II.2.3.2. Masse volumique absolue.....	31
II.2.4. Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-554.....	31
II.2.5. Degré d'absorption d'eau NF P 18-554.....	32
II.2.6. Analyse granulométrique.....	32
II.2.7. Analyse granulométrique du gravier.....	33
II.2.8. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés.....	34
II.2.8.1. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) NF P18-573.....	34

II.2.8.2.Classification.....	35
II.2.9.Caractéristiques chimiques des graviers concassés.....	35
II.3.Ciment.....	35
II.3.1.Description.....	36
II.3.2.le ciment le plus résistant du marché algérien.....	36
II.3.3.Parfaitement Adapté À La Préfabrication Légère.....	36
II.3.4.Domains d'application.....	36
II.3.5.Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé.....	36
II.3.6.Analyses chimiques du ciment utilisé.....	37
II.4.L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAFLOW 30.....	37
II.4.1.Description.....	37
II.4.2.Propriétés.....	37
II.4.3.Mode D'emploi.....	38
II.4.4.Dosage.....	38
II.4.5.Caractéristiques.....	38
II.4.6.Domains d'application.....	38
II.5.L'eau de gâchage EN 1008.....	39
Conclusion.....	39

## **CHAPITRE III : ESSAIS ET FORMULATIONS D'UN BHP**

Introduction.....	40
III.1. Méthodes d'optimisation des coulis de ciment.....	40
III.2. Méthodes descoulis.....	41
III.3. Méthodecanadienne.....	41
III.4. Programme expérimentaladopté.....	42
III.4.1. Méthode du cône Marsh.....	42
III.4.2. Préparation de l'échantillon et mesure du tempsd'écoulement.....	43
III.4.2.1. Préparation des coulis.....	43
III.4.2.2. Influence sur le moment d'addition du Superplastifiant dans le béton.....	44
III.4.3. Point desaturation.....	44
III.5. Masse volumique apparente des différent mélanges de gravier.....	45
III.6. Calcul de la proportion des constituants.....	45
III.6.1. Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse.....	45
III.6.1.1. Données de base.....	46
III.6.1.2. Formulation du Béton témoin pour 1 (m <sup>3</sup> ) de béton.....	46
III.6.1.3. Formulation de Béton pour 1 (m <sup>3</sup> ) de béton (35% Gr 3/8) et (65% Gc 8/16).....	46
III.6.1.4. Formulation de Béton pour 1 (m <sup>3</sup> ) de béton (40% Gr 3/8) et (60% Gc 8/16).....	46
III.6.1.5. Formulation de Béton pour 1 (m <sup>3</sup> ) de béton (45% Gr 3/8) et (55% Gc 8/16).....	47

III.7. Formulation des différents mélanges testés.....	47
III.7.1. Mélanges1( <b>Gc3/8, Gc8/16</b> ) : ( <b>M1</b> ).....	47
III.7.3. Mélanges3( <b>40%Gr3/8, 60%Gc8/16</b> ) : ( <b>M3</b> ).....	47
III.7.4. Mélanges4( <b>45%Gr3/8, 55%Gc8/16</b> ) : ( <b>M4</b> ).....	48
III.8. Préparation de mélange.....	49
III.9. Conservation des éprouvettes.....	49
III.10. Performances des bétons à l'état frais.....	50
III.10.1. Affaissement au cône d'Abrams.....	50
III.11. Performances des bétons l'état durci.....	50
III.11.1. Essai compression NF EN 206-1.....	50
III.11.2. Essais traction par flexion : NF P 18-408.....	51
Conclusion.....	52

## **Chapitre IV: Résultats et discussion**

Introduction.....	53
IV.1. Représentation et analyse des résultats.....	53
IV.2. Béton à l'état frais.....	54
IV.2.1. L'affaissement.....	54
IV.2.2. La masse volumique à l'état frais des mélanges.....	55
IV.2.3. Le rapport E/L.....	56
IV.3. Béton a l'état durci.....	57
IV.3.1. La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton.....	57
IV.3.2:Résistance à la compression de différents mélanges.....	59
IV.3.3.Résistance à la traction de différents mélanges.....	61
Conclusion.....	62
Conclusion générale.....	63

## ملخص:

كانت عملية تصميم المنشآت الخرسانية إلى عهد قريب تعتمد بالدرجة الأولى على أساس قدرتها على مقاومة الأحمال.

ولكن حان الوقت لتفعيل دور التوجه نحو الديمومة في مراحل البناء المختلفة وهي التصميم والتنفيذ والتشغيل والصيانة.

استخدام الخرسانة عالية الأداء يعتبر من أهم طرق تفعيل التوجه نحو الديمومة ومقاومة المنشآت لعوامل الطبيعة والبيئة.

وقد عرفت الخرسانة عالية الأداء بأنها الخرسانة التي تعطي متطلبات خاصة في الأداء والتجانس والتي لا يمكن الحصول عليها دائما باستخدام المكونات العادية وطرق الخلط والمعالجة العادية.

ولذلك نسعى في دراستنا هاته إلى مزج نوع الحصى الدائرية بنسب 35 و 40 و 45% مع الحصى العادية مع إضافة pouzzolane بنسب 0 ، 5 ، 8، و 10% والمحسن super plastifiant مثبت بنسبة 1.5% وذلك لمعرفة قوة احتمال الخرسانة عالية الأداء وماهي النسب المناسبة ومقارنتها مع الخرسانة عالية الأداء العادية.

**كلمات مفتاحية :** خرسانة عالية الأداء ، إضافة ، خصائص فيزيائية وميكانيكية ، تصميم .

## Résumé

L'opération de conception des structures en béton dans un premier temps dépend sur leur capacité portante.

Mais c'est le temps pour assurer la durabilité dans les différentes étapes de conception, exécution et maintenance.

L'utilisation des bétons à hautes performances considérée comme un outil d'application de la durabilité et résistance des structures contre les conditions environnementales.

Les BHP sont des bétons qui répondent à toutes les exigences de la performance mécanique et l'homogénéisation qui nécessite des matériaux spéciaux.

L'objectif de notre étude est de mixer deux types de granulats (roulé et concassé) 8/5, avec l'addition de pouzzolane avec 0,40% et 45%, avec des pourcentages 35% et un superplastifiant de dosage fixe de 1.5% pour connaître la résistance, et 10% d'un BHP et les pourcentages proportionnels pour comparer avec un BHP ordinaire.

**Mots clés :** Béton à haute performance, propriétés physiques et mécaniques, superplastifiant, performance conception.

## **Abstract:**

The operation of designing concrete structures initially depends on their bearing capacity.

However, this is the time to ensure sustainability in the various stages of design, execution and maintenance.

The use of high-performance concretes should be considered as a tool for applying the durability and resistance of structures against environmental conditions.

The HPC is concretes that meet all the requirement of mechanical performance and homogenization, which requires special materials.

The objective of our study was to combine between two type of aggregates (rolled and crushed) with percentage 35; 45 and 45% with the addition of Pouzzolane with 0; 5; 8 and 10 % and a superplasticizer of fixed dosage of 1.5% to know the resistance of HPC and the proportional percentage to compare with an ordinary HPC

**Keywords:** high-performance Concrete HPC, superplastizier, physical and mechanical properties, designe.

## Liste des tableaux :

### Chapitre I : Généralité Sur Le BHP

Tableau I : Présente quelques résultats d'essais de compression.....12

### Chapitre II : Caractéristiques Des Matériaux De Béton

Tableau II. 1 : Masse volumique absolue du sable d'Oued souf.....18

Tableau II .2 : Masse volumique absolue du sable concassé.....18

Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable d'Oued souf à l'état lâche.....19

Tableau II. 4 : Masse volumique apparente du sable concasse à l'état lâche.....19

Tableau II.5 : Masse volumique apparente du sable d'Oued souf à l'état compact.....20

Tableau II. 6 : Masse volumique apparente du sable concasse à l'état compact.....20

Tableau II. 7 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable d'Oued souf.....22

Tableau II.8: la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concasse.....22

Tableau II.9 : Equivalent du sable d'Oued souf.....23

Tableau II.10 : Equivalent du sable concassé.....24

Tableau II.11 : Comparaison des résultats.....24

Tableau II.12 : Teneur en eau du sable d'Oued souf.....25

Tableau II.13 : Teneur en eau du sable concasse.....25

Tableau II.14 : Degré d'absorption du sable d'Oued souf.....26

Tableau II.15 : Degré d'absorption du sable concasse.....26

Tableau II.16 : analyse granulométrique du sable d'Oued souf.....28

Tableau II.17 : analyse granulométrique du sable concasse.....28

Tableau II.18 : Masse volumique apparente du gravier.....31

Tableau II.19 : Masse volumique absolue du gravier.....31

Tableau II.20 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.....32

Tableau II.21 : Degré d'absorption d'eau du gravier.....32

Tableau II.22 : Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8.....33

Tableau II.23 : analyse granulométrique du gravier 8/16.....33

Tableau II. 24 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....35

Tableau II.25: Classification des roches en fonction du coefficient LA.....35

Tableau II.26 : Analyse chimique de la pierre concassée.....	35
Tableau II.27 : Caractéristiques du CPJ.....	37
Tableau II. 28 : Caractéristiques chimiques du CPJ.....	37
Tableau II.29 : Analyse d'eau.....	39

### **Chapitre III : Essais Et Formulations D'un BHP**

Tableau III.1 : masse volumique apparent des différents mélanges de gravier.....	45
Tableau III.2: Donnés de bases pour la formulation.....	48
Tableau III.3: Tableau récapitulatif.....	48

### **Chapitre VI :Résultats et discussion**

Tableau IV .1 : les déférents mélanges de bétons.....	54
Tableau III.2 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton.....	54
Tableau IV.3: La masse volumique à l'état frais des mélanges.....	55
Tableau IV.4: Le rapport E/L.....	56
Tableau IV.5 : La masse volumique à l'état durci des mélanges.....	57
Tableau V.6 : La résistance à la compression l'état durci des déférents bétons étudié à 7.14.28 jours.....	59
Tableau V.7 : Résistance à la flexion à l'état durci (à 28jours) des différents bétons étudié.....	61

## Listes des figures :

### Chapitre I : Généralité Sur Le BHP

Figure I. 1 : Porosité des bétons ordinaires et des BHP.....9

### Chapitre II : Caractéristiques Des Matériaux De Béton

Figure II. 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.....17

Figure II.2 : L'essai l'équivalent de sable.....23

Figure II.3 : La courbe granulométrique du sable (0/5)(Sable de dunes et sable concasse).....28

Figure II.4 : Les courbes granulométrique des graviers concassés (3/8) et (8/16) .....33

### Chapitre III : Essais Et Formulations D'un BHP

Figure III.1: Cône de Marsh.....42

Figure III.2 : La rhéopompe.....42

Figure III.3 : Détermination du temps d'écoulement au cône de Marsh.....44

Figure III.4: temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiants.....45

Figure III.5: Presse universelle NF EN 206-1 .....51

Figure III.6 : Formule de calcul de la résistance de traction.....52

### Chapitre VI : Résultats et discussion

Figure IV.1 : Variation de l'affaissement pour chaque béton.....55

Figure IV.2 : La variation de la masse volumique apparente à l'état frais pour les différents types des bétons.....56

Figure IV.3 : La variation du rapport E/L apparente à l'état frais en fonction pour les différents types des bétons.....57

Figure IV.4 : Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de filler pour chaque type du béton.....58

Figure V.5 : l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de filler avec 35% granulat roulée à 7, 14 et 28 jours.....60

Figure V.6 : l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de filler avec 40% granulat roulée à 7, 14 et 28 jours.....60

Figure V.7 : l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fille avec 45% granulat roulée à 7, 14 et 28 jours.....	60
Fig.V.8 : La Résistance à la flexion à l'état durci des déférents bétons étudié à 28 jours.....	62



# Introduction générale

# Introduction Générale

---

## Introduction général

On appelle **Béton à Hautes Performances (BHP)** les bétons hydrauliques ordinaire (Sable + Eau +Graviers +Ciment) auxquels on ajoute des adjuvants (fluidifiant et éventuellement des ultra fines) pour augmenter leur performance, dont la résistance, qui doit dépasser les 60MPa à 28 jours [01]. Cependant, la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des BHP, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

Le BHP apporte en outre des avantages multiples par rapport au béton ordinaire citons, à titre d'exemple :

- 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 et une meilleure tenue aux cycles dégel/dégel,
- Il permet de concevoir 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 BHP ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées concernant :

les granulats 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 plastifiant réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tel 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/m<sup>3</sup>.

Ces dernières années ont vu l'utilisation de bétons de résistance en compression de plus en plus élevée pouvant aller de 50 MPa jusqu'à 400 MPa et même de 800 MPa en utilisant des traitements thermiques et mécaniques appropriés et des produits spéciaux comme la poudre métallique [02]. De telles résistances élevées ont donné une nouvelle classification de bétons, ils sont actuellement appelés bétons à haute résistance (BHR), bétons à hautes performances (BHP), bétons à très hautes performances (BTHP), bétons à poudres réactives (BPR), et bétons fibrés ultra performants (BFUP).

# Introduction Générale

---

Le présent travail a pour but de contribuer à la valorisation des granulats roulés et concassés par leurs incorporations dans une matrice cimentaire, pour l'élaboration d'un nouveau composite.

Dans cette étude, on s'intéresse au comportement d'un BHP dans lequel le gravier concassé (8/16) a été substitué (remplacé) par le gravier roulé (3/8) à des teneurs pondérales de 35, 40, et 45% (par rapport à la masse totale des graviers)

Notre travail expérimental consiste à étudier l'effet de la substitution (remplacement) des granulats concassés de fraction 8/16 mm par les granulats roulés de fraction 3/8 mm sur les propriétés du BHP à l'état frais (caractéristique rhéologique) et durci (résistance mécanique).

Enfin, nous pouvons dire, que ce travail est une contribution à l'amélioration des propriétés des bétons BHP préparés à base de granulats mixte (roulé et concassé).

Ce présent mémoire sera composé de quatre chapitres :

Le premier chapitre de ce travail est destiné à l'étude bibliographique.

Dans cette partie, nous exposerons les travaux effectués par différents auteurs, notamment sur les BHP

Le deuxième chapitre introduit le travail pratique réalisé au laboratoire, il décrit son but et les caractéristiques des matériaux utilisés.

Le troisième chapitre est consacré à l'expérimentation. Nous présentons dans cette partie les essais expérimentaux effectués sur les bétons.

Le quatrième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus et les discussions tirées lors de cette étude.

Enfin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude.



Chapitre 1  
Généralité sur le BHP

## Chapitre I : généralité sur le BHP

### I. 1. Généralités

Pendant longtemps, les concepteurs et l'industrie du béton se sont contentés de prescrire et de mettre sur le marché un béton universel dont la résistance en compression varie entre 15 et 25 MPa.

La rhéologie de tels bétons est principalement contrôlée par quantité d'eau introduite dans le béton lors de son gâchage ou lors de sa mise en place sur le chantier. Cependant, dans plusieurs pays industriels, on a pu augmenter légèrement la résistance à la compression des bétons utilisés dans la construction (de 25 à 55 MPa) grâce à l'utilisation de réducteur d'eau.

Durant les dernières décennies, les chercheurs ont élaboré plusieurs travaux scientifiques dans la perspective d'améliorer les propriétés constructives du béton frais et durci. La vulnérabilité du béton à la pénétration des agents agressifs est en relation directe avec sa porosité, il est donc nécessaire d'explorer des voies visant à optimiser cette porosité afin d'offrir au béton une meilleure performance. D'une part, on vise à réduire l'eau aux quantités indispensables à l'hydratation du ciment par l'emploi d'un super plastifiant, et d'autre part, on remplace une certaine quantité de ciment par des matériaux cimentaires tels que la fumée de silice, les cendres volantes ou les laitiers des hauts fourneaux. L'ajout de tels matériaux permet d'accomplir deux fonctions : l'une physique et l'autre chimique. La première fonction assure le remplissage des micros vides, de l'empilement des grains de ciment tout en améliorant la compacité du mélange. La deuxième fonction (fonction chimique) est la fixation de la portlandite produite lors de l'hydratation du ciment, pour former un composant de silicate de calcium hydraté plus dense et plus résistant que celui des bétons Ordinaires.

Durant les années 70, on a vu apparaître aux Etats-Unis des bétons ayant des résistances à la compression comprise entre 50 et 60 MPa utilisés pour construire les colonnes des gratte-ciels.

Ces bétons étaient fabriqués en sélectionnant avec soin les ingrédients entrant dans la composition du béton, en le réduisant d'eau utilisée et en remplaçant une certaine quantité de ciment portland par une cendre volante performante [3]

La technologie des adjuvants a fait beaucoup de progrès lorsque toute l'efficacité des

propriétés dispersantes des polynaphthalène et sulfonâtes a commencé à être utilisée, non seulement pour augmenter la fluidité du béton, mais aussi pour diminuer le rapport eau/ciment grâce à l'utilisation de ces polymères synthétiques. Il devint facile d'augmenter la résistance à la compression jusqu'à 100 MPa sans aucun effet négatif sur la rhéologie du béton. Les bétons à haute performance, qui sont simplement des bétons de faible rapport E/C ou E/L, sont aussi des bétons économiques du point de vue coût initial, car il est possible de construire une structure équivalente avec moins coffrage et moins d'armatures.

L'appellation béton à hautes performances s'applique aux bétons dont la résistance caractéristique à la compression à 28 jours ( $f_{c28}$ ) est supérieure à 60 MPa. Néanmoins la résistance à la compression élevée n'est pas la seule et la principale propriété des bétons à hautes performances, car plusieurs autres propriétés se trouvent améliorées, telles que la très faible perméabilité donc une durabilité accrue.

## **I.2. Les constituants**

### **I.2.1 le ciment**

La compatibilité entre le super plastifiant et le ciment est un facteur très important pour le choix du ciment. La finesse du ciment et sa composition chimique peuvent affecter le comportement du super plastifiant. Il est nécessaire de faire des essais sur coulis ou sur mortier pour le choix du super plastifiant. Les ciments à temps de prise très long sont à éviter, des dosages élevés en super plastifiant ne permettent pas le démoulage même après 24 heures [4].

L'obtention de bonnes résistances mécaniques dépend de la finesse de mouture du clinker. On augmente ainsi la proportion d'hydrates dans le ciment durci. La finesse du ciment confère au béton une résistance précoce. La surface spécifique Blaine doit être de l'ordre de 3 500 à 4 000  $\text{cm}^2/\text{g}$ . Cependant, l'augmentation de cette surface conduit à l'obtention d'un ciment à très forte teneur en fines donc à forte chaleur d'hydratation et par suite il y a risque de prise instantanée.

Ce phénomène induit des contraintes d'origine thermique et donc des fissurations de peau dans des pièces massives. En outre, du point de vue de l'obtention d'une forte compacité dans les BHP, les particules les plus fines du ciment ont des interactions granulaires néfastes avec les grains d'ultrafines. En règle générale, il est recommandé de

limiter la taille inférieure des grains de ciment à 1  $\mu\text{m}$  [5]

Certaines études avaient préconisé l'utilisation des laitiers ultrafins [6] et des ciments au laitier [7] pour diminuer la chaleur d'hydratation, maintenir la maniabilité et améliorer la durabilité.

Les dosages préconisés pour les BHP sont compris entre 350 et 600  $\text{kg/m}^3$  suivant la résistance projetée et le coût comparé de l'ultrafine [5].

Le dosage en eau conduit à des rapports eau/(ciment + ultrafine) compris entre 0,2 et 0,3. Si on veut atteindre des résistances élevées, il est important de réduire au plus bas rapport tout en gardant une maniabilité convenable.

Un rapport E/C de 0,35 représente à peu près la quantité d'eau nécessaire pour l'hydratation du ciment. Ce qui signifie qu'un volume assez important de grains de ciment reste anhydre dans un BHP et ceci même à long terme. Le ciment en plus de sa fonction liante joue aussi le rôle d'un granulats inerte de petite dimension [5].

### **I.2.2. Les granulats**

Les granulats occupent environ 70 % du volume du matériau et, à ce titre interviennent directement sur les propriétés du béton à l'état frais comme à l'état durci. Ils semblent même plus sollicités dans les BHP que dans les bétons classiques [5]. D'une manière générale, les qualités demandées aux granulats pour l'obtention des BHP concernent essentiellement la forme et l'état de surface, la porosité, la granularité, les propriétés mécaniques et la nature minéralogique.

### **I.2.3. Forme et état de surface**

La forme intervient directement sur la compacité propre du béton. La rugosité de la surface favorise l'imbrication de la pâte de ciment.

Les granulats concassés à coefficient de forme élevé sont préférés aux granulats roulés lisses (adhérence plus élevée). Le coefficient de forme est le rapport du volume effectif du granulats sur le volume de la sphère circonscrite. Plus il sera élevé, meilleure sera la compacité. En outre, les formes très anguleuses sont très néfastes quant à l'obtention des

bonnes résistances, elles poinçonnent la matrice lors d'une sollicitation.

En effet, lorsque le béton est soumis à une sollicitation de compression, on peut assimiler les granulats à des plateaux de compression d'une presse et, la matrice se trouve donc poinçonnée [8].

Les granulats lisses favorisent la détérioration rapide de la liaison granulat – pâte très haute performance [9].

#### **I.2.4.Porosité**

Les granulats poreux (avec une porosité communicante) modifient la consistance du matériau par absorption d'eau dans le malaxeur. Il est recommandé d'utiliser des granulats de coefficient d'absorption minimal [10].

#### **I.2.5.Nature minéralogique**

Elle est caractérisée par la résistance mécanique des grains, la texture (la rugosité de surface) et la possibilité des réactions à l'interface granulat – pâte de ciment.

Les granulats présentant des risques de réactions alcali – granulat sont à proscrire car ces réactions détruisent l'étanchéité des enceintes et la stabilité à long terme des ouvrages [9].

La présence des poussières ou d'argile sur les granulats réduit l'adhérence et exige une augmentation de la teneur en eau entraînant une chute des résistances.

### **I.3 .Caractéristiques des BHP**

#### **I.3.1. caractéristique physique**

##### **I.3.1.1.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 appelés slumps de 15 à 18 cm, mais il faut impérativement étudier :

- les granulats (module de finesse du sable) ;
- le choix du ciment et du superplastifiant ;
- 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'embaras 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 [11].

### **I. 3.1.2. 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 [12].

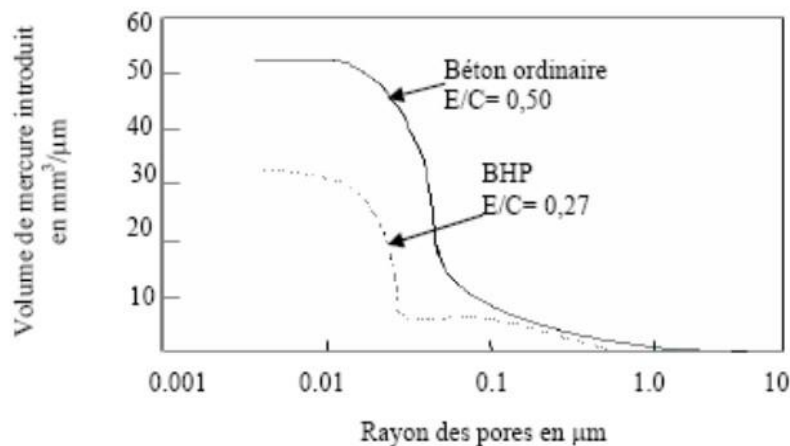
Les dimensions et le volume des pores capillaires sont les principaux paramètres régissent les propriétés physiques et mécaniques du béton.

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 [13].

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. 1 : Porosité des bétons ordinaires et des BHP [13].**

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 [13].

### I.3.1.3. 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<sup>-12</sup> m/s pour E/C = 0,40 et à 440 10<sup>-12</sup> 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 [14].

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  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  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 [15], sauf si l'on recourt à la mesure de la « perméabilité » dite aux ions chlore selon la norme ASTM C [16].

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.4. 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 [19] 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.

#### I.4.1. 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 [20] 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 [21].

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  $K_g = 4,91$ ).

Résistances à la compression simple et module d'élasticité des bétons (Confectionnés avec différents types de granulats) et des mortiers, en fonction du rapport E/L [21].

**Tableau I.1 : Présente quelques résultats d'essais de compression**

Rapport E/L		Résistance à la compression (MPa)			Module d'élasticité (GPa)		
		0,50	0,27	0,22	0,50	0,27	0,22
<b>Béton de calcaire</b>	28j	56,2	92,1	117,2	33	42	48
	90j	69,4	111,2	126,5	36	44	52
<b>Béton de granite</b>	28j	59,5	100,3	127,4	32	42	45
	90j	64,1	118,3	134,5	34	43	47
<b>Béton de quartz</b>	28j	53,4	93,4	103,3	33	45	42
	90j	58,5	113,4	118,6	34	47	52
<b>Béton de grès</b>	28j	57,2	113,3	118,6	21	30	31
	90j	64,7	127,6	121,2	22	31	35
<b>Mortier</b>	28j	45,1	88,6	104,6	30	39	42

#### I.4.2. Résistance en traction

Comme dans le cas de la résistance à la compression, il a été établi et vérifié que la résistance en traction des BHP progressait linéairement en fonction de la compacité de la pâte de ciment durcie [20].

PE dèches [22] a montré que la résistance en traction par flexion à 28 jours avec un BHP à la fumée de silice varie entre 5 et 9 MPa. Il a montré dans la même étude que l'ensemble des points ( $R_t$  et  $R_c$ ) se situait au-dessus de la courbe représentant la relation adoptée par les règlements de béton armé [23] et de béton précontraint [24] :

$$R_t = 0,6 + 0,06 R_c \quad (I.1)$$

Il a proposé la relation suivante pour des résistances en compression comprises entre 30 et 130 MPa

$$R_t = 5,5 + 0,027 R_c \quad (I.2)$$

Ahmad et al. [25] avaient déjà proposé une relation pour des résistances en compression supérieures à 84 MPa :

$$R_t = 0.44R_c^{2/3} \quad (I.3)$$

#### I. 5. Domaine d'utilisation de 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. [26]

## I.6. Avantages des BHP

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/m<sup>3</sup>.
- 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. [27]

## I.7. Les ajouts cimentaires

### I.7.1. Rôle granulaire des ajouts cimentaires

(Lié à leur finesse) Les ajouts cimentaires combler les interstices granulaires inaccessibles aux grains de ciment et rendent le mélange plus fluide en permettant la diminution de la quantité d'eau.

### I.7.2. La pouzzolane

Les pouzzolanes peuvent être définies comme des matériaux ayant une aptitude à réagir avec la chaux en présence d'eau et à former des composés possédant des propriétés liantes.

Elles sont formées d'éléments surtout vitreux (peu d'éléments cristallisés comme la zéolite). Mais elles peuvent contenir des constituants nocifs tels que : les substances organiques et les argiles gonflantes [29-30].

## **I.8. Différents types de pouzzolanes**

Selon leur origine, les pouzzolanes sont classées en deux catégories :

### **I.8.1. Les pouzzolanes naturelles**

Produits essentiellement composés de silice, d'alumine et d'oxyde de fer et ayant naturellement des propriétés pouzzolaniques. - soit d'origine volcanique : verre volcanique, pierre ponce, trasse, tuf, vitrophyres. - soit d'origine sédimentaire : diatomite, tripolis, gaize.

### **I.8.2. Les pouzzolanes artificielles**

Toute matière essentiellement composée de silice, d'alumine et d'oxyde de fer [2830],

- Roches traitées thermiquement : argile et schiste expansés. - cendres volantes, laitier métallurgique.

## **I.9. Les adjuvants**

Dès les origines de la fabrication du béton de ciment portland, on a commencé les recherches sur l'incorporation de produit susceptible d'améliorer certaines propriétés. À partir de 1930 [31], les entraîneurs d'air sont fréquemment utilisés, ils seront suivis par les antigels et les produits de cure. Depuis 1960 [32], avec le développement du béton manufacturé et du béton prêt à l'emploi.

Le développement des normes d'adjuvants, à partir 1984 [33] à la mise en place d'une certification par la marque **NF** adjuvants, véritable label de qualité. Il faut enfin préciser que les adjuvants ont permis des progrès considérables en matière de bétons

### **I.9.1. Mécanismes d'action des adjuvant super plastifiants**

Lorsque les molécules organiques des super plastifiants sont introduites dans une suspension d'un matériau cimentaire, une grande partie d'entre elles vient se fixer à la surface

des particules de ciment (adsorption).

Ces dernières réduisent les forces attractives d'interactions inters particulaires, qui existe entre les atomes des différentes particules [34]

Les adjuvants super plastifiants, par leur effet physique modifiant les forces inter particulaires, peuvent intervenir dans les processus chimiques de l'hydratation et notamment de la nucléation et la croissance cristalline [35]

### **I.9.2. Domaines d'utilisation les adjuvants super plastifiants [36]**

Les super plastifiants sont utilisés dans les cas suivants :

- Bétons à compacité, et donc durabilité.
- Bétons à haute performance.
- Bétons autoplaçants.

### **Conclusion**

Comme on peut le voir dans ce premier chapitre, une recherche bibliographique a été effectuée pour comprendre les caractéristiques physico-mécaniques le béton à haute performance le BHP possède plusieurs caractéristiques avantageuses telles que sa résistance et sa compacité. On a commencé par une généralité qui nous a permis de comprendre mieux cette nouvelle technologie, ensuite on a pu voir les différents constituants, leurs caractéristiques et les facteurs qui influent sur les performances des BHP ainsi que les avantages et les domaines d'utilisations des BHP.

Ce chapitre est consacré aux ajouts cimentaires et les adjuvants, en premier lieu on a cité et détaillé les différents ajouts cimentaires utilisés de nos jours dans la confection du béton, leurs différentes caractéristiques ont été exposées.

Dans notre cas on a utilisé pour la confection de notre béton la fumée de silice, de ce fait on a expliqué les étapes de fabrication, les différents types et les avantages de la fumée de silice. La deuxième partie de ce chapitre a été consacrée aux adjuvants. On a commencé par exposer les différents adjuvants connus avec leurs définitions, ensuite on a donné une classification des adjuvants selon leur efficacité, finalement on a expliqué le mécanisme d'action des différents adjuvants.

# Chapitre 2

## Matériaux, matériels et essais

## CHAPITRE II : CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX DE BETON

### Introduction

Nous présenterons dans ce chapitre, les caractéristiques des matériaux utilisés pour la confection du béton.

- Les matériaux utilisés sont :
- Le sable fin de la région d'Oued souf et sable concasse
- Le gravier de carrière située à 25 Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- Le ciment CEM de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa (M'sila).
- L'eau potable du laboratoire (laboratoire de génie civil).
- Superplastifiant MEDAFLEW 30
- Pouzzolane Natural

### II.1. Sable de dunes d'Oued souf et sable concasse

#### II.1.1. Origine du sable

Le sable de base de notre recherche provient : des abords d'Oued souf

Et de carrière située à 25 Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER)

#### II.1.2. Caractéristiques physiques des sables utilisés

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de Génie civil de l'université de M'sila, suivant les normes françaises AFNOR.

#### II.1.3. Masse volumique (absolue) NF P 18-555

C'est la masse de l'unité de volume de la substance, c'est-à-dire le rapport entre sa masse et son volume absolu.

#### Mode opératoire

On détermine la masse volumique absolue du sable à l'aide du récipient de capacité **1000** ml. On prend **03** échantillons de masse **300g**.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **300** ml d'eau préparé préalablement dans **2<sup>ème</sup>** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit (V) ce volume. Sachant que le volume ( $V_e$ ) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :

$$V_1 = V - 300 \text{ (ml)} \quad (\text{II.1})$$

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule :

Avec :  $M = 300\text{ g.}$

$$\rho = \frac{M}{V_1} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (\text{II.2})$$

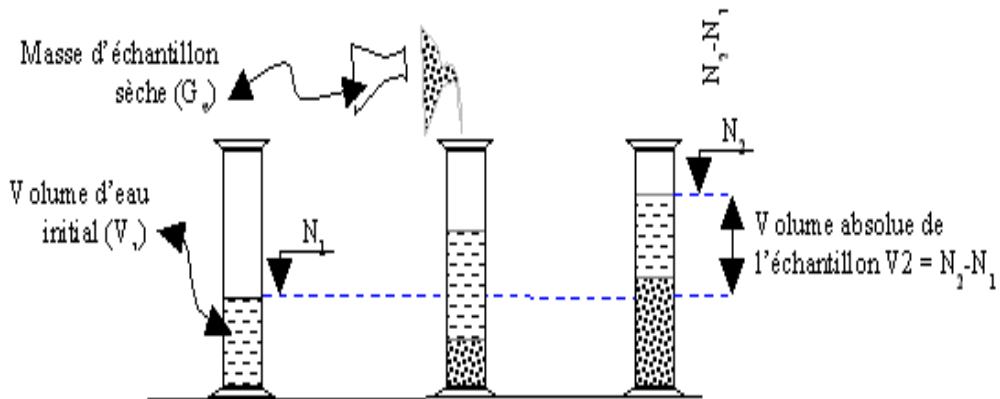


Figure II. 1 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

Résultats obtenus

Tableau II. 1 : Masse volumique absolue du sable d'Oued souf.

N° d'essai	M (g)	$V_e$ ( $cm^3$ )	$V_1$ ( $cm^3$ )	$\rho$ ( $g/cm^3$ )	$\rho_{moy}$ ( $g/cm^3$ )
1	300	150	260	2.72	2.65
2	300	150	267	2.56	
3	300	150	269	2.52	

Tableau II. 2 : Masse volumique absolue du sable concassé.

N° d'essai	M (g)	$V_e$ ( $cm^3$ )	$V_1$ ( $cm^3$ )	$\rho$ ( $g/cm^3$ )	$\rho_{moy}$ ( $g/cm^3$ )
1	300	150	266	2.58	2.54
2	300	150	269	2.52	
3	300	150	268	2.54	

#### II.1.4. Masse volumique apparente NF P 18-554

##### II.1.4.1. Masse volumique apparente à l'état lâche

C'est la masse du matériau par unité de volume y compris des vides existant entre les grains.

**Mode opératoire :**

- On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité **2 à 2,5** litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide  $M_1$ .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de **10 à 15** cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. Soit  $M_2$  ce poids.
- Volume de récipient  $V_r = 900 \text{ cm}^3$ .
- La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (\text{II.3})$$

**Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable d'Oued souf à l'état lâche.**

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	moye (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1535.22	1.57	1.566
02	114	1523.35	1,56	
03	114	1527.13	1.57	

**Tableau II. 4 : Masse volumique apparente du sable concasse à l'état lâche.**

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app \text{ moye}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1261	1.14	1.2
02	114	1284	1.3	
03	114	1312	1.33	

**II.1.4.2. Masse volumique apparente à l'état compact**

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

**Mode opératoire :**

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient « après tassement » on soumet ce dernier à **30** secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit  $M_2$  le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivante :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \quad (\text{g/cm}^3) \quad (\text{II.4})$$

Où :

$M_1$  : Masse du récipient à vide.

$M_2$  : Masse du récipient plus le sable.

$V_r$  : Volume du récipient.

**Tableau II.5 : Masse volumique apparente du sable d'Oued souf à l'état compact.**

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1629	1,68	1,713
02	114	1673	1,73	
03	114	1668	1,72	

**Tableau II. 6 : Masse volumique apparente du sable concasse à l'état compact.**

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
01	114	1384	1,4	1,39
02	114	1356	1,38	
03	114	1378	1,4	

### II.1.5. Porosité (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la

formule suivante :

$$\rho_L P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100 \quad (\text{II.5})$$

On distingue deux cas :

-Pour le sable d'Oued souf :

- Etat lâche :  $\rho_L = 40.90\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 35.35\%$ .

-Pour le sable concasse :

- Etat lâche :  $\rho_L = 47.75\%$
- Etat compacte :  $\rho_c = 45.27\%$

### II.1.6. Compacité

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :  $C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - p$  (II.6)

On distingue deux cas :

Pour le sable d'Oued souf :

- Etat lâche :  $C_L = 59.1\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 64.65\%$ .

Pour le sable concasse

- Etat lâche :  $C_L = 52.25\%$
- Etat compacte :  $C_c = 54.73\%$

### II.1.7. L'indice des vides

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = Vv/Vs = P / (100 - P). \quad (II.7)$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable d'Oued souf :

- Etat lâche :  $e = 0,692\%$
- Etat compacte :  $e = 0,547\%$

Pour le sable de concasse :

- Etat lâche :  $e = 0.91\%$
- Etat compacte :  $e = 0.82\%$

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivants :

**Tableau II. 7 : la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable d'Oued souf**

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
40.9	35.35	59.1	64.65	0,692	0,547

**Tableau II.8: la porosité, la compacité et l'indice de vide Pour le sable concasse**

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e %	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
47.75	45.27	52.25	54.25	0.91	0.82

### II.1.8. Equivalent de sable NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

#### Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au premier repère (**10 cm**).

A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.

- Laisser reposer pendant **10 minutes**.

Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de **20 cm** de cours horizontale en **30 secondes** à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.

➤ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vente au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.

➤ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vente atteigne le **2<sup>ème</sup>** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20 minutes**.

**II.1.8.1. Equivalent de sable visuel (ESV)**

➤ Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieur du flocculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une règlette.

➤ Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (II.8)$$

Où :  $h_2 < h_1$  avec :  **$h_1$  : sable propre + éléments fins.**

**II.1.8.2. Equivalent de sable au piston (ESP)**

➤ Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.

➤ Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h'_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (II.9)$$

Où  $h'_2$  : La hauteur du sable ( $h'_2 < h_1$ ).

**Tableau II.9 : Equivalent du sable d'Oued souf.**

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
<b>01</b>	<b>10.7</b>	<b>9.1</b>	<b>85.04</b>	<b>9.1</b>	<b>85.04</b>
<b>02</b>	<b>10.4</b>	<b>9.3</b>	<b>89.42</b>	<b>9.7</b>	<b>85.08</b>
<b>03</b>	<b>10.9</b>	<b>9.2</b>	<b>84.40</b>	<b>8.7</b>	<b>79.81</b>

**Tableau II.10 : Equivalent du sable concassé**

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
<b>01</b>	<b>11.7</b>	<b>9.2</b>	<b>78.63</b>	<b>8.7</b>	<b>74.35</b>
<b>02</b>	<b>12.1</b>	<b>9.1</b>	<b>75.20</b>	<b>8.7</b>	<b>74.35</b>
<b>03</b>	<b>11.3</b>	<b>8.7</b>	<b>76.99</b>	<b>8.6</b>	<b>76.06</b>

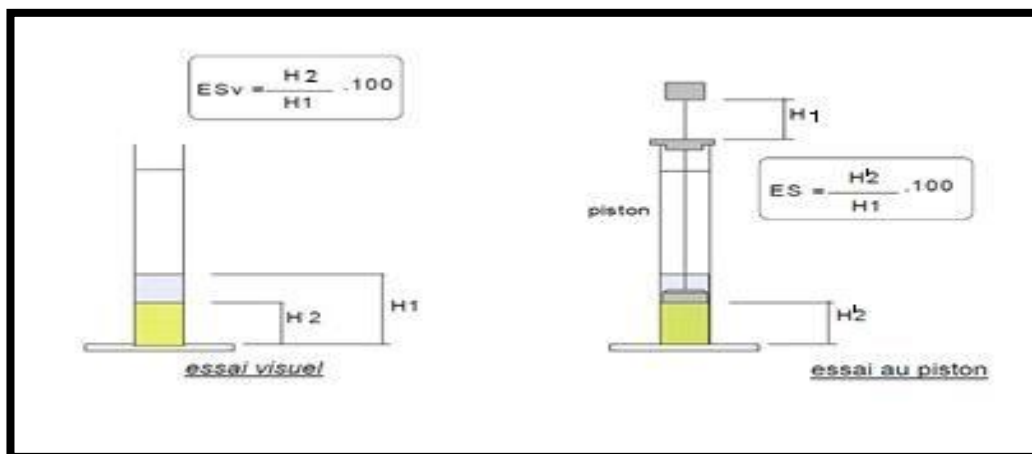


Figure II.2 : L'essai l'équivalent de sable.

$$(ESV)_{\text{moy}} = 86.28 \%$$

$$(ESP)_{\text{moy}} = 83.31 \%$$

Donc:  $ESV > 85\%$

$ESP > 80\%$ .

Tableau II.11 : Comparaison des résultats.

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
$ES < 65$	$ES < 60$	Sable argileux : Risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité.
$65 < ES < 75$	$65 < ES < 70$	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait.
$75 \leq ES \leq 85$	$70 \leq ES \leq 80$	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
$E.S \geq 85$	$E.S > 80$	Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Pour le sable d'Oued souf C'est un Sable très propre : L'absence totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

Pour le sable concasse C'est un Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

### II.1.9. Teneur en eau NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20 à 25** % de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0 à 3%**, on l'appelle sec. \***Mode opératoire :**

- Peser un échantillon de sable humide, soit  $M_h$  son poids (**500 g**).
- Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C** à **110 °C** pendant **24 heures**.
- Peser l'échantillon de nouveau, soit  $M_s$  son poids.

La teneur en eau du sable est : 
$$W = \left( \frac{M_h - M_s}{M_h} \right) * 100 [\%] \quad (\text{II.10})$$

Où :

- $M_h$  : Poids du sable humide en (g).
- $M_s$  : Poids du sable sec en (g).

Tableau II.12 : Teneur en eau du sable d'Oued souf.

N° d'essai	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{moy}$ (%)
1	500	495	1	1.2
2	500	494	1,2	
3	500	493	1,4	

Tableau II.13 : Teneur en eau du sable concasse.

N° d'essai	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	$W$ (%)	$W_{moy}$ (%)
1	500	493	1.4	1.53
2	500	491	1.8	
3	500	493	1.4	

### II.1.10. Degré d'absorption d'eau NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%] \quad (\text{II.11})$$

Où :

- $M_1$  : La masse du matériau sec en (g).
- $M_2$  : La masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

**Tableau II.14 : Degré d'absorption du sable d'Oued souf.**

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	A (%)	$A_{moy}$ (%)
1	300	307,98	2,66	2,67
2	300	308,66	2,88	
3	300	308,86	2,95	

**Tableau II.15 : Degré d'absorption du sable concasse.**

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	A (%)	$A_{moy}$ (%)
1	300	309.5	3.16	2.95
2	300	306.9	2.3	
3	300	310.2	3.4	

Selon le mode opératoire défini dans les normes NF P18- 554 et NF P18- 555, la limite supérieure du coefficient d'absorption d'eau du granulat est fixée à **5%**, c'est -à- dire  $Ab < 5\%$ . Donc, dans notre cas, cette propriété est vérifiée.

La norme NF P 18 541 fixe comme valeur maximale **5%**, pour les bétons classiques, ce qui est peut-être insuffisamment sévère, valeur d'ailleurs ramenée à **2,5%** pour les bétons de résistance caractéristique supérieure à **36 MPa**.

#### **Observation :**

Exceptionnellement, pour certaines utilisations, cette valeur est abaissée à **2 %**.

#### **II.1.11. Analyse granulométrique (NF P 18-560)**

L'analyse granulométrique permet de mesurer la distribution dimensionnelle en poids des éléments d'un matériau, elle comprend deux opérations :

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

La granularité est exprimée par une courbe granulométrique qui donne la répartition de la dimension moyenne des grains, exprimée sous forme de pourcentage du poids total du matériau, elle est tracée en diagramme semi-logarithmique avec :

➤ En abscisse, le logarithme de la dimension des ouvertures des tamis en valeurs croissante.

➤ En ordonnée, le pourcentage, en poids du matériau total de la traction au sable dont les grains ont un diamètre moyen inférieur à celui de l'abscisse correspondante (passant) on constate que la courbe granulométrique est un élément fondamental de classification du matériau. Les résultats de cette étude permettent de prévoir certaines propriétés du matériau comme la perméabilité, l'aptitude au compactage et l'utilisation comme filtre.

### Mode opératoire :

➤ Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).  
 ➤ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.  
 ➤ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08** mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

➤ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

➤ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.

➤ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

➤ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumuler du tamis 2 ( $R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$ ).

➤ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots$

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :

$$T = 100 - R_c \text{ (II.12)}$$

Où : - T: Tamisât en %

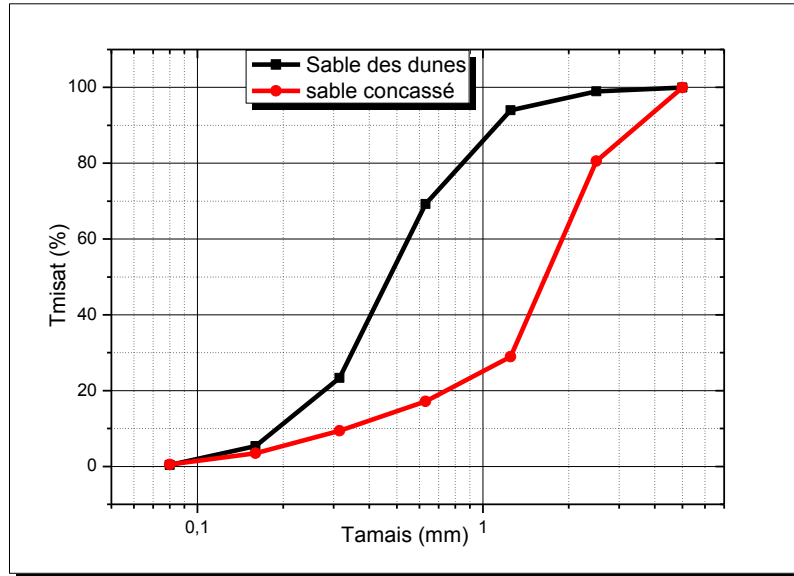
-  $R_C$ : Refus cumulés en

A) **Sable des dunes :****Tableau II.16 : Analyse granulométrique du sable d'Oued souf.**

Tamis (mm)	Refus partiel	Refus cumulés		Tamisât (%)
	(g)	(g)	(%)	
5	0.6	0.6	0.03	99.97
2.5	23.5	24.1	1.20	98.80
1.25	107.2	131.3	6.56	93.44
0.63	441.5	572.8	28.63	71.37
0.315	978.3	1551.1	77.53	22.47
0.16	343.1	1894.2	94.68	5.32
0.08	97.6	1991.8	99.56	0.44
Fond	8.8	2000.6	100	0

A) **Sable concassé :****Tableau II.17 : Analyse granulométrique du sable concasse.**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés	Tamisât (%)	
	(g)	(g)	(%)	
5	0.3	0.3	0.01	99.98
2.5	393.1	3.93.4	19.46	80.53
1.25	1043.2	1436.6	71.08	28.91
0.63	237.2	1673.8	82.82	17.17
0.315	157.5	1831.3	90.61	9.38
0.16	119.3	1950.6	96.51	3.48
0.08	60.1	2010.7	99.49	0.50
Fond	10.3	2021	100	00



**Figure II.3 : La courbe granulométrique du sable (0/5)**  
(Sable de dunes et sable concasse)

**Commentaire :**

ES<sub>moy</sub> = 83.81%

- Le sable de dune (oued souf) très propre.
- Le sable (0/5) est un sable fin.

ES<sub>moy</sub> = 74.92%

- Le sable concasse propre.
- Le sable (0/5) est un sable fin.

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

Nous déduisons que c'est un sable fin et il n'est pas de bonne qualité, il n'est donc spécifié pour la fabrication des bétons du point de vue de l'analyse granulométrique.

**II.1.12. Module de finesse**

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : [0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100 et calculé par la relation suivante :

Où :  $R_c$  : Refus cumulé.

Et le refus dont le tamis 0,16 =

Pour le sable de Oued souf :  $M_f = 1.98$ .

Pour le sable concasse :  $M_f = 2.2$ .

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100} \quad (II.12)$$

Les normes soviétiques spécifient le  $M_f$  des sables comme suit :

- Sable gros  $M_f > 2.5$
- Sable moyen  $2 < M_f < 2.5$
- Sable fin  $1.5 < M_f < 2$
- Sable très fin  $1 < M_f < 1.5$

On se basant sur cette classification, on trouve le résultat suivant :

- Pour le sable d'oued souf :  $1.5 < M_f < 2$  : C'est un **sable fin**.
- Pour le sable concasse :  $1.5 < M_f < 2$  : C'est un **sable moyen**

## II.2. Gravier

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

### II.2.1. Gravier concassé

#### II.2.1.1. Origine de gravier

Le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'une carrière située à **25 Km** de M'sila, en allant vers **B.B.A** (carrière **COSIDER**).

#### II.2.1.2. Classes granulaires

Les fractions du gravier sont :

- Fraction 8/16 C
- Fraction 3/8 R

### II.2.2. Résistance à la compression de la roche d'origine

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à  $610 \text{ g/Cm}^2$ .

### II.2.3. Caractéristiques physiques du gravier utilisé

#### II.2.3.1. Masse volumique apparente

**Mode opératoire :**

- Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- Peser le récipient à l'état vide ( $M_1$ ).
- Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environ de 10 cm.
- Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit  $M_2$  ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V} \quad (\text{II.13})$$

Où :

- V: Volume du récipient.
- M<sub>1</sub>: Le poids du récipient à l'état vide.
- M<sub>2</sub>: Le poids du récipient plein de gravier.

**Tableau II.18 : Masse volumique apparente du gravier**

	N° d'essai	M (kg)	M <sub>2</sub> (kg)	V (L)	$\rho_{moy}$ (kg/L)
3/8 r	1	2.92	12.6	7	1.38
	2	2.92	12.608	7	
	3	2.92	12.694	7	
8/16c	1	3.466	17.40	10	1.37
	2	3.466	17.24	10	
	3	3.466	17.12	10	

**II.2.3.2. Masse volumique absolue**

**Mode opératoire :**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

**Tableau II.20 : Masse volumique absolue du gravier.**

	N° d'essai	M (g)	Ve (cm <sup>3</sup> )	V1(g)	$\rho_{moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
3/8 r	1	300	300	430	2.6
	2	300	300	440	
8/16 c	1	300	300	420	2.61
	2	300	300	410	

**II.2.4. Porosité, compacité et indice des vides NF P 18-554**

Le mode opératoire est semblé celui effectuée pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] * 100 \quad (\%) \quad (II.14)$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P \quad (\%) \quad (\text{II.15})$$

L'indice des vides est donné par la formule suivante :

$$e = \frac{P}{(100-P)} \quad (\%) \quad (\text{II.16})$$

**Tableau II.21 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.**

Fraction de gravie	Porosité (%)	Compacité (%)	L'indice de vide %
3/8 R	37.27	62.73	0.59
8/16 C	47.50	52.5	0.9

### II.2.5. Degré d'absorption d'eau NF P 18-554

**Tableau II.22 : Degré d'absorption d'eau du gravier.**

Graviers	N°d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	A (%)	$A_{moy}$ (%)
3/8 R	01	350	349.5	0.15	0.16
	02	350	349.8	0.16	
	03	350	349.4	0.18	
8/16 C	01	350	348.02	0.57	0.54
	02	350	348.16	0.53	
	03	350	348.11	0.54	

### II.2.6. Analyse granulométrique

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

**II.2.7. Analyse granulométrique du gravier****A) - Fraction 3/8 R (1.6 Kg)****Tableau II.24 : Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8.**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
8	35	35	2.18	97.81
6,3	552.9	587.9	36.74	63.25
5	476.9	1064.8	66.55	33.45
4	360.7	1425.5	89.09	10.90
3,15	148.8	1574.3	98.39	1.60
2,5	22.5	1596.8	99.8	0.2
Fond	3.4	1600.2	100	00

**A) - Fraction 8/16 C (1.6 Kg)****Tableau II.25 : analyse granulométrique du gravier 8/16.**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
16	54.1	54.1	3.38	96.61
12,5	328.5	382.6	23.91	76.08
10	790.9	1173.5	73.34	26.65
8	322.7	1496.2	93.51	6.48
6,3	100.3	1596.5	99.78	0.21
5	2.7	1599.2	99.95	0.05
Fond	0.7	1599.9	99.994	0.006

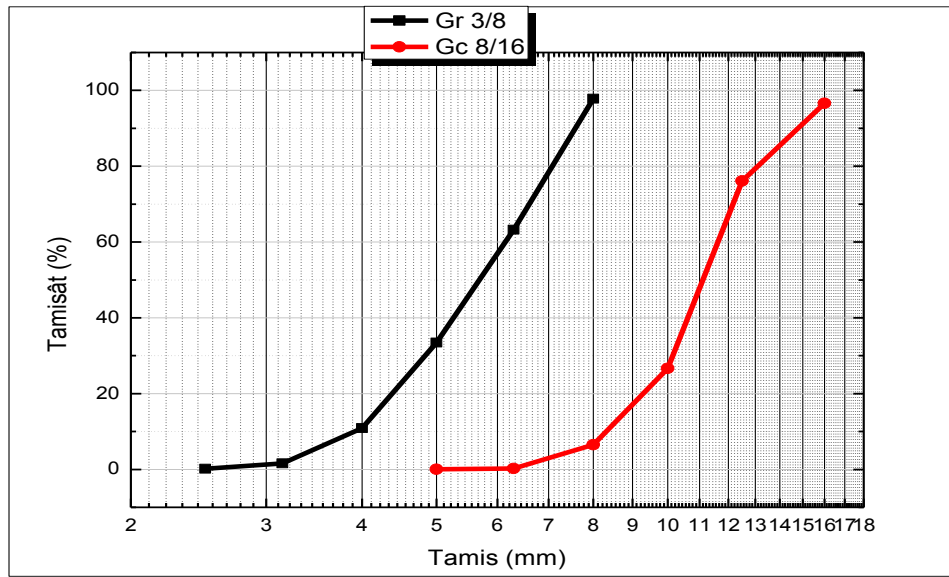


Figure II.4 : Les courbes granulométrique des graviers concassés (3/8) et (8/16).

### II.2.8. Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage répété de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatiques sur la chaussée.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

#### II.2.8.1. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) NF P18-573.

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles  $L_A$ , et sur le principe de l'effritement par abrasion.

##### Principe de l'essai

L'essai consiste à mesurer la masse  $m$  d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

##### Formulation :

Si  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai et  $m$  la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (LA) :

$$L_A = \left( \frac{m}{M} \right) * 100 \quad (\text{II.17})$$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

Tableau II. 26 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé

Fraction de Gravier	Nombre de boules	M (Kg)	m (Kg)	Coef LA %
Gravier R 3/8	7	5	0.954	19.08
Gravier 8/16	11	5	1.163	23.26

### II.2.8.2. Classification

Un tableau de classification a été déjà tracé. Il permet de classer les roches en fonction du coefficient Los Angeles.

Tableau II.27: Classification des roches en fonction du coefficient LA

Coefficient $L_A$	Nature de la roche
< 20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
> 50	Très tendre

#### Commentaire :

Le gravier roulé (3/8) : c'est un gravier très dure ( $L_A=19.08\%$ ) / ( $L_A < 20$ ),

Le gravier (8/16) : c'est un gravier dure ( $L_A = 23.26\%$ ) / ( $20 < L_A < 25$ ),

### II.2.9. Caractéristiques chimiques des graviers concassés

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars 2004, à la cimenterie de ACC (M'sila).

Tableau II.28 : Analyse chimique de la pierre concassée.

ELEMENT	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$MgO$	$SO_3$	$K_2O$	$Na_2O$
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

### II.3. Ciment

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe 52.5 provient de la cimenterie de l'ACC de M'sila.

#### II.3.1. Description

Le secteur de travaux publics pour les ponts, les revêtements des routes ou les structures ferroviaires.

### II.3.2. Le ciment le plus résistant du marché algérien

Ciment de classe vraie très élevée avec un faible retrait, Résistance élevée à jeune âge  
Compatibilité accrue avec les différents adjuvants (plastifiants, retardateurs de prise, accélérateurs de prise et de durcissement...)

### II.3.3. Parfaitement Adapté À La Préfabrication Légère

- Augmentation de la productivité :
  - Durcissement rapide
  - Augmentation de la production journalière
  - Gain en surface de stockage
- Réduction du taux de casse

### II.3.4. Domaines d'application

- Préfabrication lourde et légère
- Infrastructures (fondations) et éléments de superstructures nécessitant un décoffrage rapide permettant d'optimiser les délais de réalisation
- Bétonnage par temps froid
- Tous travaux techniques nécessitant des résistances élevées à jeune âge et de hautes performances.

### II.3.5. Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilis

Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant :

Tableau II.29 : Caractéristiques du CPJ

		Unités	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm <sup>3</sup>	3,12
Consistance normale		%	25 – 31
La finesse (Blaine)		cm <sup>3</sup> /g	3500 – 4500
Temps de prise	Début		100-170
	Fin	min	150-250
Résistance à la compression	2 jours		20
	28 jours	MPa	Plus de 52.5

### II.3.6. Analyses chimiques du ciment utilisé

II.1. Tableau 30 : Caractéristiques chimiques du CPJ.

Elément	VALEUR
Perte au feu (%) (NA 5042)	5.0-9.0
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2.5-3.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 4.0
Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	Max 0.1

### II.4. L'adjuvant : super plastifiant Le MEDAFLOW 30

Conforme la norme EN 934-2 : TAB 1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

#### II.4.1. Description

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le MEDAFLOW 30 permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. En plus de sa fonction principale de super plastifiant. Il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le MEDAFLOW 30 ne présente pas d'effet retardateur.

#### II.4.2. Propriétés

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :

Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible.
- Amélioration considérable de la fluidité.
- Une très bonne maniabilité.
- Éviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.
- Diminuer la porosité.
- Augmenter la durabilité.
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

### II.4.3. Mode D'emploi

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage. Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

### II.4.4. Dosage

Plage de dosage recommandée : 0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100Kg de ciment, Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et de effets recherché

### II.4.5. Caractéristiques

- Forme ..... Liquide ;
- Couleur ..... Jaunâtre ;
- PH ..... 6 – 6,5 ;
- Densité .....  $1,07 \pm 0,01$  ;
- Teneur en chlore .....  $< 1\text{g/L}$  ;
- Teneur en extrait sec ..... 40%.

### II.4.6. Domaines d'application

- Béton a haute performances.
- Béton auto-plaçant.
- Béton pompés.
- Béton précontraints.
- Béton architecturaux

## II.5. L'eau de gâchage EN 1008

Nous avons utilisé pour le gâchage de notre béton l'eau de robinet disponible au niveau de notre université

**Tableau II.31 : Analyse d'eau**

D.MINE.RLISATION		NOME		A	Unité
<b>D01</b>	Calcium	Ca <sup>++</sup>	195	75-200	Mg/l
<b>D02</b>	Magnésium	Mg <sup>++</sup>	119	<150	Mg/l
<b>D03</b>	Chlorures	CL <sup>-</sup>	177	200-500	Mg/l
<b>D04</b>	Sulfate	SO <sub>4</sub> <sup>-2</sup>	427	200400	Mg/l
<b>D05</b>	Bicarbonate	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	800	/	Mg/l

<b>D06</b>	Carbonate	CO <sub>3</sub> <sup>-2</sup>	00	/	Mg/l
<b>D07</b>	Silicate	SiO <sub>2</sub>	/	/	Mg/l
<b>D08</b>	Dureté totale (TH)		98	10-50	F°
<b>D09</b>	Dureté permanente		63	/	F°
<b>D10</b>	Titre alcalin (TA)		00	/	F°
<b>D11</b>	Titre alcalin complet		35	20-35	F°

**OBSERVATION : Dureté totale +Taux de sulfate est trop élevés**

### Conclusion

Dans ce chapitre nous avons présenté les différentes caractéristiques des matériaux utilisés dans notre travail et leurs constituants.

Les caractéristiques mécaniques, physiques et chimiques des granulats nous permettant de conclure sur leur conformité



Chapitre 3  
Techniques expérimentales

## CHAPITRE III : ESSAIS ET FORMULATIONS D'UN BHP

### Introduction

Le coulis est mélangé fluide à base de charges fines inférieures à 0.3 mm, de liants hydrauliques et d'adjuvants. Les ciments utilisés sont des CPA ou CPJ.

Les domaines d'utilisation des coulis sont plusieurs. L'utilisation de ces derniers est effectuée en faisant recours à des techniques particulières de mise en œuvre, dont la projection et l'injection. Les travaux d'injection nécessitent des coulis de grande fluidité. Aussi, le coulis peut être vu comme la phase liquide du béton, les tendances expérimentales actuelles vont dans le sens des optimisations des formules de béton à partir d'essais effectués sur les coulis, les essais sur le béton ne viennent que pour des vérifications.

L'essai au Cône de Marsh a été préalablement utilisé pour la détermination de la fluidité relative des pâtes de ciments avec Superplastifiant Pour la recommandation de L'AFREM pour la formulation des bétons à hautes performances.

### III.1. Méthodes d'optimisation des coulis de ciment

On présente ici les règles de formulation des coulis de ciment en fonction des propriétés rhéologiques et mécaniques visées. Dans la pratique, la formulation doit répondre à un cahier des charges dont le plus simple est composé de quatre spécifications dans les domaines suivants

- Fluidité;
- Injectabilité;
- Stabilité à l'état frais;
- Résistance mécanique.

Parmi les essais développés pour la caractérisation des fluidités des coulis on retrouve l'essai au **Cône de Marsh**. Ce dernier qui présente une approche simple pour la caractérisation de la fluidité de pâte de ciment contenant des additions minérales et des adjuvants ou non.

Pour les coulis fluidifié, il existe toujours un dosage en adjuvant dit « **Dosage de saturation** », au-dessus duquel aucune augmentation significative de la fluidité de la pâte ne se produit. Ce dosage peut être exploité pour le choix du type du Superplastifiant et son dosage.

En se basant sur l'approche au Cône de Marsh, nous avons étudié l'influence du rapport Eau/liant, du type et du dosage en additions minérale ainsi que celui de l'adjuvant sur la fluidité des pâtes de ciments. Les résultats obtenus vont dans le sens de la mise au point des coulis et

leur formulation pour leurs utilisations comme matériau indépendant, ou` pour les introduire dans une composition de béton en tant que phase suspendant.

### III.2. Méthodes des coulis

Pour étudier le comportement rhéologique d'un ciment en présence de Superplastifiant on utilise la méthode des coulis qui consiste à mesurer la perte de fluidité d'un coulis du ciment. En effet il existe deux méthodes issues de deux écoles différentes.

- *Méthode Française (L.C.P.C)*
- Méthode canadienne

### III.3. Méthode canadienne

Pour étudier la rhéologie des coulis de ciment, le groupe de recherche et d'étude sur le béton à l'université de **SHERBROOKE** a conçu un appareil appelé rhéopompe (figure III.2) mélange de façon énergique un coulis composé d'eau, de ciment et de Superplastifiant ou d'un autre d'adjuvant.

La rhéologie du coulis de ciment est qualifiée par une simple mesure de la fluidité au cône de Marsh (figure III.2, c'est-à-dire par la mesure du temps que prend un litre de coulis préparé pour s'écouler à travers l'orifice inférieur du cône de 5 mm d'ouverture).

On introduit l'eau et le Superplastifiant dans un rhéopompe après avoir les mélangés dans le récipient en suit on introduit le ciment progressivement pendant 2 minutes. On arrête alors rhéopompe et à l'aide d'une spatule, on écrase les grumeaux qui peuvent rester collés sur la paroi. Le rhéopompe est remis en marche en malaxant à nouveau le coulis pendant 45 secondes et on prélève, à, l'aide d'un cylindre gradué 1.1 litres de coulis pour mesurer son temps d'écoulement au cône de Marsh.

Une première mesure est faite 5 minutes après le début de l'écoulement le coulis est alors placé dans une bouteille que l'on maintient en mouvement continu à l'aide d'un dispositif mécanique pour empêcher toute sédimentation du ciment. On effectue deuxième mesure de l'écoulement 560 minutes après le début de l'essai. [2]

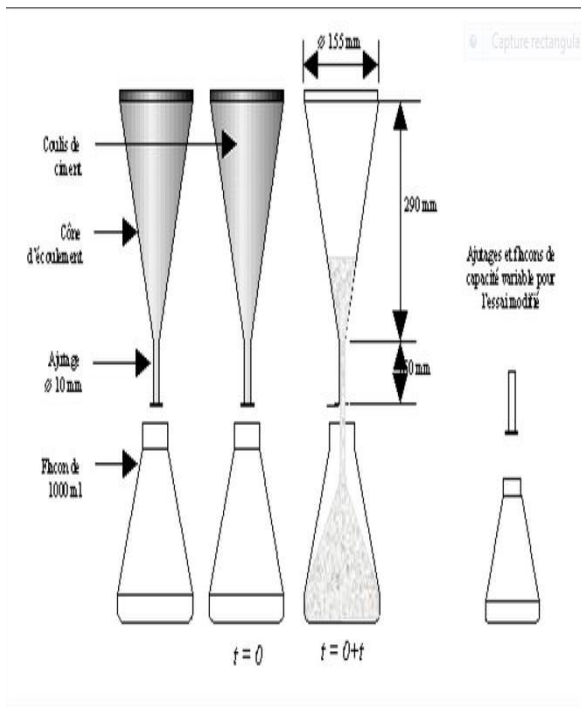


Figure III.1: Cône de Marsh



Figure III.2 : La rhéopompe

#### III.4. Programme expérimental adopté

Nous envisageons dans cette partie de travailler sur la rhéologie des coulis avec additions (fines) disponibles localement. Nous abordons le problème par analogie avec de très nombreuses études menées à travers le monde.

Ce travail de caractérisation et d'optimisation consiste à mesurer le temps d'écoulement sur pâte fluidifiée et non fluidifiée dans un cône entre deux repères et à faire des essais de répétabilité sur pâte pure et avec additions, mettant ainsi au point le coulis de référence, après quoi on teste l'efficacité des fluidifiants disponibles et ce pour déterminer la composition optimale du coulis fluidifié vis-à-vis de l'ouvrabilité.

Nous avons fixé :

1. Le rapport E/L ; et

Nous avons varié :

2. Le type et la teneur des additions (fines)
3. Le dosage en Superplastifiant

##### III.4.1. Méthode du cône Marsh

Différents cônes de Marsh sont utilisés depuis longtemps dans plusieurs secteurs industriels pour apprécier la fluidité de différents types de coulis. Cette méthode consiste à préparer un certain volume de coulis et à mesurer son temps d'écoulement. Les cônes peuvent avoir des caractéristiques géométriques légèrement différentes les unes des autres et le diamètre de l'orifice

inférieur peut varier de 5 mm à 12.5 mm

Différentes versions de la méthode du cône Marsh ont été présentées par différents auteurs. La méthode présentée est celle qui est utilisée à l'Université de Sherbrooke depuis plusieurs années.

Le cône utilisé est un cône de plastique normalisé par l'industrie pétrolière pour mesurer l'écoulement de 1.21s de boues de forage (Figure III.5). Ce cône particulier à été sélectionné par ce que qu'il est commercialement disponible et qu'il est bien adapté aux besoins des études portant sur la compatibilité entre les ciments et les superplastifiants [02].

### III.4.2. Préparation de l'échantillon et mesure du temps d'écoulement

#### III.4.2.1. Préparation des coulis

Les coulis ont été préparés dans un malaxeur de marque {**FORM+TEST SEIDNER**} de capacité 5 litres, en utilisant deux vitesses ; la vitesse rapide 120 tours/mn et la lent 60 tours/mn. Les pesés des constituants ont été effectuées dans la balance électrique de précision  $\pm 0.1$  gr.

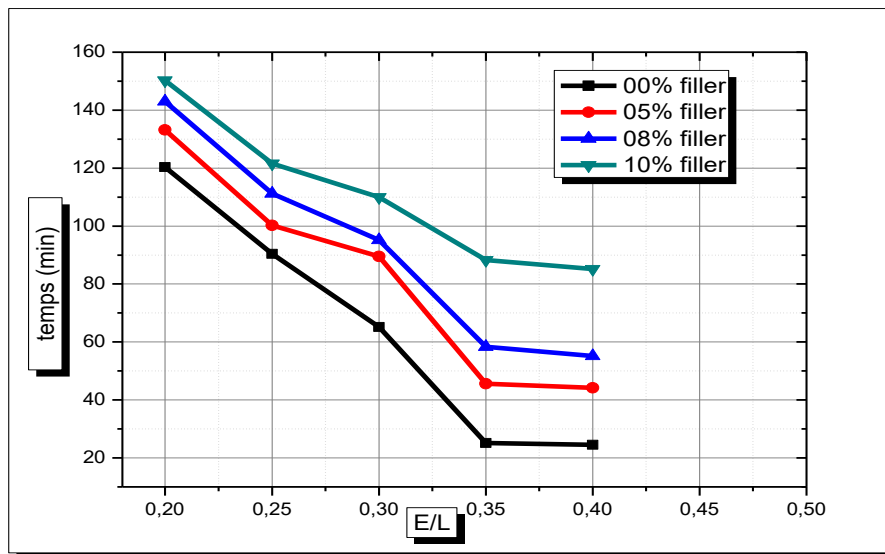
La préparation de l'échantillon comprend les étapes suivantes :

- Peser l'eau et le Superplastifiant dans le contenant où sera effectué le malaxage ;
- Démarrer le système de malaxage tous en introduisant progressivement la quantité en moins de 1 minute et 90 secondes
- Arrêter le malaxage pendant 15 secondes de façon à nettoyer avec une spatule le ciment qui reste collé les bords du contenant ;
- Malaxer pendant 60 secondes ;
- Mesurer la température ;
- Mesurer le temps qu'il faut pour remplir de coulis un vase gradué de 1 litre
- Placer le coulis dans une bouteille de plastique qui sera ensuite placée entre deux rouleaux de façon à maintenir le coulis homogène et à simuler le transport du coulis ;
- Mesurer le temps d'écoulement à différents instants jusqu' à 60 ou 90 minutes.

A chaque fois, on mesure la température du coulis.

#### Note:

Dans une version modifiée de cet essai, il à été proposé de faire le coulis en utilisant tous les matériaux ayant une dimension inférieure à 2 mm qui se retrouveront dans le BHP



**Figure III.3 : Détermination du temps d'écoulement au cône de Marsh**

#### III.4.2.2. Influence sur le moment d'addition du Superplastifiant dans le béton

Le Super plastifiant est plus efficace lorsqu'il est ajouté après l'humidification de coulis, environ 75% de l'eau de gâchage, ou fractionné dans le cas d'eau E/C très bas :

- 1/3 dans l'eau de gâchage ;
- 2/3 vers la fin de malaxage.

Le temps optimal d'addition du Superplastifiant dans le coulis est 2 minutes après le malaxage ciment- additions- eau. A ce moment, le Superplastifiant reste suffisamment disponible pour jouer son rôle de dispersant du C3S et C2S, et ce qui explique l'augmentation de la fluidité.

#### III.4.3. Point de saturation

Quand on mesure le temps d'écoulement pour différents dosages en superplastifiants à différents instants et que l'on exprime ce dosage sous forme de pourcentage de solides contenus dans le Superplastifiant par rapport à la masse se ciment, on obtient une courbe qui ressemble en général à celle présentée à la (Figure III.4).

Cette courbe est composée de deux parties linéaires ayant des pentes différentes. L'intersection de ces deux parties linéaires est ce que l'on appelle le «point de saturation», c'est- à- dire le point à partir duquel, dans les conditions expérimentales de mesure, toute augmentation du dosage en Superplastifiant n'à plus de répercussion sensible sur la rhéologie du coulis. Le dosage en Superplastifiant qui correspond à ce point est appelé le point de

saturation.

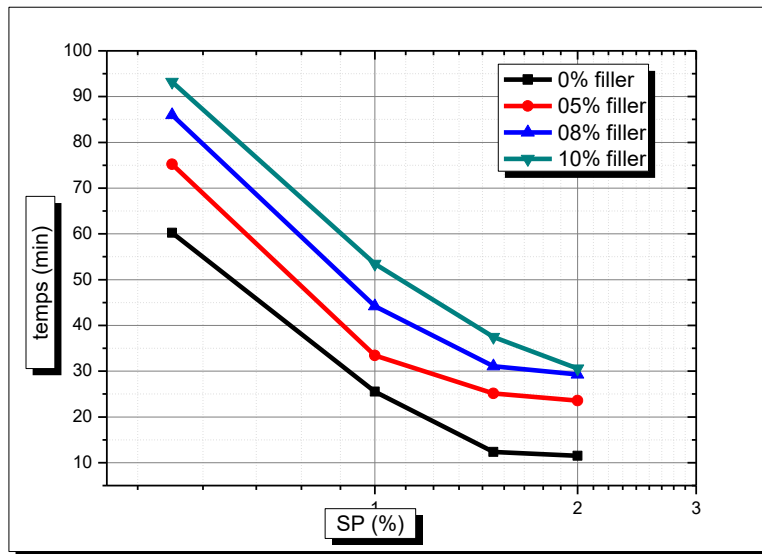


Figure III.4: temps d'écoulement en fonction du dosage en superplastifiants

III.5. Masse volumique apparente des différents mélanges de gravier

Après avoir effectué des essais de masse volumique et de porosité, les mélanges de fraction de gravier présentés dans le tableau I donnent les meilleures valeurs de la masse volumique et de la porosité.

Tableau III.1 : masse volumique apparent des différents mélanges de gravier

Pourcentages de gravais	35 % Gr 3/8, 65 % Gc 8/16	40 % Gr 3/8, 60 % Gc 8/16	45 % Gr 3/8, 55 % Gc 8/16
La masse volumique Apparente (kg/l)	1.61	1.63	1.6
Porosité (%)	43.91	43.30	42.89

III.6. Calcul de la proportion des constituants

III.6.1. Formulation du béton Méthodes de Dreux\_Gorisse

## III.6.1.1. Données de base

Tableau III.2: Donnés de bases pour la formulation.

Données de base Description	Données de base Description
Béton HP de classe	C 60/75
Consistance	béton plastique
Dimension maximale de granulat	D= 16mm
Forme des granulats	concassés + roulé
Qualité des granulats	Bonne (courante)
Serrage	vibration normale (courante)
Dosage en ciment	C = 450kg/m <sup>3</sup>
Module de finesse MF	1.58
Coefficient granulaire G	0,45
AF	9

III.6.1.2. Formulation du Béton témoin pour 1 (m<sup>3</sup>) de béton.

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 157.5L \\ C = 450kg / m^3 \\ S = 634.10kg / m^3 \\ G_{3/8} = 126.92kg / m^3 \\ G_{8/16} = 983.23kg / m^3 \end{array} \right.$$

III.6.1.3. Formulation de Béton pour 1 (m<sup>3</sup>) de béton (35% Gr 3/8) et (65% Gc 8/16).

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 157.5l \\ C = 450kg / m^3 \\ S = 634.10kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 388.5kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 721.5kg / m^3 \end{array} \right.$$

III.6.1.4. Formulation de Béton pour 1 (m<sup>3</sup>) de béton (40% Gr 3/8) et (60% Gc 8/16).

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 157.5l \\ C = 450kg / m^3 \\ S = 634.10kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 444kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 666kg / m^3 \end{array} \right.$$

### III.6.1.5. Formulation de Béton pour 1 (m<sup>3</sup>) de béton (45% Gr 3/8) et (55% Gc 8/16).

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 157.5l \\ C = 450kg / m^3 \\ S = 634.10kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 499.5kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 610.5kg / m^3 \end{array} \right.$$

### III.7. Formulation des différents mélanges testés

#### III.7.1. Mélanges 1 ( Gc 3/8, Gc 8/16) : (M<sub>1</sub>)

M<sub>1</sub> : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : ( Gc 3/8 ; Gc 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 2.479l \\ C = 7.083kg / m^3 \\ S = 9.98kg / m^3 \\ Gc_{3/8} = 1.997kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 15.446kg / m^3 \end{array} \right.$$

#### III.7.2. Mélanges 2 ( 35% Gr 3/8, 65%Gc 8/16) : (M<sub>2</sub>)

M<sub>1</sub> : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : (35% Gc 3/8 ; 40% Gc 8/16) :

$$\left\{ \begin{array}{l} E = 2.479l \\ C = 7.083kg / m^3 \\ S = 9.98kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 6.11kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 11.35kg / m^3 \end{array} \right.$$

#### III.7.3. Mélanges 3 ( 40% Gr 3/8, 60%Gc 8/16) : (M<sub>3</sub>)

M<sub>1</sub> : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : ( 40% Gr 3/8 ; 60% Gc 8/16 ) :

$$\begin{cases} E = 2.479l \\ C = 7.083kg / m^3 \\ S = 9.98kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 6.989kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 10.483kg / m^3 \end{cases}$$

#### III.7.4. Mélanges 4<sub>( 4 5% Gr 3/8, 55%Gc 8/16 )</sub> : (M<sub>4</sub>)

M<sub>1</sub> : Pour coulage de 9 éprouvettes cubiques et 3 éprouvettes prismatiques :

$$V = [(0.1 \times 0.1 \times 0.1) \times 9 + (0.07 \times 0.07 \times 0.28) \times 3] \times 1.25 = 0.016395 \text{ m}^3.$$

Formulation de Béton à base de : ( 45% Gr 3/8 ; 55% Gc 8/16 ) :

$$\begin{cases} E = 2.479l \\ C = 7.083kg / m^3 \\ S = 9.98kg / m^3 \\ Gr_{3/8} = 7.862kg / m^3 \\ Gc_{8/16} = 9.610kg / m^3 \end{cases}$$

**Remarque** : dans chaque mélange M<sub>2</sub> M<sub>3</sub> M<sub>4</sub> on a quatre pourcentages de filler (pouzzolane) 0%, 05%, 08% et 10 %

**Tableau III.3: Tableau récapitulatif**

	Sable	Gr3/8	Gc 3/8	Gc8/16	Eau	C	Filler	E/L
<b>B<sub>t1</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>/</b>	<b>1.997</b>	<b>15.476</b>	<b>2.47</b>	<b>7.083</b>	<b>/</b>	<b>0.33</b>
<b>B<sub>t2</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>1.997</b>	<b>/</b>	<b>15.476</b>	<b>2.35</b>	<b>7.083</b>	<b>/</b>	<b>0.32</b>
<b>B<sub>t3</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.11</b>	<b>/</b>	<b>11.35</b>	<b>2.32</b>	<b>7.083</b>	<b>/</b>	<b>0.32</b>
<b>B<sub>t4</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.98</b>	<b>/</b>	<b>10.483</b>	<b>2.38</b>	<b>7.083</b>	<b>/</b>	<b>0.33</b>
<b>B<sub>t5</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>7.86</b>	<b>/</b>	<b>9.610</b>	<b>2.34</b>	<b>7.083</b>	<b>/</b>	<b>0.33</b>
<b>BHP<sub>01</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.11</b>	<b>/</b>	<b>11.35</b>	<b>2.52</b>	<b>7.083</b>	<b>0.3541</b>	<b>0.29</b>
<b>BHP<sub>02</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.98</b>	<b>/</b>	<b>10.483</b>	<b>2.24</b>	<b>7.083</b>	<b>0.3541</b>	<b>0.30</b>
<b>BHP<sub>03</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>7.86</b>	<b>/</b>	<b>9.610</b>	<b>2.17</b>	<b>7.083</b>	<b>0.3541</b>	<b>0.29</b>
<b>BHP<sub>04</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.11</b>	<b>/</b>	<b>11.35</b>	<b>2.26</b>	<b>7.083</b>	<b>0.566</b>	<b>0.29</b>

<b>BHP<sub>05</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.98</b>	<b>/</b>	<b>10.483</b>	<b>2.28</b>	<b>7.083</b>	<b>0.566</b>	<b>0.29</b>
<b>BHP<sub>06</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>7.86</b>	<b>/</b>	<b>9.610</b>	<b>2.30</b>	<b>7.083</b>	<b>0.566</b>	<b>0.30</b>
<b>BHP<sub>07</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.11</b>	<b>/</b>	<b>11.35</b>	<b>2.44</b>	<b>7.083</b>	<b>0.708</b>	<b>0.31</b>
<b>BHP<sub>08</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>6.98</b>	<b>/</b>	<b>10.483</b>	<b>2.42</b>	<b>7.083</b>	<b>0.708</b>	<b>0.31</b>
<b>BHP<sub>09</sub></b>	<b>9.98</b>	<b>7.86</b>	<b>/</b>	<b>9.610</b>	<b>2.43</b>	<b>7.083</b>	<b>0.708</b>	<b>0.31</b>

### III.8. Préparation de mélange

La préparation du béton HP demande plus d'attention et de précision que la préparation d'un béton ordinaire. Pour parvenir à effectuer des essais sur le béton frais, il faut suivre une certaine méthodologie.

- Le premier paramètre à prendre en compte est la capacité du malaxeur utilisé.

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire suivant:

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules prismatique cubique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage.
- Réunir tout le matériel nécessaire pour effectuer les essais.
- Vérifier que les matériaux ne sont pas humides, si non les sécher préalablement dans l'étuve.
- Préparer la quantité d'eau nécessaire pour la gâchée. Le superplastifiant est ajouté à un quart de l'eau de gâchage.
- Peser les matériaux secs (gravier, sable, ciment, pouzzolane) et les introduire dans le malaxeur.
- Mettre le malaxeur en marche pour homogénéiser le mélange sec.
- Laisser le malaxeur en marche et ajouter progressivement la première un quart de l'eau de gâchage (celle qui contient l'adjuvant).
- Ajouter la trois quart d'eau graduellement.
- Effectuer immédiatement les essais après arrêt du malaxage, les essais sont réalisés au moins deux fois pour valider les valeurs obtenues.
- Remplir les éprouvettes en deux/trois couches avec vibration.

### III.9. Conservation des éprouvettes

Après le gâchage du béton, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h.

Une fois démoulées, pour assurer un bon mûrissement du béton, les éprouvettes sont conservées dans un bac d'eau à une température de 20°C, ceci permet d'éviter les pertes d'eau, et de garantir le déroulement normal du processus d'hydratation du ciment

### **III.10. Performances des bétons à l'état frais**

#### **III.10.1. Affaissement au cône d'Abrams**

##### **a) Principe de l'essai:**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Ce dernier 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.

##### **b) Appareillage:**

➤ Moule pour former l'éprouvette : en métal non directement attaqué par la pâte de ciment, d'une épaisseur minimale de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- diamètre de la base :  $(200 \pm 2)$  mm.
- diamètre du haut :  $(100 \pm 2)$  mm.
- hauteur :  $(300 \pm 2)$  mm.

### **III.11. Performances des bétons l'état durci**

#### **III.11.1. Essai compression NF EN 206-1**

##### **a) But de l'essai:**

- Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.
- L'essai se fait sur une éprouvette cylindrique de dimensions normalisées et d'élancement de 2. ( $H = 2 \varnothing$ ) ou éprouvette cubique 10 x 10 x 10. Les dimensions les plus utilisées sont :  $H = 32$  cm  $\varnothing = 16$  cm. [2]

##### **b) Principe de l'essai :**

- Après malaxage, on remplit en béton un moule cylindrique normalisé, le remplissage du moule se fera en 3 couches bien vibrées chacune.
- L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir à une température moyenne de 20 C°.
- Le démoulage se fera après un 24 heures. Généralement, la résistance est déterminée à 28 jours.

**c) Conduite de l'essai :**

- Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre de béton.
- Eprouvette sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture.
- Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.
- Calculs : la résistance  $G = \frac{F}{S}$

❖ S : section de l'éprouvette : 100 cm<sup>2</sup>.

❖ F : force au moment de la rupture.

Et essai se fait également sur les roches que l'on doit tailler au préalable sous forme de cubes d'arête égale à 7 cm.



a) Press laboratoire génie civil



b) Press laboratoire privée

**Figure III.5: Presse hydraulique NF EN 206-1**

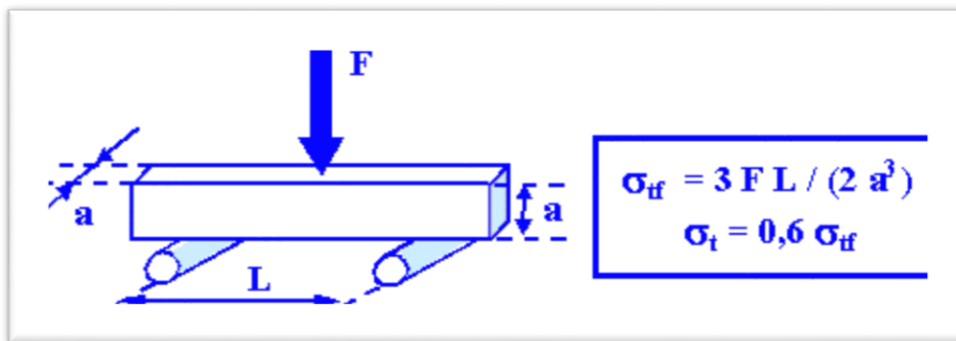
### III.11.2. Essais traction par flexion : NF P 18-408

#### a) But de l'essai :

Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton, c'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme (7 x 7 x 28) de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.

**b) Conduite de l'essai :**

Lors d'un essai de flexion trois points, la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression (dans un rapport de 10) l'éprouvette va se rompre dès que le béton aura atteint sa limite en traction. La contrainte limite qui découle d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité est  $\sigma_{tf}$  (contrainte de traction par flexion). Le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du béton  $\sigma_t$  un terme correctif de 0,6 ( $\sigma_t = 0,6\sigma_{tf}$ ) [2].



**Figure III.6 : Formule de calcul de la résistance de traction**

**Conclusion**

Ce chapitre représente un plan détaillé des techniques et modes opératoires des essais normalisés effectués sur les constituants de nos bétons nécessaire à la formulation;

Après en a parlé des procédés de fabrication de notre BHP et le mode de conservation (cure) des éprouvettes.

Il était important de définir la partie normative à laquelle doivent répondre les différents mélanges. La méthode de formulation a été développée et le calcul des proportions des constituants a été fait suivi par des essais de caractérisation à l'états frais (conne d'abrams) et Durci (résistance a la compression et traction)





Chapitre 4  
Résultat et discussions

## Introduction

Depuis que l'on fabrique des bétons, les ingénieurs et les chercheurs se sont efforcés d'élaborer des théories, d'effectuer des recherches et des essais et déduire des méthodes de composition pour la fabrication des bétons. Ces méthodes de formulation, de protection, de contrôle, et d'évaluation sont aujourd'hui très nombreuses.

Les essais de contrôle de béton à l'état durci :

Les essais mécaniques destructifs :

Essais compression, qui consistent à appliquer une charge croissante, avec une vitesse appropriée pour chaque essai, jusqu'à la rupture. Dans ce chapitre, on va présenter les résultats des travaux élaborés en analysant la formulation des différents échantillons testés, et l'évaluation par les essais de compression qui sont capable, d'après nos essais, de donner une première impression sur les caractéristiques mécaniques du béton durci.

### IV.1. Représentation et analyse des résultats

Les résultats à l'état frais et durci (la masse volumique à l'état frais, la masse volumique à l'état durci, la résistance à la compression et la traction par flexion.) sont présentés dans les tableaux ci-après.

Les mélanges testés sont présentés sous les appellations suivantes

Dans ce travail on a formulé 14 gâcher avec différents pourcentages de granulat mixte (roulé et concassée) , et différents pourcentages de filler ( pouzzolane) , avec pourcentage d'adjuvant et E/L fixés, les différents mélange sont présentés dans le tableau ci-dessous.

(Tableau IV .1)

Tableau IV .1: les différents mélanges de bétons

Type des bétons	Mélange des bétons
Bt <sub>1</sub>	témoin (sans filler et sans Gr 3/8)
Bt <sub>2</sub>	témoin (sans filler et avec Gr 3/8)
Bt <sub>3</sub>	BHP avec 35 % Gr 3/8, 65 % Gc 8/16 et 0% filer
Bt <sub>4</sub>	BHP avec 40 % Gr 3/8, 60 % Gc 8/16 et 0% filer
Bt <sub>5</sub>	BHP avec 45 % Gr 3/8, 55 % Gc 8/16 et 0% filer
BHP <sub>1</sub>	BHP avec 35 % Gr 3/8, 65 % Gc 8/16 et 05 % filer
BHP <sub>2</sub>	BHP avec 40 % Gr 3/8, 60 % Gc 8/16 et 05% filer
BHP <sub>3</sub>	BHP avec 45 % Gr 3/8, 55 % Gc 8/16 et 05% filer
BHP <sub>4</sub>	BHP avec 35 % Gr 3/8, 65 % Gc 8/16 et 08% filer
BHP <sub>5</sub>	BHP avec 40 % Gr 3/8, 60 % Gc 8/16 et 08% filer
BHP <sub>6</sub>	BHP avec 45 % Gr 3/8, 55 % Gc 8/16 et 08% filer
BHP <sub>7</sub>	BHP avec 35 % Gr 3/8, 65 % Gc 8/16 et 10% filer
BHP <sub>8</sub>	BHP avec 40 % Gr 3/8, 60 % Gc 8/16 et 10% filer
BHP <sub>9</sub>	BHP avec 45 % Gr 3/8, 55 % Gc 8/16 et 10% filer

## IV.2. Béton à l'état frais

### IV.2.1. L'affaissement

Pour une consistance normale. Entre 15.3 et 07 cm au cône d'Abrams , nous avons obtenus les résultats présentés ci-dessous :( Tableau III.2)

Tableau III.2 : Variation de l'affaissement fonction du type de béton

Type de béton	Bt <sub>1</sub>	Bt <sub>2</sub>	Bt <sub>3</sub>	Bt <sub>4</sub>	Bt <sub>5</sub>	BHP <sub>1</sub>	BHP <sub>2</sub>	BHP <sub>3</sub>	BHP <sub>4</sub>	BHP <sub>5</sub>	BHP <sub>6</sub>	BHP <sub>7</sub>	BHP <sub>8</sub>	BHP <sub>9</sub>
Affaissement (cm)	15.3	12.4	14.5	12.5	11	13	09	09	07	07	07	08	08	07

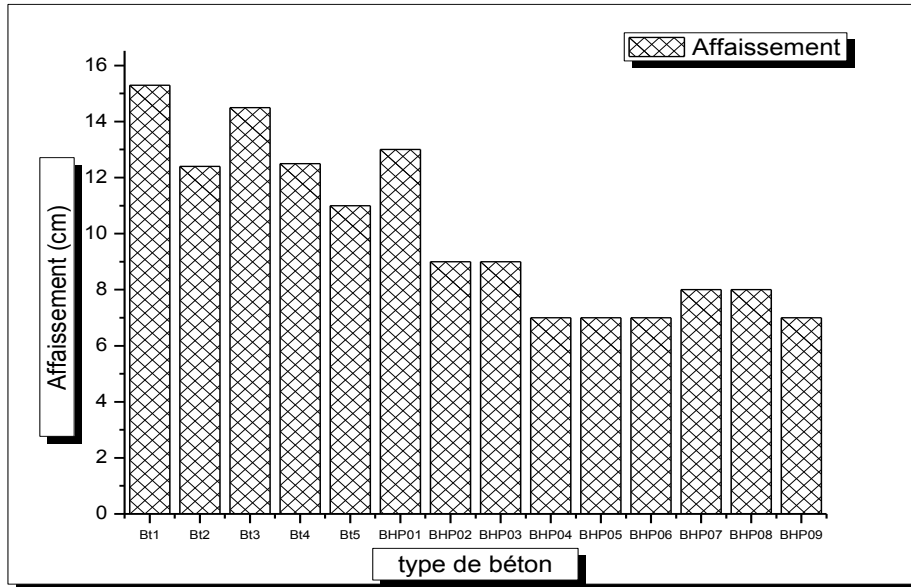


Figure IV.1 : Variation de l’affaissement pour chaque béton.

A la fin de malaxage, on mesure l’affaissement du béton à l’aide du cône d’Abrams, Cet figure (figure IV.1) représenté la variation de l’affaissement en fonction de chaque type du béton (témoin et BHP), on remarque une diminution de l’affaissement dans chaque béton en fonction du pourcentage de granulats mixte (roulé et concassé) et en fonction du pourcentage de filler (pouzzolane).

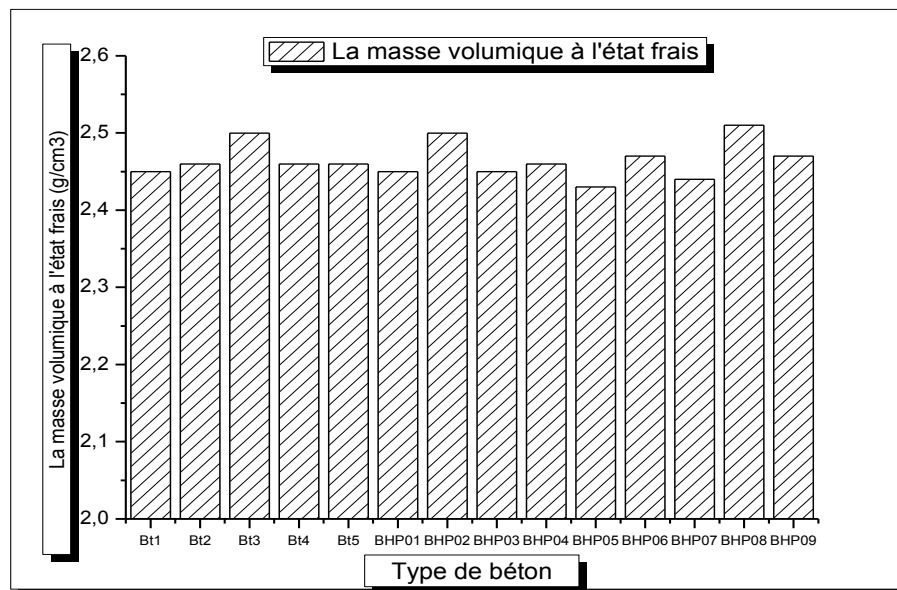
D’après les résultats de l’affaissement de béton témoin aff=15.3 cm, et l’affaissement des BHP avec filler on remarque un décroissement de l’affaissement en fonction de pourcentage de filler et granulats mixte jusqu’à un affaissement optimal de 7 cm

**IV.2.2. La masse volumique à l’état frais des mélanges**

Pour voir l’effet des granulats mixte et le pourcentage de filler sur la variation de la masse volumique apparente à l’état frais, des pesés des éprouvettes à l’état frais ont été effectués, l’ensemble des résultats obtenue sont présentés dans le tableau ci-dessous. (Tableau IV.3)

Tableau IV.3: La masse volumique à l’état frais des mélanges

Type de béton	B <sub>t1</sub>	B <sub>t2</sub>	B <sub>t3</sub>	B <sub>t4</sub>	B <sub>t5</sub>	BHP <sub>1</sub>	BHP <sub>2</sub>	BHP <sub>3</sub>	BHP <sub>4</sub>	BHP <sub>5</sub>	BHP <sub>6</sub>	BHP <sub>7</sub>	BHP <sub>8</sub>	BHP <sub>9</sub>
M <sub>v</sub> (g/cm <sup>3</sup> )	2.45	2.46	2.5	2.46	2.46	2.45	2.5	2.45	2.46	2.43	2.47	2.44	2.51	2.47



**Figure IV.2 : La variation de la masse volumique apparente à l'état frais pour les différents types des bétons.**

Après le gâchage, on a mesuré la masse volumique apparente à l'état frais de chaque type de béton pour voir l'influence du pourcentage de filler et du pourcentage de granulats mixte sur la masse volumique à l'état frais.

On remarque que la masse volumique de tous les bétons est relativement proche par rapport au béton témoin, les meilleures masses volumiques sont présentes dans Bt4 et BHP2, BHP5 et BHP8.

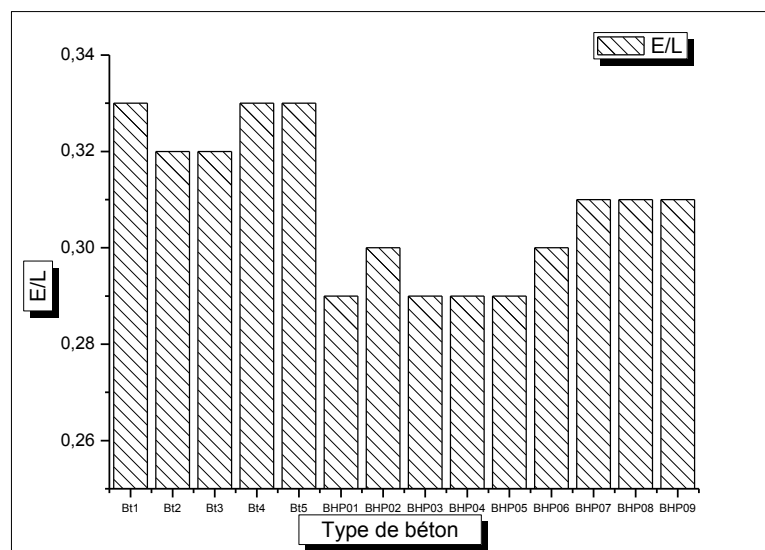
On peut expliquer cette variation par la différence de pourcentage de granulats mixte (40% Gr et 60% Gc) et la différence de dosage en filler (pouzzolane) 5%, 8% et 10%.

### IV.2.3. Le rapport E/L

Ce tableau représente l'effet de variation de pourcentage de granulats mixte et pourcentage de filler sur le rapport E/L, les résultats sont résumés au tableau suivant (Tableau IV.4).

**Tableau IV.4: Le rapport E/L**

Types de béton	Bt1	Bt2	Bt3	Bt4	Bt5	BHP1	BHP2	BHP3	BHP4	BHP5	BHP6	BHP7	BHP8	BHP9
<b>Liant</b>	0					5%			8%			10%		
<b>E/L</b>	0.33	0.32	0.32	0.33	0.33	0.29	0.30	0.29	0.29	0.29	0.30	0.31	0.31	0.31



**Figure IV.3 : La variation du rapport E/L apparente à l'état frais en fonction pour les différents types des bétons.**

La figure (IV.3) représente la variation du rapport E/L en fonction des différents types de béton, d'après la figure on observe que les bétons sans filler ont un rapport E/L relativement élevée par rapport aux bétons avec filler, on explique ça par la différence de l'absorption de l'eau entre les granulats roulés et concassés, ces derniers présentent une absorption supérieure à celle des granulats roulés, le dosage de filler joue aussi un rôle très important dans la demande en eau, L'augmentation de dosage en filler conduit à une augmentation de E/L.

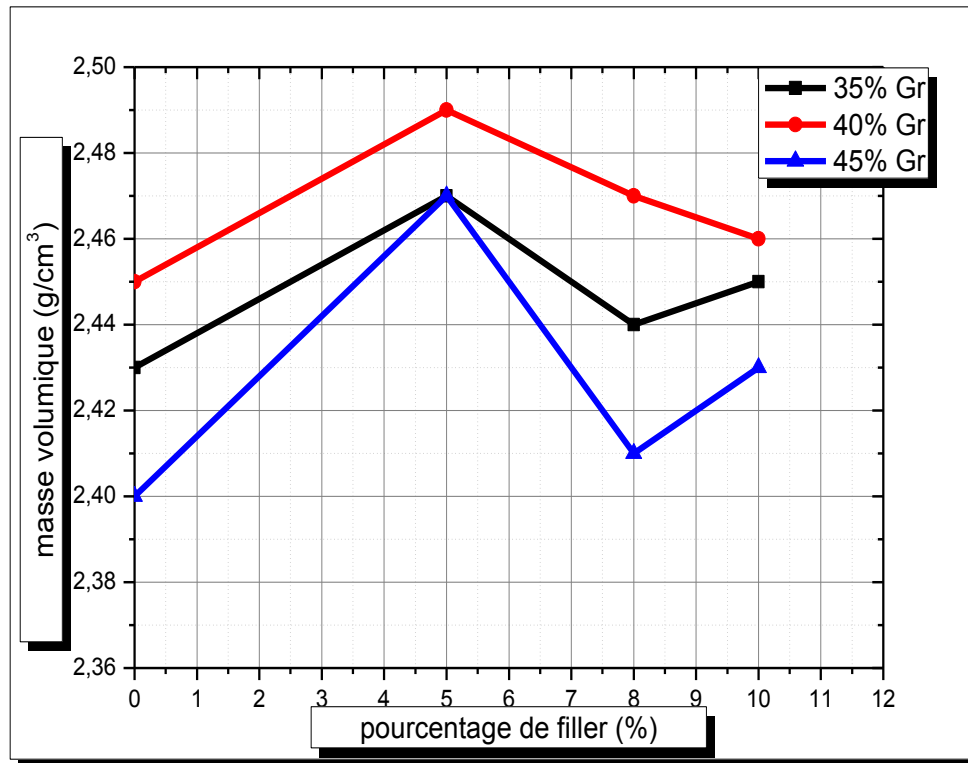
### IV.3. Béton à l'état durci

#### IV.3.1. La masse volumique à l'état durci des mélanges de béton :

Pour voir l'effet des granulats mixtes et le filler sur la variation de la masse volumique apparente à l'état durci des pesées des éprouvettes à l'état durci en été effectués à 28 jours, l'ensemble des résultats obtenus sont présentés dans le tableau ci-dessous. (Tableau IV.5)

**Tableau IV.5 : La masse volumique à l'état durci des mélanges**

Type de béton	B <sub>11</sub>	B <sub>12</sub>	B <sub>13</sub>	B <sub>14</sub>	B <sub>15</sub>	BHP <sub>1</sub>	BHP <sub>2</sub>	BHP <sub>3</sub>	BHP <sub>4</sub>	BHP <sub>5</sub>	BHP <sub>6</sub>	BHP <sub>7</sub>	BHP <sub>8</sub>	BHP <sub>9</sub>
Cubique	2.46	2.48	2.5	2.47	2.23	2.47	2.49	2.47	2.44	2.43	2.44	2.46	2.53	2.49
Prismatique	2.58	2.60	2.57	2.58	2.40	2.58	2.60	2.57	2.55	2.55	2.57	2.54	2.56	2.57



**Figure IV.4 : Variation de la masse volumique en fonction du pourcentage de filler pour chaque type de béton.**

Après le durcissement en eau à 28 jours on a mesuré la masse volumique apparente à l'état durci de chaque type de béton.

On remarque que la masse volumique de tous les bétons est relativement proche par rapport au béton témoin, les meilleures masses volumiques sont présentes dans B<sub>14</sub> et BHP<sub>2</sub>, BHP<sub>5</sub> et BHP<sub>8</sub>.

On peut expliquer cette variation par la différence de pourcentage de granulats mixte (40% Gr et 60% Gc), pour les différents types de béton avec 8% et 10% de filler (pouzzolane) on remarque une diminution de la masse volumique, ce pourcentage de filler demande plus d'eau de gâchage par rapport à d'autres pourcentages de filler 0% (témoin) et 5%. (voir la figure IV.4)

IV.3.2: Résistance à la compression de différents mélanges

Tableau V.6 : La résistance à la compression l'état durci des différents bétons étudiés à 7, 14 et 28 jours.

Type de béton	Bt1	Bt2	Bt3	Bt4	Bt5	BHP1	BHP2	BHP3	BHP4	BHP5	BHP6	BHP7	BHP8	BHP9
Rc à 7J	49.6	44.13	42.65	41.13	44.17	49.76	50	51.4	45.11	45.59	44.90	46.64	40.98	41.45
Rc à 14J	49.2	45.80	44.03	44.33	48.59	51.13	52.28	51.80	47.51	51.9	46.57	47.10	50.34	49.13
Rc à 28J	51.59	51.85	50.16	46.71	50.19	75.75	83.10	75.23	68.76	72.3	65.62	71.77	74.99	65.76

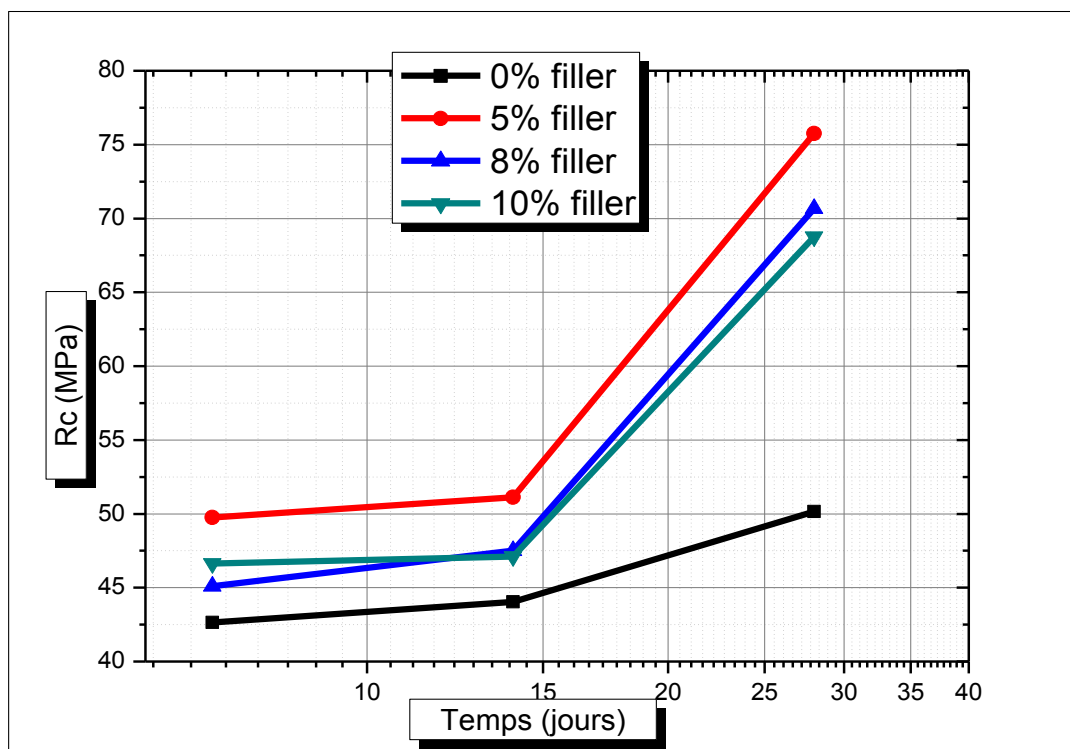


Figure V.5 : L'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de filler avec 35% granulats roulés à 7, 14 et 28 jours.

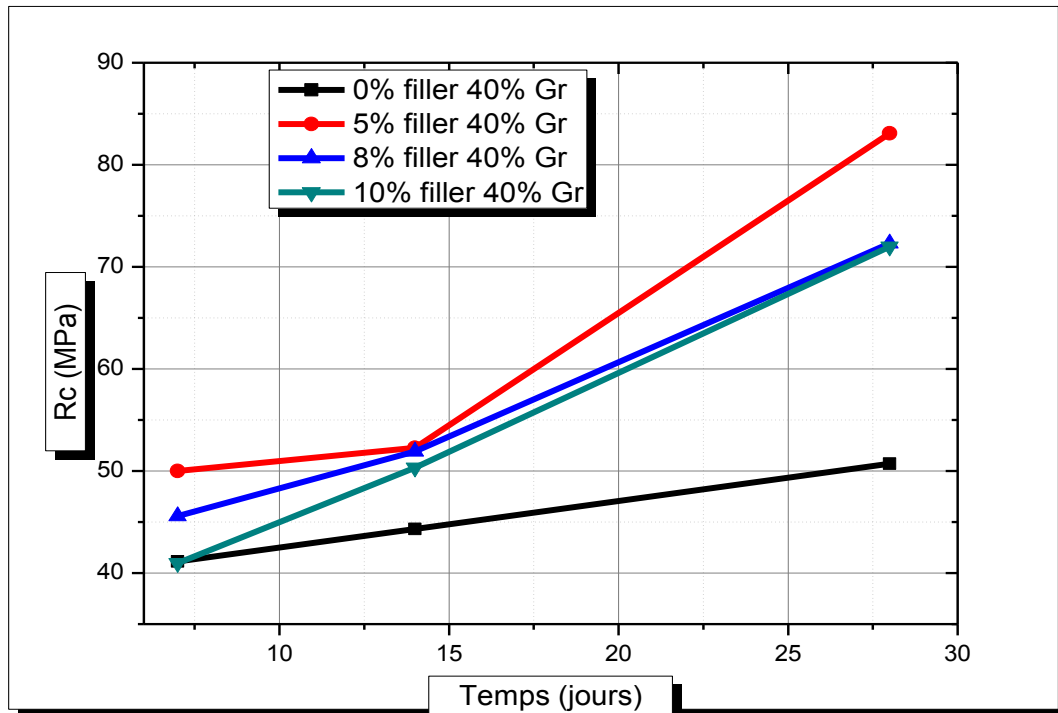


Figure V.6 : l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de filler avec 40% granulat roulée à 7, 14 et 28 jours.

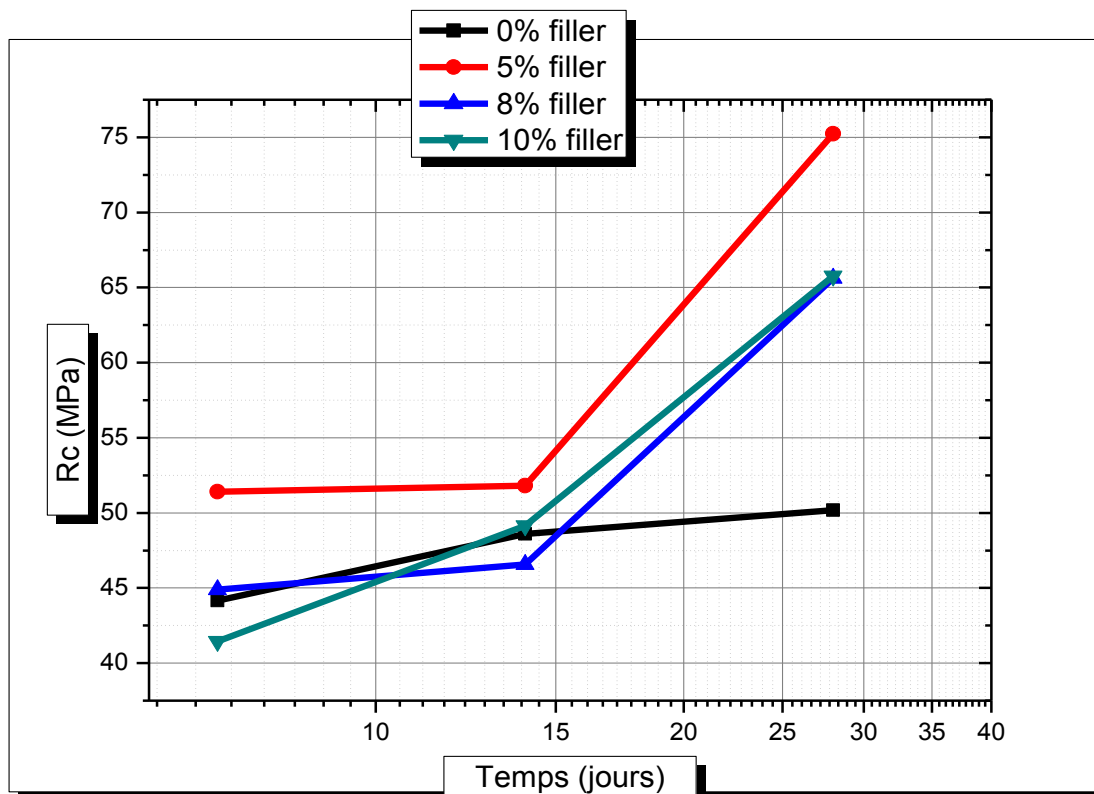


Figure V.7 : l'évolution de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de filler avec 45% granulat roulée à 7, 14 et 28 jours.

Figure (IV.5) représente l'évolution de résistance a la compression en fonction du temps on observe que le meilleur résultat est obtenu dans le dosage de filler (pouzzolanes) de 5% et le pourcentage de granulats (35% Gr 3/8 et 65% Gc 8/16).

La figure (IV.6) représente l'évolution de la résistance a la compression en fonction du dosage en filler et du pourcentage de granulats, on observe que le meilleur résultat est obtenus pour le dosage de filler (pouzzolanes) de 5% et le pourcentage de granulats (40%Gr 3/8 et 60% Gc 8/16).

La figure (IV.7) représente l'évolution de résistance a la compression en fonction du dosage en filler et du pourcentage de granulats on observe que le meilleur résultat est obtenus pour le dosage de filler (pouzzolanes) de 5% et le pourcentage de granulats (45% Gr 3/8 et 55%Gc 8/16).

D'après les figures (IV.5, IV.6 et IV.7) présentant l'évolution des résistances mécaniques De tous types des bétons testés, on remarque une amélioration considérable sur la résistance à la compression des bétons confectionné avec 40% de granulats roulée et 5% de filler (pouzzolane).

**IV.3.3. Résistance à la traction de différents mélanges**

**Tableau V : La Résistance à la flexion à l'état durci des déférents bétons étudié à 28 jours.**

Type de béton	Bt1	Bt2	Bt3	Bt4	Bt5	BHP1	BHP2	BHP3	BHP4	BHP5	BHP6	BHP7	BHP8	BHP9
Rf à (MPa)	10.15	9.14	9.99	10.74	10.15	9.36	9.89	9.87	9.87	9.30	8.93	9.46	9.22	9.79

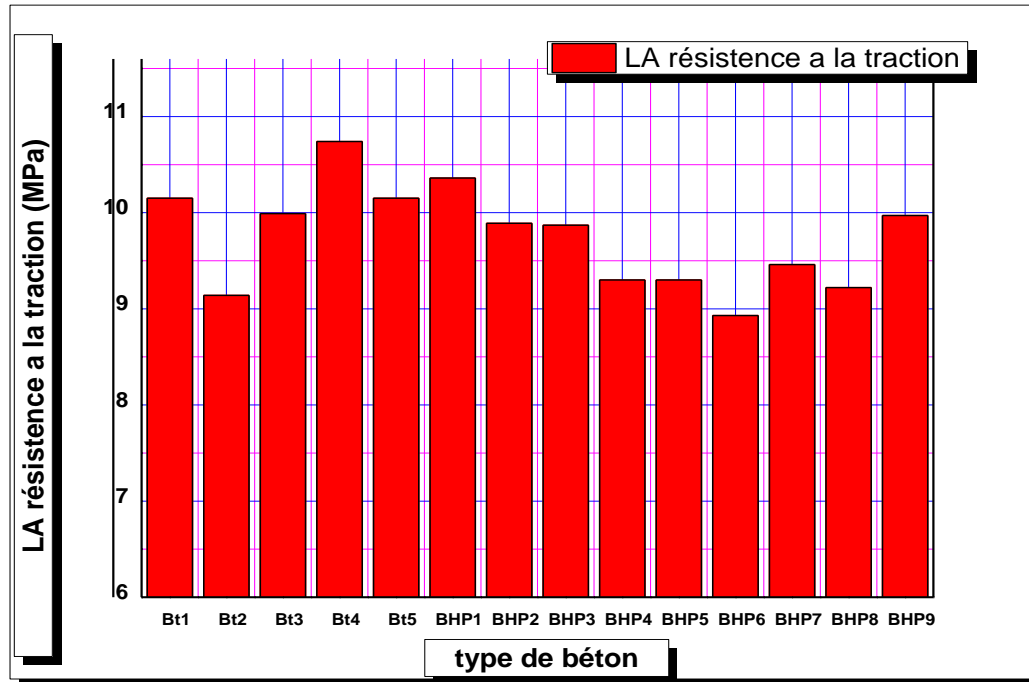


Fig.V.8 : La Résistance à la flexion à l'état durci des différents bétons étudiés à 28 jours.

A partir de la (Fig.IV.8) on remarque que les résultats sont relativement proches et acceptables par rapport au béton témoin, on constate que l'effet positif des fillers (pouzzolane) sur la résistance à la traction avec un pourcentage de 5 %, au-delà de ce pourcentage la résistance diminue.

### Conclusion

D'après notre étude expérimentale on conclut qu'à l'état frais l'augmentation du dosage en filler détermine l'affaissement et augmente la demande en eau en parallèle, la nature et le pourcentage des granulats influent sur la fluidité du béton, la masse volumique varie en fonction du dosage en filler et de granulats roulés Gr 3/8.

Pour le rapport E/L les bétons sans filler ont un rapport E/L relativement élevé par rapport aux bétons avec filler, on explique cela par la différence de l'absorption de l'eau entre les granulats roulés et concassés, ces derniers présentent une absorption supérieure à celle des granulats roulés, aussi le dosage de filler joue un rôle très important dans la demande en eau, l'augmentation du dosage en filler conduit à une augmentation de E/L.

À l'état durci, les propriétés mécaniques sont influencées par le dosage et la nature des granulats utilisés, l'utilisation de filler augmente la résistance à la compression et améliore la résistance à la traction.

À travers notre étude expérimentale on peut conclure que le pourcentage de fillers de 5 % améliore sensiblement la résistance à la compression et la résistance à la traction, au-delà de 8%



# Conclusion générale

### Conclusion générale

Dans cette recherche nous avons travaillé sur les mélanges de graviers roulés et concassés utilisés dans le BHP, nous avons procédé à la caractérisation des granulats entrant dans la composition de (14) mélanges : Dans cette étude, on s'intéresse au comportement d'un BHP dans lequel le gravier concassé (8/16) est substitué (remplacé) par le gravier roulé (3/8) à des teneurs pondérales de 35, 40, et 45% (par rapport à la masse totale des graviers).

La méthode de formulation utilisée est celle de Dreux-Gorisse.

Après une identification expérimentale de différentes teneurs en gravier roulé et leurs effets sur la masse volumique, le rapport E/L et la résistance mécanique, nous pouvons formuler les conclusions suivantes :

- On trouve que les bétons BHP<sub>1</sub>, BHP<sub>2</sub> et BHP<sub>3</sub> (avec 5% de filler) ont un rapport E/L inférieur aux autres mélanges.

- La masse volumique nous donne une idée sur la compacité de nos bétons et par suite sur leurs résistances mécaniques.

- On constate que les bétons BHP<sub>1</sub>, BHP<sub>2</sub> et BHP<sub>3</sub> donnent la meilleure valeur de la masse volumique suivie par les bétons BHP<sub>7</sub>, BHP<sub>8</sub> et BHP<sub>9</sub>

- On conclut que les mélanges BHP<sub>1</sub>, BHP<sub>2</sub> et BHP<sub>3</sub> donnent les meilleures valeurs de la masse volumique à l'état durci

- Le mélange de béton BHP<sub>2</sub> avec (40% gravier roulé et 60% gravier concassé et 5% filler) donne la meilleure résistance à la compression 85.56 MPA.

- La présence de gravier roulé (40% de fraction 3/8) favorise le réarrangement des grains dans le mélange de béton pour avoir une compacité maximale (porosité minimale), aussi les graviers roulés avec surface lisse et arrondie ont une faible absorption d'eau, c'est ainsi que le rapport E/L sera minimale, donc peu de vides dans notre béton durci d'où une résistance maximale à la compression.

- On conclut que le béton BHP<sub>2</sub> présente la meilleure masse volumique à 28 jours à l'état durci.

- Le mélange de béton avec 40% gravier roulé fraction 3/8 et 60% gravier concassé 8/16, donne la meilleure résistance à la traction, on constate l'effet positif des fillers (pouzzolane) sur la résistance à la traction avec un pourcentage de 5%, au-delà de ce pourcentage la résistance diminue.

## **Conclusion Générale**

---

Enfin, d'après les informations dont on dispose, la plupart de nos entreprises de construction n'accordent aucun intérêt à l'utilisation des granulats roulés. Cela est dû, sans doute, à leurs ignorances des effets bénéfique de l'utilisation des granulats roulés dans le béton notamment sa résistance et par conséquent sa durabilité.

Pour remédier à ce problème, il faut déployer tous les efforts possibles et beaucoup d'énergie dans le domaine de l'information scientifique afin que les bonnes pratiques dans le domaine du bétonnage soient suivies et améliorer, en conséquence, la qualité du béton préparé dans notre pays.



Référence

## Référence Bibliographique

- [01] R. KETTAB. «Elaboration d'un béton a hautes performances».Ecole National Poly technique d'Alger (ENP), 1er Colloque Maghrébin en Génie Civil.
- [02] P-CLAUDE. AITCIN.« Bétons haute performance».Edition Eyrolles, Janvier 2001, INSB2-212-01323-X.Université deSherbrooke, Québec, Canada.
- [03] Pierre- Claude AITCIN, «La technologique des bétons à très haute résistance en Amérique de Nord», 1987, 20,180-189. Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- [4] Alaejos Gutierrez P. et Fernandez Canovas M., « The modulus of elasticity of high performance concrete », Materials and structures, vol. 28, n° 184, p. 559-568, 1995.
- [5] De Larrard F., « Formulation et propriétés des bétons à très hautes performances », Rapport de recherche LCPC, Paris, 1988, p. 335.
- [6] Domone P-L. and Soutsos M-N., « Proprieties of high strength concrete mixes containing PFA and ggbs », Magazine of concrete research, vol. 47, n° 173, p. 355-367, 1995.
- [7] Lang E. et Geiseler J., « Utilisation d'un laitier de hautsfourneaux à teneur importante en laitier » In : Fourth International Symposium on utilization of high-strength-high performance concrete, Paris, 1996, p.213-222.
- [8] De Larrard F., et Tondat P., « Sur la contribution de la topologie du squelette granulaire à la résistance en compression du béton », Materials and structures, vol. 26, p. 505-516, 1993.
- [9] NoumoweNchambou A., « Effet des hautes températures (200-600) sur les bétons : cas des bétons à hautes performances », ThèseDoct. Ing : INSA-Lyon, juin 1995, p.232.
- [10] Alaejos Gutierrez P. and Fernandez Canovas M., « High performance concrete : requirement for constitutive materials and mix proportioning », ACI Material journal, title n°93- M26, p. 233-241, May-June 1996.
- [11] Dreux G., « Nouveau guide du béton », E. Eyrolles, Paris, 1998.
- Aïtcin P-C., « Bétons haute performance », édition Eyrolles, 2001, ISBN 2-212-
- [12] 01323-X
- [13] Auperin M., Richard F. et al., « Retrait et fluage des bétons à hautes performances ». Annales.I.T.B.T.P, n° 474, mai 1989.
- [14] Bakker R., « Permeability of blended cement concrete », SP-79, ACI, 1983, Detroit, p.589- 605.

- [15] Torrent R-J et Jornet A., « The quality of the concrete of low-medium and high strength concretes », 1991, ACI SP-126, p. 1147-1161.
- [16] 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.
- [19] Le Roy R., « déformations instantanées et différées des bétons à hautes performances », Le béton hydraulique, LCPC, Paris, 1982, p. 343.
- [20] 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.
- [21] De Larrard F., « Prédiction des résistances en compression des bétons à hautes performances aux fumées de silice ou une nouvelle jeunesse pour la loi de Fétet », Annales I.T.B.T.P, n° 483, mai-1990.
- [22] Pedeches J-M., « Béton à hautes et très hautes performances : propriétés mécaniques et retrait. Aide à la formulation », Annales I.T.B.T.P, n° 525, série bétons 311, p. 1-41, 1994.
- [23] BAEL 91, « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton armé suivant les états limites », Bulletin officiel, fascicule n° 62, Titre 1, section I du CCTG.
- [24] BPEL 91, « Règles techniques de conception et de calcul des ouvrages et constructions en béton précontraint suivant les états limites », Bulletin officiel, fascicule n° 62, Titre 1, section II du CCTG.
- [25] Regourd M., « Hydratation du ciment Portland, dans le béton hydraulique », édité par J. Baron et R. Sautey, 1982, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, ISBN 2-85978-033-5, p. 193-221.
- [26] CIM béton. « Les bétons : formulation fabrication mise en oeuvre ». Tome 2, 134p.
- [27] H. GAHER. « Analyse de la résistance à la traction indirecte et du retrait des bétons à Haute performance ». Thèse de magister, USTHB, 2004.
- [28] Dron R. et Voinovitch I-A., « Activation hydraulique des laitiers, pouzzolanes et cendres volantes », Le béton hydraulique, l'ENPC, Paris, 1982, p. 237-246.
- [29] Komar A., « matériaux et éléments de construction », éd. Mir, Moscou, 1978.

- [30] Motureux B. et Harain H., « Comparaison de la réactivité de différentes pouzzolanes », 7<sup>ème</sup> Congrès International de Chimie des Ciments, vol. 3, p. 110-115, Paris, 1980.
- [31] Dreux.G. : Nouveaux guide du béton, Ed . Eyrolles, 1979, 154p
- [32] Emoto T, Bier T. A : Rheological behaviour as influenced by plasticizers and hydration kinetics, Cement and concrete research ,2007 ,647p.
- [33] Rixom M. R, Mailvaganam N. P : Chemical admixtures for concrete, E & F. N. Spon, Ed., London, 1986.
- [34] DUPAIN. R, LANCHON.R et SAINT-ARROMAN .J.C :Granulats, sols, ciments et bétons, éditionCasteilla 1995, 236p.
- [35] www. <http://fskb.ch/fr/beton/39>, «adjuvants-et-additions» ASGB - Association Suisse de l'industrie des Gravieret du Béton
- [36] CIM béton, Fiche technique édité par le centred'informationsur le ciment et ses applications « les adjuvants », Tome 3, Paris, 2008.

### Résumé :

L'opération de conception des structures en béton dans un premier temps dépend sur leur capacité portant.

Mais c'est le temps pour assurer la durabilité dans les différentes étapes de conception, exécution et maintenance.

L'utilisation des bétons à hautes performance considérer comme outil d'application de la durabilité et résistance des structures contre les conditions environnementales.

Les BHP sont des bétons qui reprendre tous les exigences de la performance mécanique et l'homogénéisation qui nécessite des matériaux spéciaux.

L'objectif de notre étude et de mixé deux types de granulats (roulé et concassé) avec des pourcentages 35, 40 et 45%, avec l'addition de pouzzolane avec 0, 5, 8 et 10%, et un superplastifiant de dosage fixe de 1.5% pour connaître la résistance d'un BHP et les pourcentages proportionnels pour comparer avec un BHP ordinaire.

**Mots clés :** Béton à haute performance, superplastifiant, propriétés physiques et mécaniques, conception.

### ملخص:

كانت عملية تصميم المنشآت الخرسانية إلى عهد قريب تعتمد بالدرجة الأولى على أساس قدرتها على مقاومة الأحمال، ولكن حان الوقت لتفعيل دور التوجه نحو الديمومة في مراحل البناء المختلفة وهي التصميم والتنفيذ والتشغيل والصيانة، استخدام الخرسانة عالية الأداء يعتبر من أهم طرق تفعيل التوجه نحو الديمومة ومقاومة المنشآت لعوامل الطبيعة والبيئة.

وقد عرفت الخرسانة عالية الأداء بأنها الخرسانة التي تعطي متطلبات خاصة في الأداء والتجانس والتي لا يمكن الحصول عليها دائما باستخدام المكونات العادية وطرق الخلط والمعالجة العادية.

ولذلك نسعى في دراستنا هاته إلى مزج نوع الحصى الدائرية بنسب 35 و 40 و 45% مع الحصى العادية مع إضافة pouzzolane بنسب 0, 8,5, 10% والمحسن super plastifiant بنسبة 1.5% وذلك لمعرفة قوة احتمال الخرسانة عالية الأداء وماهي النسب المناسبة ومقارنتها مع الخرسانة عالية الأداء العادية.

**كلمات مفتاحية :** خرسانة عالية الأداء - إضافة - خصائص فيزيائية وميكانيكية - تصميم .

### Abstract:

The operation of designing concrete structures initially depends on their bearing capacity.

However, this is the time to ensure sustainability in the various stages of design, execution and maintenance.

The use of high-performance concretes should be considered as a tool for applying the durability and resistance of structures against environmental conditions.

The HPC is concretes that meet all the requirement of mechanical performance and homogenization, which requires special materials.

The objective of our study was to combine between two type of aggregates (rolled and crushed) with percentage 35, 45, and 45% with the addition of Pouzzolane with 0,5,8 and 10 % and a superplasticizer of fixed dosage of 1.5% to know the resistance of HPC and the proportional percentage to compare with an ordinary HPC

**Keywords:** high-performance Concrete HPC, superplastizier, physical and mechanical properties, conception.