



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Ministère de l'enseignement supérieur
et de la recherche scientifique

Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Faculté de technologie



جامعة محمد بوضياف - المسيلة
Université Mohamed Boudiaf - M'sila

Département de GENIE CIVIL

MEMOIRE

Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : matériaux

THEME

**Confection d'un BHP avec
des granulats mixtes
(concassé et roulé)**

Dirigé par :
Dr.Zitouni Salim

Présenté par :
Toumi Hadjira

Promotion : 2016/2017.



Remerciement :

Je remerce en premier lieu ALLAH qui je a guidé ma vie et qui je ma aidé à traverser ce parcours.

Je remerce beaucoup mes chers parents, source de mon énergie dans la vie, base de ma réussite et mon appui dans tous les temps.

Je remerce mon encadreure le Dr M.ZITOUNI.

Je remercié encore mes professeurs qui ont contribués à mon apprentissage et à mon savoir depuis la première année primaire jusqu'en 2éme année master Génie Civil.

Je remercié ma famille, mes frères et mes sœurs de m'avoir encouragés et soutenus.

Je remercié mes chères amies et mes chers camarades pour m'avoir permis de passer cinq belles années à l'université.

Je remercié toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin à l'élaboration de ce travail.





Dédicace :

Je dédie ce modeste travail à :

Mes très chers parents, Brahim et Remadi Fatiha.

Mes frères, Abderrahmane ; Tayeb Lamine.

Mes sœurs Hayat ; Amel ; Hassina ; Safia.

*Et ma cher sœur mon jumeau spirituel Wahiba Allah yarhamha, qui j'ai
voulus être présent dans le jour le plus important de ma vie.*

Et les époux de mes sœurs, Abdenour ; Ahmad ; Adel.

Et mes nièces, Ilham ; Ikram ; Yasmine.

Et mes neveu, Khalil ; Ahmad.

Et l'épouse de mon frère Selma Yasmine.

Mon cher copain Lhadi Rabiaa.

Mes amies, B. Rafika ; B. Meriem ; M. Faiza ; H. Souad ; B. Zineb ;

B. Yamina ; B. Badra ; Z. Nassima ; L. Imen ; E. Louiza ; H. Sihem ;

T. Nedjma ; Maroua ; Semia ; Touta ; Safia.

Mes camarades du groupe Génie Matériaux 2017.



sommaire

Introduction Générale.....	1
Chapitre I : Revue Bibliographique	
I.1 Introduction.....	3
I.2 Les bétons à hautes performances.....	3
I.2.1 Définition des BHP.....	3
I.2.2 Avantages des BHP.....	3
I.2.3 Les constituants du BHP.....	4
I.2.4 Différents classes de BHP.....	5
I.2.5 Principes des BHP.....	5
I.2.6 Principaux domaines d'applications et principaux.....	6
I.3 Le ciments.....	6
I.3.1 Définition.....	6
I.3.1.2 Sélection du ciment.....	6
I.3.2 La fumée de silice.....	7
I.3.2.1 Les avantages de la fumée de silice.....	7
I.3.2.2 La sélection d'un super plastifiant pour les BHP.....	8
I.3.2.3 Différents types de super plastifiant.....	8
I.4 Propriétés physico-chimiques et mécaniques des BHP.....	8
I.5 Caractéristiques critiques.....	10
I.6 Choix du granulat.....	10
I.6.1 Les granulats.....	10

I.6.2	Forme et état de surface.....	10
I. 7	Les BHP spéciaux.....	10
I.8	Conclusion.....	12
 Chapitre II : Caractéristique Des Matériaux		
II.1	Introduction.....	14
II.2	Gravies.....	14
II.2.1	Gravier concassé.....	14
II.2.1.1	Origine de gravier.....	14
II.2.1.2	Classes granulaires.....	15
II.2.1.3	Résistance à la compression de la roche d'origine.....	15
II.2.2	Caractéristiques physiques du gravier utilisé.....	15
II.2.2.1	Masse volumique apparente.....	16
II.2.2.2	Masse volumique absolue.....	17
II.2.2.3	Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554.....	17
II.2.2.4	Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554.....	18
II.2.3	Analyse granulométrique.....	18
II.2.3.1	: Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8.....	19
II.2.3.2	Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés.....	19
II.2.4	Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.....	19
II.2.4.1	Principe de l'essai.....	20
II.2.4.2	Formulation.....	20
II.2.4.3	Classification.....	21
II.2.5	Caractéristiques chimiques des graviers concassés.....	21
II.3	Sable de dunes d'Oued souf et sable concassé.....	21
II.3.1	Origine du sable.....	21

II.3.2	Caractéristiques physiques des sables utilisés.....	21
II.3.2.1	Masse volumique (absolue) : NF P 18-555.....	23
II.3.2.2	Masse volumique apparente: NF P 18-554.....	23
II.3.2.2.1	Masse volumique apparente à l'état lâche.....	24
II.3.2.2.2	Masse volumique apparente à l'état compact.....	25
II.3.2.3	Porosité: (NF P 18-554).....	26
II.3.2.4	Compacité.....	26
II.3.2.5	L'indice des vides.....	27
II.3.2.6	Equivalent de sable: NF P 18-598.....	28
II.3.2.6.1	Equivalent de sable visuel (ESV).....	29
II.3.2.6.2	Equivalent de sable au piston (ESP).....	31
II.4	Teneur en eau : NF P 18-555.....	32
II.5	Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555.....	33
II.6	Analyse granulométrique: (NF P 18-560).....	36
III.7	Module de finesse.....	37
II.8	Ciment.....	37
II.8.1	Description.....	37
II.8.2	Le ciment le plus résistant du marché algérien.....	37
II.8.3	Parfaitement adapté à la préfabrication légère.....	37
II.8.4	Domaines d'application.....	38
II.8.5	Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé.....	39
II.9	L'adjuvant super plastifiant Le MEDAFLOW 30.....	39
II.9.1	Description.....	39
II.9.2	Propriétés.....	39
II.10	Dosage l'eau de gâchage.....	40

II.10.1	Caractéristique chimiques de l'eau utilisé.....	40
II.11	La fumée de silice.....	40
II.11.1	Description.....	40
II.11.2	Les caractéristiques de Fumée de s.....	41
 Chapitre III :Technique Exprementale		
III.1	Introduction.....	43
III.2	Essai sur le béton frais.....	43
III.3	Les essais sur le béton durc.....	44
III.3.1	Essai de compression (NF P 18-406).....	44
III.3.2	Essai de traction par flexion.....	46
III.4	Préparation du mélange et confection des éprouvettes.....	47
III.5	Conservation des éprouvettes.....	47
III.6	Masse volumique apparente des différent mélanges de gravier.....	48
III.7	Formulation d'un BHP.....	48
III.8	Point de saturation.....	50
III.9	Méthode du cône Marsh.....	51
III.10	Influence sur le moment d'addition du Super plastifiant dans le BHP.....	52
III.11	Calcul de la proportion des constituants.....	53
III.11.1	Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse.....	53
III.11.1.1	Données de base.....	53
III.11.1.2	Formulation du Béton témoin pour 1 (m³) de béton.....	53
III.11.1.3	Formulation de Béton pour 1 (m³) de béton (35% GR 3/8) et (65% GC 8/16).....	54
III.11.1.4	Formulation de Béton pour 1 (m³) de béton (40% GR 3/8) et (60% GC 8/16).....	54

III.11.1.5 Formulation de Béton pour 1 (m ³) de béton (45% GR 3/8) et (55% GC 8/16).....	54
III.12 Formulation des différents mélanges testés.....	54
III.12.1 Mélanges 1 (Gc 3/8, Gc 8/16) : (M ₁).....	54
III.12.2 Mélanges 2 (35% Gr 3/8, 65%Gc 8/16) : (M ₂).....	55
III.12.3 Mélanges 3 (40% Gr 3/8, 60%Gc 8/16) : (M ₃).....	55
III.12.4 Mélanges 4 (45% Gr 3/8, 55%Gc 8/16) : (M ₄).....	55
III.13 Conclusion.....	57
Chapitre IV : résultats et Analyse	
IV.1 Introduction.....	59
IV.2 Présentation des résultats:.....	59
Conclusion Générale.....	68

Liste Des Tableau

Tableau I.1- Les différentes classes de BHP.....	5
Tableau II.1 : Masse volumique apparente du gravier.....	16
Tableau II.2 Masse volumique absolue du gravier.....	16
Tableau II.3 Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.....	17
Tableau II.4 Degré d'absorption d'eau du gravier.....	17
Tableau II.5 Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8.....	18
Tableau II.6 analyse granulométrique du gravier concassé 8/16.....	18
Tableau II.7 Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....	20
Tableau II.8 Classification des roche en fonction du coefficient LA.....	20
Tableau II.9 Analyse chimique de la pierre concassée.....	21
Tableau II.10 Masse volumique absolue du sable d'Oued Souf.....	22
Tableau II.11 Masse volumique absolue du sable concassé.....	23
Tableau II.13 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.....	24
Tableau II.14 Masse volumique apparente du sable de Oued souf à l'état compact	24
Tableau II.15 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact	25
Tableau II.16 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable d'Oued souf	25
Tableau II.17 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable concassé	27
Tableau II.18 Equivalent du sable d'Oued Souf.....	27
Tableau II.19 Equivalent du sable concassé.....	29

Tableau II.20 Comparaison des résultats.....	30
Tableau II.21 Teneur en eau du sable d'Oued souf.....	31
Tableau II.22 Teneur en eau du sable concasse.....	32
Tableau II.23 Degré d'absorption du sable d'Oued souf.....	32
Tableau II.24 Degré d'absorption du sable concasse.....	32
Tableau II.25 Analyse granulométrique du sable d'Oued souf.....	34
Tableau II.26 Analyse granulométrique du sable concassé.....	35
Tableau II.27 Caractéristiques du CPJ.....	38
Tableau II.28 Caractéristiques chimiques du CPJ.....	38
Tableau II.30 Caractéristique Chimique D'eau.....	40
Tableau II.32 Caractéristique de la fumée de silice.....	41
Tableau III.1 Masse volumique apparent des différents mélanges de gravier	48
Tableau III.2 Données de bases pour la formulation.....	53
Tableau III.3 Tableau récapitulatif.....	56
IV.1 type de béton.....	59
Tableau IV.2 Résultats de B t.....	60
Tableau IV.3 Résultats du BG1.....	61
Tableau IV.4 Résultats du BG2.....	62
Tableau IV.5 Résultats de BG3.....	

Liste Des Figure

Fig II.1 Les tamis.....	15
Figure II.2 de l'essai Los Angeles.....	19
Figure II.3 Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.....	22
Figure II.4 L'essai l'équivalent de sable.....	30
Figure II.5 La courbe granulométrique du sable (0/5) (Sable de dunes et sable concasse).....	35
Fig II.6 La fumée de silice.....	41
Fig III.1 cone d'abrams.....	43
Fig III.2 Press hydraulique de compression.....	45
Figure III.3 Formule de calcul de la résistance de traction.....	46
Fig III.4 Malaxeur.....	47
Fig III.5 Détermination du temps d'écoulement au cône de Marsh.....	49
Fig III.6 La rhéopompe.....	50
Fig III.7 Temps d'écoulement en fonction du dosage en superplastifiants.....	51
IV.1 les valeurs de l'affaissement.....	64
Fig IV.2 La variation de RC 35% GR.....	64
Fig IV.3 Varriation de la masse volumique 35%GR.....	65
Fig IV.4 Varriation de RC 40% GR.....	65
Fig IV.5 Varriation de la masse volumique 40% GR.....	66
Fig IV.6 Varriation de RC 45% GR.....	66
Fig IV.7 Les valeirs de l'affaissement 45% GR.....	67
Fig IV.8 Varroation de la masse volumique 45% GR.....	67

Introduction générale

Les Bétons à Hautes Performances (BHP), sont des matériaux à très haute compacité et haute résistance. Elle est de l'ordre plus de 100 MPA pour les bétons à très hautes performances, voire plus (150 à 200 MPA pour des bétons fibrés à ultra hautes performances, BFUP. Hautes performances signifient aussi facilité de mise en œuvre et souplesse d'adaptation aux contraintes d'exécution des ouvrages. Les BHP a une porosité extrêmement réduite, plus résistants aux agents agressifs et, de façon générale, présentent une durabilité accrue.

Le béton à haute performance a acquis ses lettres de noblesse en étant perçu comme un nouveau type de béton ce béton qui ne peut être produit n'importe comment ni par n'importe qui est très surprenant tant ses performances et ses possibilités d'applications sont vastes c'est un matériau de haute technologie la résistance à la compression d'un tel béton peut atteindre des valeurs supérieures à 100 MPA et dans les rares cas 120 mA à 150 MPA, selon la nature du granulat et sont dosage en ciment.

En plus de conserver la polyvalence du béton ordinaire, les BHP ont atteint la résistance et la durabilité de bien des roches naturelles, mais une roche dont on peut maîtriser la forme et une roche qui demeure fluide suffisamment de temps pour que l'on puisse la mouler dans des coffrages complexes, une roche qui peut être facilement renforcée par des armatures d'acier ou de matériaux composites, une roche qui peut être pré ou post-contrainte avec des câbles d'acier ou dans laquelle on peut introduire toutes sortes de fibre. Ce matériau existe, il revient aux ingénieurs de l'utiliser le plus efficacement possible.

Objectif:

L'objectif de notre travail consisté l'élaboration d'une formulation pour un béton à haute performance en utilisant nos granulats locaux disponibles dans la région de M'silla, sans les traiter, avec les ajouts et les adjuvants locaux et avec nos simples moyens :

- 1- Est-ce qu'on peut obtenir un béton à ultra haute performance?
- 2- Et combien on aura comme résistance mécanique au jeune âge et à 28 jours?

Structure du mémoire.

Ce présent mémoire est composé de quatre chapitres qui sont:

Introduction Générale.

I. Revue Bibliographique.

II. Caractéristiques des Matériaux Utilisés.

III. Technique Expérimentale.

IV. Résultats et Analyses.

CHAPITRE I

Revue Bibliographique

I.1 Introduction

Le béton, est un matériau de construction reconstituant artificiellement la roche, composé de granulats, de sable, de ciment, d'eau et éventuellement d'adjuvants pour améliorer les propriétés physiques et mécaniques dépendent de sa composition et de facteurs extérieurs, tels que la température. [1]

Et selon ses caractéristiques et ses propriétés, les bétons se différencient entre eux. Il y a les bétons ordinaires ou usuels et les bétons spéciaux qui chacun a une propriété spéciale. Les bétons spéciaux sont les suivants:

- ✓ les bétons à base de résines
- ✓ les bétons moulés dans le sol
- ✓ les bétons réfractaires
- ✓ les bétons caverneux
- ✓ les bétons à hautes performances.

Ce dernier fait l'objet de notre mémoire de fin d'étude.

I.2 Les bétons à hautes performances :

I.2.1 Définition des BHP :

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

- Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 50 MPA sur cylindre ;
- Un rapport Eau efficace/liant équivalent inférieur à 0,4.

Ils présentent une structure très dense, une faible porosité et une très bonne résistance à la pénétration d'agents agressifs. [7]

I.2.2 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

- ✓ La conception des structures plus minces grâce à l'augmentation des caractéristiques mécaniques (compression, traction, module d'élasticité) tant au jeune âge qu'à terme, Cependant les propriétés améliorées des bétons à hautes performances ne peuvent être obtenues que grâce à plusieurs dispositions simultanées comme :
- ✓ Les granulats qui doivent être de bonne qualité, la résistance du béton pouvant être limitée par celle des granulats eux-mêmes,
- ✓ L'emploi d'adjuvants spécifiques, notamment des super plastifiants réducteurs d'eau ainsi que des ajouts minéraux tels que la cendre volante, le laitier du haut fourneau, la fumée de silice.... etc.,
- ✓ L'emploi de ciments de classe élevée à des dosages compris entre 400 et 550 kg/m³. L'utilisation du béton à hautes performances progresse constamment dans le domaine de construction et le nombre d'édifices en béton à hautes performances ne cesse d'augmenter car les concepteurs et les maîtres d'œuvre réalisent la valeur et la durabilité de ce béton. [2]

I.2.3 Les constituants du BHP :

Les bétons à haute performance sont constitués de liant, d'agrégats, d'eau et de super plastifiant. Le liant peut être un ciment seul ou un ciment plus un ajout cimentaire comme la Fumée de silice, pouzzolane ou le laitier.

Lorsque l'on choisit les matériaux pour fabriquer un BHP, certains choix sont plus critiques que d'autres. Ainsi, on commencera par considérer la sélection du ciment portland même dans le cas où d'autres ajouts cimentaire sont utilisés en conjonction avec le ciment portland. La sélection se poursuit par celle du super plastifiant puisque l'expérience démontre que l'on doit d'abord optimiser la combinaison ciment- super plastifiant. [19]

Dans certaines régions, à l'heure actuelle, la performance des granulats constitue le facteur qui limite la résistance à la compression des BHP, par exemple à Sherbrooke en utilisant les granulats locaux il est impossible de fabriquer un béton de plus de 100 MPA. Dans ces cas, pour des raisons économiques, la résistance à la compression du béton peut ne pas toujours être augmentée autant qu'on le désire. [1]

I.2.4 Différents classes de BHP:

La division des BHP en cinq classes n'est pas aussi arbitraire qu'elle peut le paraître à première vue, mais elle dérive plutôt de l'état actuel des connaissances. Les BHP sont divisés en cinq grandes catégories correspondant chacun à une plage de résistance de 25 MPA. [1]

Le tableau suivante les différent classes du classes du BHP :

<i>Résistance à la compression</i>	<i>50</i>	<i>75</i>	<i>100</i>	<i>125</i>	<i>150</i>
<i>Classes des BHP</i>	<i>Classes I</i>	<i>Classes II</i>	<i>Classes III</i>	<i>Classes VI</i>	<i>Classes V</i>

Tableau I.1- Les différentes classes de BHP.

I.2.5 Principaux domaines d'applications et principaux: [8]

- ✓ Ponts routiers
- ✓ Tunnels et travaux souterrains
- ✓ Préfabrication
- ✓ Ouvrage en site maritime
- ✓ Les chaussées rigides

I.3 Le ciments:

I.3.1 Définition:

Les ciments usuels sont aussi appelés liants hydrauliques car ils ont la propriété de s'hydrater en présence d'eau et parce que cette hydratation transforme la pâte liante, qui a une consistance de départ plus ou moins fluide, en un pratiquement insoluble dans l'eau. [12]

I.3.1 Sélection du ciment:

Le premier choix sur lequel il faut s'attarder lorsqu'on veut fabriquer un BHP est celui du ciment, même lorsque l'on utilisera d'autres ajouts cimentaires parce que la performance du ciment en termes de rhéologie et de résistance devient critique au fur et à mesure qu'augmente la résistance à la compression visée. [2]

Le premier point à évaluer est la finesse optimale du ciment que l'on veut utiliser pour fabriquer un BHP. On fait, face ici à des exigences conflictuelles. En ce qui concerne la résistance. Il se formera très rapidement à la fois plus d'étrangité et plus de C-S-H à la surface des grains de ciment, ce qui nuira au maintien de la rhéologie initial. Enfin, plus un ciment est fin, plus les risques de fissuration dus au retrait seront grands. [19]

Le deuxième point est la teneur en C3A est faible, plus le contrôle de la rhéologie est facile. Ainsi, lorsque l'on recherche un ciment facile à utiliser pour fabriquer un BHP, il est bon commencé par choisir un ciment qui contient aussi peu de C3A. Du point de vue de la résistance, ce ciment n'a pas à être broyé finement et à contenir une quantité de C3S pour garantir une bonne rhéologie. Les ciments de type II et V sont satisfaisants en termes de C3A, mais en générale,

ils ne sont pas broyés assez finement et leur teneur en C3S est faible, de façon à limiter la quantité de chaleur d'hydratation. [5]

I.3.2 La fumée de silice:

La fumée de silice est un produit minéral amorphe obtenu essentiellement lors de la fabrication du silicium et de ses alliages. Le silicium est obtenu par réduction du quartz en présence de carbone à 2 000 °C dans des fours à arc électrique. Les fumées contiennent du monoxyde gazeux (SiO) qui s'oxyde et se condense en particules vitrifiées amorphes extrêmement fines. Ces particules sont lisses et sphériques (100 000 billes de fumées recouvrent entièrement un grain de ciment). Leur couleur est le plus souvent gris clair.

I.3.2.1 Les avantages de la fumée de silice:

A. Bétons à l'état frais [17]

- Réduction de :
 - ✓ La ségrégation
 - ✓ La chaleur d'hydratation
 - ✓ L'exsudation
- Amélioration de :
 - ✓ L'adhésion
 - ✓ La cohésion

B. Bétons à l'état durci [17]

- Amélioration des résistances mécaniques
- Amélioration significative de :
 - ✓ La résistance aux attaques chimiques, aux sulfates, aux chlorures
 - ✓ La corrosion des armatures
 - ✓ La résistance aux cycles de gel/dégel

➤ Réduction significative de :

- ✓ Porosité et perméabilité
- ✓ Carbonatation
- ✓ Résistance à l'abrasion

➤ Prévention du risque :

- ✓ D'alcali-réaction

- ✓ Homogénéisation de la teinte des parements. [17]

I.3.2.2 La sélection d'un super plastifiant pour les BHP:

La sélection d'un super plastifiant efficace est aussi cruciale que celle d'un ciment quand on veut fabriquer des BHP parce que tous les types et toutes les marques de super plastifiant ne réagissent pas de la même façon avec tout le ciment.

L'expérience démontre que tous les super plastifiants commerciaux n'ont pas la même efficacité pour disperser les particules de ciment à l'intérieur d'un béton en réduisant la quantité d'eau de gâchage et en contrôlant la rhéologie des bétons de très faible rapport eau/liant durant la première heure qui suit le contact entre le ciment et l'eau. [9]

I.4 Propriétés physico-chimiques et mécaniques des BHP:

Les diverses propriétés des BHP découlent de leur faible porosité, gage de durabilité

Résistances mécaniques : Les BHP présentent des résistances en compression importantes aux jeunes âges, compte tenu de la rapidité de la cinétique de montée en résistance, et très élevées à long terme (avec une montée en résistance se poursuivant au-delà de 28 jours). Un BHP de 60 MPA à 28 jours peut offrir des résistances mécaniques de 15 MPA à 24 heures, voire davantage, et 40 MPA à 7 jours. Le gain est aussi important en termes de résistance en traction ou au cisaillement. [18]

Module d'élasticité: Le module d'élasticité des BHP est supérieur à celui des bétons ordinaire environ de 45 MPA.

Retrait: Le retrait total du BHP est globalement identique à celui d'un béton traditionnel mais avec une cinétique différente (il se produit plus tôt et se développe principalement pendant les premiers jours après le coulage). Le retrait de dessiccation à l'état durci est plus faible compte tenu du faible dosage en eau. Le retrait endogène (ou d'autodéshydratation)

Compte tenu de la finesse de la microstructure et de la forte réduction du rapport E/C, est

d'un coefficient plus élevé (150 à 250 x 10⁻⁶) pour un BHP que pour un béton traditionnel (60

x 10⁻⁶). Le retrait d'autodéshydratation est d'autant plus précoce et élevé que le rapport E/C est faible. [3]

Autres propriétés des BHP:

- **Fluage**: Les BHP présentent un fluage (déformation différée sous chargement permanent) plus faible que les bétons traditionnels.
- **Imperméabilité**: Leur faible porosité capillaire confère aux BHP une très faible perméabilité
- **Résistance aux agents agressifs**: La faible perméabilité des BHP leur confère une bonne résistance à la pénétration et au transfert dans la masse du béton des agents agressifs en phase gazeuse ou liquide (eaux de mer, eaux sulfatées, solutions acides, dioxyde de carbone, etc.).
- **Migration des ions chlorure**: La résistance des BHP à la migration des ions chlorures est supérieure à celle des bétons courants, grâce à sa microstructure plus dense.
- **Tenue aux attaques gel/dégel**: Les BHP, correctement formulés, résistent aux cycles gel/dégel grâce à leur forte compacité et à leur résistance mécanique élevée.
- **Carbonatation**: De nombreuses études ont démontré que la durabilité des BHP vis-à-vis de la carbonatation est très nettement supérieure à celle d'un béton traditionnel

I.5 Caractéristiques critiques : [15]

- ✓ Facilité de mise en place
- ✓ Consolidation sans ségrégation
- ✓ Résistance au jeune âge
- ✓ Résistance à long terme et propriétés mécaniques
- ✓ Perméabilité
- ✓ Chaleur d'hydratation
- ✓ Stabilité volumétrique
- ✓ durabilité

I.6 Choix du granulat : [6]

- Choix de granulat devient de plus en plus critique au fur à mesure que f_c augmente
- Facile de fabriquer un béton avec des granulats pour avoir 30 MPa à 50 MPa et de 70 MPa (granulat propre et une granulométrie continue)
- Recommander d'utiliser des granulats concassés ayant une forme cubique ou graviers fluvio
- Glaciaire (arrondis et rugueux et très propre)
- Préférable de choisir un granulat provenant des roches dures à grains fins et peu de plans de clivage.
- Technologie du béton.

I.6.1 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.6.2 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 granulat 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.7 Les BHP spéciaux:

- Les BHP à air entraîné
- Les BHP légers
- Les BHP lourds
- Les BHP renforcés de fibres
- Les BHP confinés
- Les BHP compacités au rouleau

Il est certain que dans le future, d'autre BHP spécieux seront développés pour remplir des besoins technologiques particuliers. Il y'a que l'imagination des ingénieurs et le cout qui vont déterminer jusqu'à quel point on pourra développer de nouvelles de nouvelles utilisations de BHP spécieux. [10]

I.8 Conclusion

Bien que les différents caractéristiques des BHP offrent plusieurs avantages par rapport aux bétons usuels, il y a encore place à l'amélioration, les BHP, comme tous les autres matériaux, ont encore des points faibles. En outre, il existe et il va toujours exister de nombreux cas où un béton de 20 à 30 MPa sera le béton idéal pour répondre à des besoins particuliers : le développement des BHP n'éliminera pas l'utilisation des bétons usuels

CHAPITRE II
CARACTERISATION DES MATERIAUX
UTILISES

II.1 Introduction

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

Le choix des matériaux s'est porté, tout d'abord, sur leur disponibilité dans la région de M'SILA

Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER).
- ✓ Gravier roulée (Oued Souf).
- ✓ Le sable fin de la région de (Oued Souf).
- ✓ Le sable concassé de carrière (COSIDER).
- ✓ Le ciment CEM de la cimenterie ACC de Hammam Dhalàa.
- ✓ L'eau potable du laboratoire.

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 GR 8/16
- ✓ Fraction GR 3/8

II.2.1.3 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 g /Cm².

II.2.2 Caractéristiques physiques du gravier utilisé:

II.2.2.1 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:

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V}$$

Où :

- V : Volume du récipient.
- M_1 : Le poids du récipient à l'état vide.
- M_2 : Le poids du récipient plein de gravier.



Fig II.1 Les tamis

	N° d'essai	M (kg)	M ₂ (kg)	V (L)	ρ_{moy} (kg/L)
GR 3/8	1	2.92	12.6	7	1.38
	2	2.92	12.608	7	
	3	2.92	12.694	7	
GC 8/16	1	3.466	17.40	10	1.37
	2	3.466	17.24	10	
	3	3.466	17.12	10	

Tableau II.1 : Masse volumique apparente du gravier

II.2.2.2 Masse volumique absolue :

	N° d'essai	M (g)	Ve (cm ³)	V1(g)	ρ_{moy} (g/cm ³)
GR 3/8	1	300	300	430	2.5
	2	300	300	440	
GC 8/16	1	300	300	420	2.61
	2	300	300	410	

Tableau II.2 Masse volumique absolue du gravier

.2.2.3 Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554.

On calcule la porosité selon la formule :

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = \left(\rho_a / \rho_{ab} \right) = 100 - P \quad (\%)$$

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

$$e = \frac{P}{(100 - P)}$$

Fraction de gravie	Porosité (%)	Compacité (%)	P'indice de vide %
GR 3/8	37.27	62.73	0.59
GC 8/16	47.50	52.5	0.9

Tableau II.3 Porosité, Compacité Et Indice Des Vides

II.2.2.4 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554

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

Tableau II.4 Degré d'absorption d'eau du gravier

II.2.3 Analyse granulométrique:

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

II.2.3.1 : Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8 :**A)- Fraction GR 3/8 (1.6 Kg)**

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

Tableau II.5 Analyse granulométrique du gravier roulé 3/8

B)- Fraction GC 8/16 (1.6 Kg)

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

Tableau II.6 analyse granulométrique du gravier concassé 8/16

II.2.3.2 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.2.4 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

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



Figure II.2 l'essai Los Angeles

II.2.4.1 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.

II.2.4.2 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) :

$$L_A = \left(\frac{m}{M} \right) * 100$$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant:

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

Tableau II.7 Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé

II.2.4.3 Classification:

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

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 tender

Tableau II.8 Classification des roche en fonction du coefficient LA

Commentaire:

- ◆ Le gravier roulé (3/8) :c'est un gravier très dure (LA=19.08 %) / (LA < 20),
- ◆ Le gravier concassé (8/16) :c'est un gravier dure (LA = 23.26%) / (20 < LA<25),

II.2.5 Caractéristiques chimiques des graviers concassés:

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

ELEMENT	S_iO_2	AL_2O_3	C_aO	Fe_2O_3	M_gO	SO_3	K_2O	$N_{A_2}O$
Teneur (%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

Tableau II.9 Analyse chimique de la pierre concassée**II.3 Sable de dunes d'Oued souf et sable concassé:****II.3.1 Origine du sable :**

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

Et le sable concassé de carrière située à 25 Km de M'silla, en allant vers B.B.A (COSIDER)

II.3.2 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.3.2.1 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^{ème}** 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 :

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

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

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

$$V_1 = V - 300 (\text{ml})$$

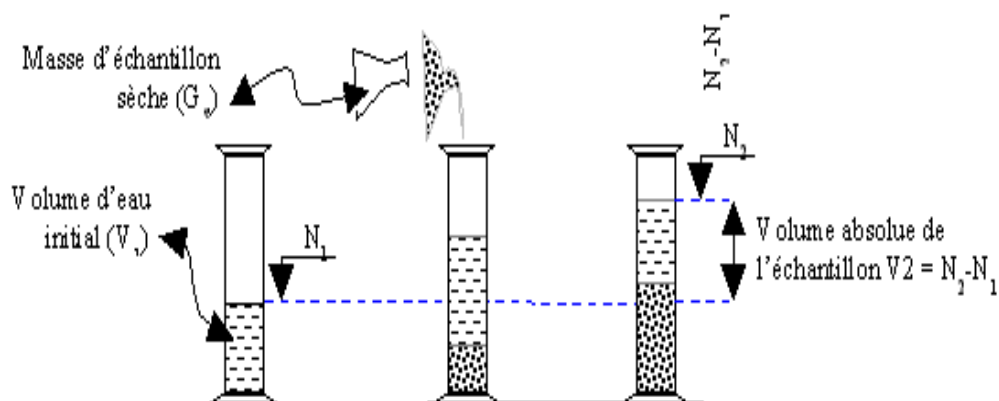


Figure II.3 Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau

Résultats obtenus:

<i>N° d'essai</i>	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.10 Masse volumique absolue du sable d'Oued Souf

<i>N° d'essai</i>	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	

Tableau II.11 Masse volumique absolue du sable concassé

II.3.2.2 Masse volumique apparente: NF P 18-554

II.3.2.2.1 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 :

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

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moyenne}$ (g/cm ³)
01	114	1535.22	1.57	1.566
02	114	1523.35	1,56	
03	114	1527.13	1.57	

Tableaux II.12 Masse volumique apparente du sable d'Oued Souf à l'état lâche

N° d'essai	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moyenne}$ (g/cm ³)
01	114	1261	1.14	1.2
02	114	1284	1.3	
03	114	1312	1.33	

Tableau II.13 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche

II.3.2.2.2 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 :

Où:

M_1 : Masse du récipient à vide.

M_2 : Masse du récipient plus le sable.

V_r : Volume du récipient.

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm ³)
01	114	1629	1,68	1,713
02	114	1673	1,73	
03	114	1668	1.72	

Tableau II.14 Masse volumique apparente du sable de Oued souf à l'état compact

N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	ρ_{app} (g/cm ³)	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm ³)
01	114	1384	1.4	1.39
02	114	1356	1.38	
03	114	1378	1.4	

Tableau II.15 Masse volumique apparente du sable concassé à l'état compact.

II.3.2.3 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:

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

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.3.2.4 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:

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - p$$

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.3.2.5 L'indice des vides:

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

$$e = Vv/Vs = P / (100 - P).$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable d'Oued souf :

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

Pour le sable de concassé:

- 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:

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.16 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
47.75	45.27	52.25	54.25	0.91	0.82

Tableau II.17 La porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable concassé

II.3.2.6 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^{ème}** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

II.3.2.6.1 Equivalent de sable visuel (ESV) :

- ❖ Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieure du floculant 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.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 \text{ [\%]}$$

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

II 3.2.6.2 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.

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 \text{ [\%]}$$

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

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

Tableau II.18 Equivalent du sable d'Oued Souf

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

Tableau II.19 Equivalent du sable concassé

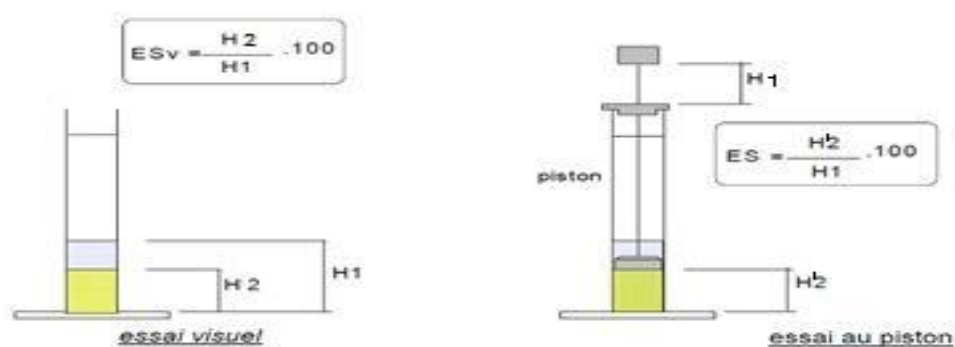


Figure II.4 L'essai l'équivalent de sable.

$(ESV)_{moye} = 86.28 \%$

$(ESP)_{moye} = 83.31\%$

Donc : $ESV > 85\%$ $ESP > 80\%$.

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≤ES≤85	70≤ES≤80	Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.
E.S ≥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.

Tableau II.20 Comparaison des résultats

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 concassé C'est un Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité. [2]

II.4 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 :

$$W = \left(\frac{M_h - M_s}{M_h} \right) * 100[\%]$$

Où :

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

<i>N° d'essai</i>	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.21 Teneur en eau du sable d'Oued souf

<i>N° d'essai</i>	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	

Tableau II.22 Teneur en eau du sable concasse.

II.5 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.

$$A = \left(\frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%]$$

Où:

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

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.23 Degré d'absorption du sable d'Oued souf

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	

Tabl
eau
II.24
Deg
ré

d'absorption du sable concasse

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 $A_b < 5\%$. 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.

II.6 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 fraction du 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 ($R_2=R_1$ +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:

$$T = 100 - R_c$$

Où: - T: Tamisât en %

- R_c : Refus cumulés en %

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(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

Tableau II.25 Analyse granulométrique du sable d'Oued souf

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(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

Tableau II.26 Analyse granulométrique du sable concassé

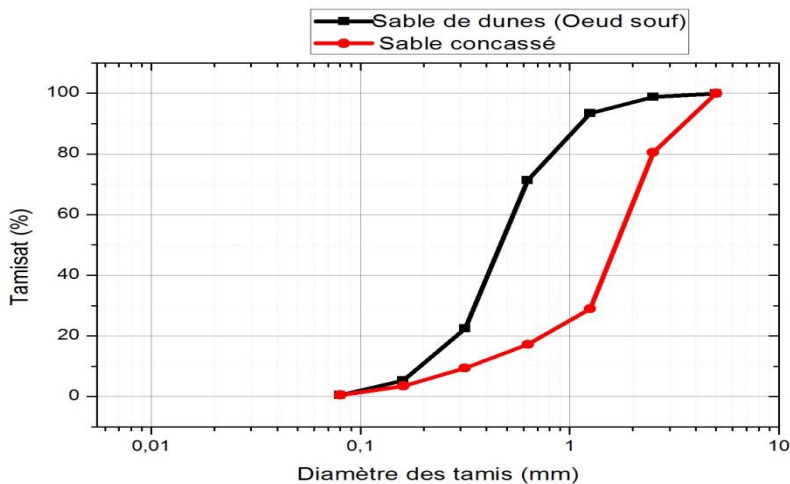


Figure II.5 La courbe granulométrique du sable (0/5)

(Sable de dunes et sable concasse)

Commentaire:

$ES_{moy} = 83.81\%$

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

$ES_{moy} = 74.92\%$

- Le sable concassé 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.7 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:

$$M_f = \sum \frac{R_c}{100}$$

Où: R_c : Refus cumulé.

Et le refus dont le tamis **0,16 = 74.02**

Pour le sable d'Oued souf: $M_f = 1.85$.

Pour le sable concassé: $M_f = 1.96$.

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 de 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 fin**

II.8 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.8.1 Description:

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

II.8.2 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.8.3 Parfaitement adapté à la préfabrication légère :

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

II.8.4 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. [11]

II.8.5 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé:

Les caractéristiques du CEM II sont regroupées dans le tableau suivant:

	Unités	Valeur
Masse volumique absolue	g/cm ³	3,12
Consistance normale	%	25 – 31
La finesse (Blaine)	cm ³ /g	3500 – 4500

Temps de prise	Début	Heur : min	100-170
	Fin		150-250
Résistance à la compression	2 jours	MPa	20
	28 jours		Plus de 52.5

Tableau II.27 Caractéristiques du CEM II**Analyses chimiques du ciment utilisé**

CIMENT	VALEUR
Perte ou feu (%) (NA 5042)	5.0-9.0
Teneur en sulfates (SO₃) (%)	2.5-3.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	Max 4.0
Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	Max 0.1

Tableau II.28 Caractéristiques chimiques du CEM II**II.9 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.9.1 Description

Le MEDAFLOW 30 est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de poly carboxylates 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.9.2 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

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.10 Dosage l'eau de gâchage:

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de département de génie civil.

II.10.1 Caractéristique chimiques de l'eau utilisé:

Le mesure	Teneur en (mg/L)
Degré de temperature d'échantillon	23.8

Ph	7.80
Conductibilité	1799
Chlore Cl-	235.4
Sulfate So4-	351.60
Magnésium Mg2+	110.9
Sodium Na+	/
Calcium Ca+	267.1
Sédiment sec	1413
Rééligibilité d'oxydation en eau	1024

Tableau II.30 Caractéristique Chimique D'eau.

II.11 La fumée de silice:

II.11.1 Description:

La Fumée de silice ou le MEDAPLAST HP est un ajout à base de micro silice en poudre pour la confection des bétons à haute performances, il permet:

- ✓ D'obtenir des bétons durables à résistance mécaniques élevées.
- ✓ D'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques.

La Fumée de silice est utilisée dans:

- ✓ Les bétons à haute performances.
- ✓ Les autoroutes et les pistes d'aéroport.
- ✓ Les bétons soumis aux chocs.
- ✓ Les silos et les sols industriels.

II.11.2 Les caractéristiques de Fumée de silice:

Nature	Couleur	Densité apparente	Densité absolue	Finesse

Poudre	Grise	0.5	2.2	15 m ² /g

Tableau II.32 Caractéristique de la fumée de silice.



Fig II.6 La fumée de silice

CHAPITRE III
Techniques Expérimentales

III.1 Introduction

La formulation d'un BHP est tout autant un art qu'une science à l'heure actuelle. Il est en effet difficile de formuler un BHP en connaissant que la fiche technique des matériaux qui le composent. En effet plusieurs combinaisons des mêmes matériaux permettent d'obtenir une résistance à 28 jours donnée. [1]

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.



Fig III.1 Malaxeur.

III.2 Essai sur le béton frais:

Avant d'être un matériau présentant les qualités mécaniques d'un solide, le béton a été mis en place dans des coffrages. Cette opération doit pouvoir se faire avec le maximum de facilité. On dira qu'un béton est d'autant plus maniable ou ouvrable qu'il est d'autant plus aisé de le mettre en place dans les coffrages. [2]

Essai d'affaissement au cône d'Abrams NF 18-451 :[2]

C'est une méthode simple et pratique pour l'obtention d'une mesure relative de la fluidité d'une pâte, cette mesure est inversement proportionnelle au temps d'écoulement, en mesurant le temps que prend un certain volume de pâte pour s'écouler du cône à travers une petite ouverture ; la pâte présentant le plus long temps d'écoulement est la pâte moins fluide.

Objectif de l'essai :

Le but de l'essai de cône d'Abrams et de tous les essais de consistance est de quantifier la maniabilité du béton qui est une qualité évolutive dans le temps.

Principe de l'essai :

Il s'agit de constater l'affaissement d'un cône de béton sous l'effort de son propre poids. Plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide.



Fig III.2 cône d'abrams.

III.3 Les essais sur le béton durci :

Le béton mis en place dans un ouvrage subit un autre mode de conservation que celui des éprouvettes conservées dans chambre humide. Les caractéristiques du béton de l'ouvrage ne seront donc pas les mêmes que celle des éprouvettes.

III.3.1 Essai de compression (NF P 18-406) :

Objectif de l'essai :

L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression du béton de l'éprouvette.

Principe de l'essai :

L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section de l'éprouvette.



Fig III.3 Press hydraulique de compression.

L'essai de compression est le plus couramment pratiqué. Il s'effectue sur des éprouvettes cylindriques de différentes dimensions ou sur des cubes. Pour nos essais la mesure de la résistance à la compression a été effectuée sur des éprouvettes cylindriques (16×32) cm. L'éprouvette est placée et centrée entre les deux plateaux de la presse puis chargée progressivement jusqu'à la rupture. À l'aide d'une presse de capacité de 3500 KN.

- 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'élançement de 2. ($H = 2 \varnothing$) ou éprouvette cubique $10 \times 10 \times 10$. Les dimensions les plus utilisées sont : $H = 32$ cm $\varnothing = 16$ cm.
- 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.

Conduite de l'essai :

- Le temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse qui permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cylindre de béton.
- L'éprouvette 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^2 .

❖ F : force au moment de la rupture.

III.3.2 Essai de traction par flexion:

Objectif de l'essai:

L'essai a pour but de connaître la résistance à la traction du béton de l'éprouvette et donc sa résistance à la fissuration.

Principe de l'essai:

C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur 4a.

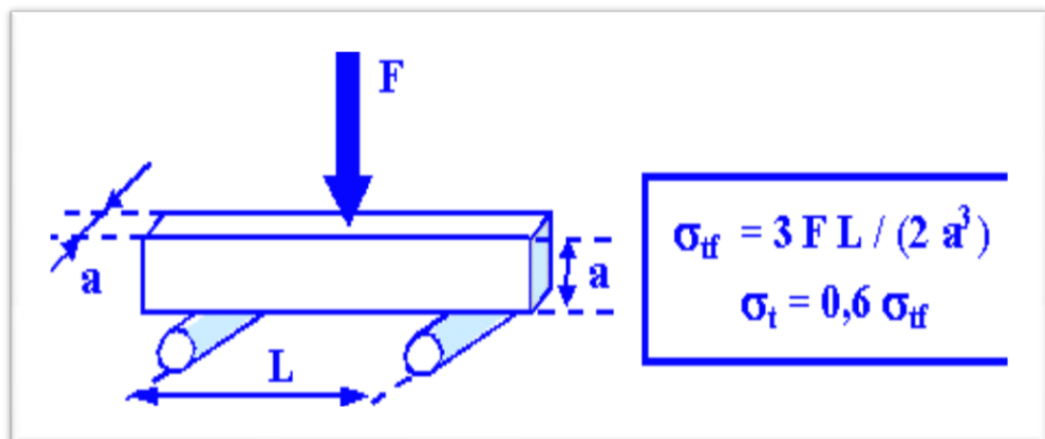


Figure III.4 Formule de calcul de la résistance de traction

III.4 Préparation du mélange et confection des éprouvettes:

On résumer la méthode d'obtention notre béton comme suit:

- ✓ Verser le gravier, le sable, et le ciment dans le malaxeur (un malaxeur à axe verticale tournant).
- ✓ On fait le malaxage à sec pendant une minute.
- ✓ Introduire 50% de la quantité d'eau.
- ✓ Introduire l'adjuvant et malaxer pendant 3 minutes.

- ✓ Introduire une quantité d'eau jusqu'on obtient un cône d'Abrams.
- ✓ On remplit les moules, puis on vibre le béton avec l'aiguille vibrante pour dégager les bulles d'air.
- ✓ On arase la surface du notre béton à l'aide d'une règle, ensuit les éprouvettes conservées à l'air 24 heures.

III.5 Conservation des éprouvettes :

Après 24h de la confection des éprouvettes et après le décoffrage en les conservées dans :

- L'eau jusqu'au jour d'essais (7, 14, 28 jrs) à la température ambiante.
- Un milieu agressif jusqu'au jour de l'essai (7, 14, 28jrs) à la température ambiante.

III.6 Masse volumique apparente des différent 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.

Pourcentages de Graviers	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	43.0	42.89

Tableau III.1 Masse volumique apparent des différents mélanges de gravier

III.7 Formulation d'un BHP :

Il y'a plusieurs méthodes de formulation de BHP.

- La méthode sidérée par le comité ACI 363.
- La méthode des coulis du LCPC.
- La méthode simplifiée de Malta et Aitcin.

- La méthode de l'université de Sherbrooke.

Nous avons utilisé la méthode Sherbrooke dans notre sujet de recherche. [11]

La méthode de l'université de Sherbrooke :

La méthode de formulation développée à l'Université de Sherbrooke permet de formuler un BHP sans air entraîné ; elle peut aussi être utilisée pour formuler un BHP à air entraîné à condition de tenir compte de la réduction de la résistance à la compression due à la présence du réseau de bulles d'air contenu dans le béton. Cette méthode très simple suit la même approche que la norme ACI 211-1. La quantité d'eau contenue dans le Super plastifiant est considérée comme faisant partie de la quantité d'eau du gâchage. La procédure de formulation commence par le choix de quatre caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés : [11]

- 1- Le rapport eau/liant
- 2- Le dosage en eau
- 3- Le dosage en Super plastifiant
- 4- Le dosage en additions minérales (fines).
- 5- Le dosage en gros granulats.
- 6- La teneur en eau.

Rapport E/L :

On peut trouver le rapport eau/liant à partir de (Figure III.5) pour des bétons ayant une résistance à la compression donnée à 28 jours. Le fuseau de la (Figure III.5) donne une gamme relativement étendue de rapport eau/ciment pour une résistance donnée.[1]

Dans ce cas nous avons fixé le rapport eau/liant est égale 0.34. [13]

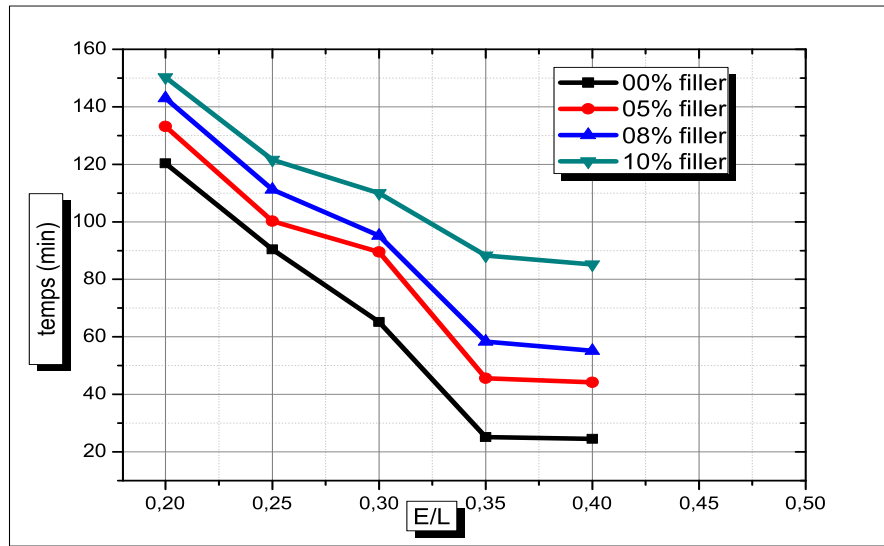


Fig III.5 Détermination du temps d'écoulement au cône de Marsh

Dosage en eau:

Une des plus grandes difficultés rencontrées lorsque l'on calcule la composition d'un BHP est de déterminer la quantité d'eau qu'il va falloir utiliser pour fabriquer un béton qui aura un affaissement de 20 cm plus d'une heure après son malaxage. En effet, la maniabilité d'un BHP est contrôlée par plusieurs facteurs: la quantité initiale d'eau, la « réactivité du ciment », la quantité de super plastifiant et son degré de compatibilité avec ce ciment particulier. [1]

III.8 Point de saturation :

Quand on mesure le temps d'écoulement pour différents dosages en super plastifiants à différents instants et que l'on exprime ce dosage sous forme de pourcentage de solides contenus dans le Super plastifiant par rapport à la masse de ciment, on obtient une courbe qui ressemble en général à celle présentée à la (Figure III.7).

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 Super plastifiant n'a plus de répercussion sensible sur la rhéologie

du coulis. Le dosage en Super plastifiant qui correspond à ce point est appelé le point de saturation. [11]

Fig III.6 La rhéopompe

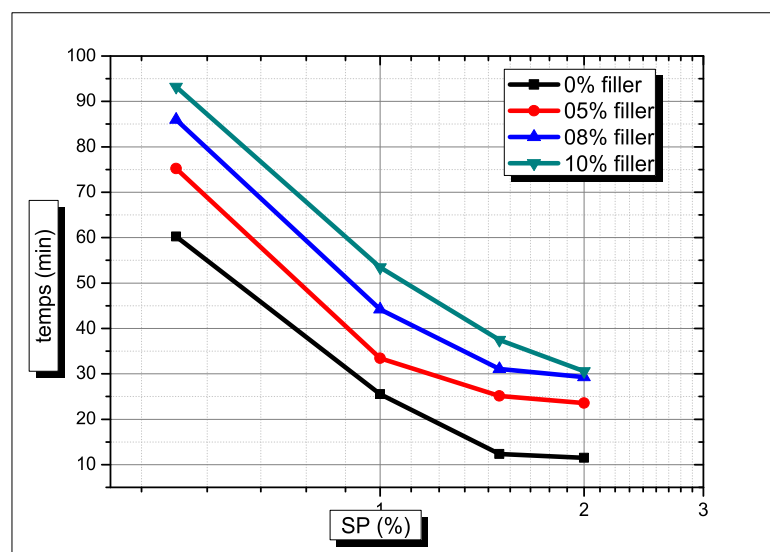


Fig III.7 Temps d'écoulement en fonction du dosage en superplastifiants

III.9 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 uns 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.6). Ce cône particulier a 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 super plastifiants [02].

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/m n et la lent 60 tours/m n. Les pesées des constituants ont été effectuées dans la balance électrique de précision

± 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 tout 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 a été proposé de faire le coulis en utilisant tous les matériaux ayant une dimension inférieure à 2 mm qui se retrouveront dans le BHP

III.10 Influence sur le moment d'addition du Super plastifiant dans le BHP:

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

III.11 Calcul de la proportion des constituants:**III.11.1 Formulation du béton Méthodes de Dreux_Gorisse:****III.11.1.1 Données de base:**

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 ³
Module de finesse MF	1.58
Coefficient granulaire G	0,45
AF	9

Tableau III.2 Donnés de bases pour la formulation.**III.11.1.2 Formulation du Béton témoin pour 1 (m³) 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.11.1.3 Formulation de Béton pour 1 (m³) 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.11.1.4 Formulation de Béton pour 1 (m³) 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.11.1.5 Formulation de Béton pour 1 (m³) 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.12 Formulation des différents mélanges testés:

III.12.1 Mélanges 1_(Gc 3/8, Gc 8/16) : (M₁)

M₁ : 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.12.2 Mélanges 2 (35% Gr 3/8, 65%Gc 8/16) : (M₂)

M₁ : 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.12.3 Mélanges 3 (40% Gr 3/8, 60%Gc 8/16) : (M₃)

M₁ : 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) :

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

III.12.4 Mélanges 4_(45% Gr 3/8, 55% Gc 8/16) : (M₄)

M₁ : 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) :

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

Remarque : dans chaque mélange M₂ M₃ M₄ on a quatre pourcentages de filler (Fumé de silice) 0%, 05%, 08% et 10 %

	Sable	GR 3/8	GC 3/8	GC 8/16	Eau	C	Filler	E/L
B_{t1}	9.98	/	1.997	15.476	2.47	7.083	/	0.33
B_{t2}	9.98	1.997	/	15.476	2.35	7.083	/	0.32
B_{HP01}	9.98	6.11	/	11.35	2.32	7.083	/	0.35
B_{HP02}	9.98	6.98	/	10.483	2.38	7.083	/	0.34
B_{HP03}	9.98	7.86	/	9.610	2.34	7.083	/	0.35
B_{HP04}	9.98	6.11	/	11.35	2.52	7.083	0.3541	0.30
B_{HP05}	9.98	6.98	/	10.483	2.24	7.083	0.3541	0.32
B_{HP06}	9.98	7.86	/	9.610	2.17	7.083	0.3541	0.29

BHP₀₇	9.98	6.11	/	11.35	2.26	7.083	0.566	0.29
BHP₀₈	9.98	6.98	/	10.483	2.28	7.083	0.566	0.28
BHP₀₉	9.98	7.86	/	9.610	2.30	7.083	0.566	0.30
BHP₁₀	9.98	6.11	/	11.35	2.44	7.083	0.708	0.31
BHP₁₁	9.98	6.98	/	10.483	2.42	7.083	0.708	0.30
BHP₁₂	9.98	7.86	/	9.610	2.43	7.083	0.708	0.31

Tableau III.3 Tableau récapitulatif

III.13 Conclusion

Ce chapitre est une étude détaillée d'une formulation de béton, qui traite le mode d'emploi d'examinations des ajouts et des adjuvants pour avoir un béton haute performance BHP.

En outre, la combinaison des super plastifiants et des ajouts cimentaires permet aussi de favoriser une meilleure utilisation et une utilisation en plus grande quantité d'additions minérales de fumé de silice en diminuant la quantité de **C-H-S** nécessaire pour développer les premiers liens qui donnent la résistance au jeune âge du béton.

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.

CHAPITRE IV

Résultats et Analyses

IV.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la présentation des obtenus du programme d'essais et faire analyse de ces résultats.

IV.2 Présentation des résultats:

Tous lrs résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux et les courbes.

Abréviations	Le béton
Bt1	Béton à base de CPJ+Medaflow 30+ GC (3/8 ; 8/16)
Bt2	Béton à base de CPJ+Medaflow 30+ GR 3/8 et GC 8/16
BHP 01	Béton à base de CPJ+Medaflow 30+ (65% GC 8/16 et 35% GR 3/8)+ Fumé de silice
BHP 02	Béton à base de CPJ+Medaflow 30+ (60% GC 8/16 et 40% GR 3/8)+ Fumé de silice
BHP 03	Béton à base de CPJ+Medaflow 30+ (55% GC 8/16 et 45% GR 3/8)+ Fumé de silice

IV.1 type de béton

	Temps (jrs)	Moyenne ρ (Kg/m ³)	Moyenne RC (Mpa)	correct E/L
Bt1	7	2449	47,99	/
	14	2450	48,99	
	28	2451	49,99	
Bt2	7	2452	50,99	0,33
	14	2453	51,99	
	28	2454	52,99	

Tableau IV.2 Résultats de B t

Temps (jrs)	Filler (%)	Affas (cm)	Moyenne p (kg/m3)	Moyenne RC (MPa)
7	0	14.5	2365.33	43.96
14			2394.53	49.46
28			2413.3	50.52
7	5	12	2396.23	36.89
14			2413.5	41.26
28			2417.94	55.5
7	8	7.5	2464.5	36.11
14			2416.73	43.81
28			2426.38	64.28
7	10	8	2423.56	38.65
14			2425.56	40.26
28			2434.18	50.44

Tableau IV.3 Résultats du BHP 01

Temps (jrs)	Filler (%)	Affas (cm)	Moyenne (kg/m³)	Moyenne (MPa)
7	0	7.5	2447.23	40.15
14			2466.77	51.67
28			2460.04	65.09
7	5	7	2459.33	43.59
14			2465.47	54.43
28			2503.43	77.63
7	8	7.5	2452.64	45.71
14			2477.1	63.77
28			2512.49	87.33
7	10	8	2447.33	43.84
14			2512.41	63.56
28			2446.12	76.53

Tableau IV.4 Résultats du BHP 02

Temps (jrs)	Filler (%)	Affas (cm)	Moyenne (kg/m³)	Moyenne (MPa)
7	0	10	2433.75	40.93
14			2443	45.2
28			2449.66	51.6
7	5	9	2455.63	50.33
14			2468.5	51.34
28			2473.8	69.44
7	8	7	2476.96	42.2
14			2458.33	45.58
28			2466.33	70.18
7	10	8	2446.03	40.35
14			2451.71	56.62
28			2456.33	70.98

Tableau IV.5 Résultats de BHP 03

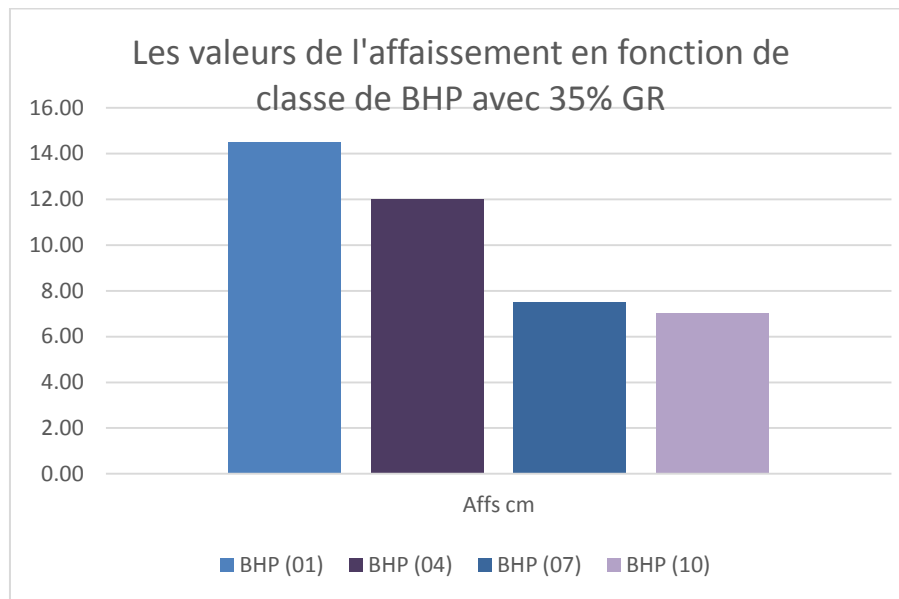


Fig IV.1 les valeurs de l'affaissement

On remarque que la variation de l'affaissement en fonction de taux de filler est irrégulière, on deduire que le taux 10 % est fiable pour garantir un affaissement minimale pour un beton de 35% de GR.

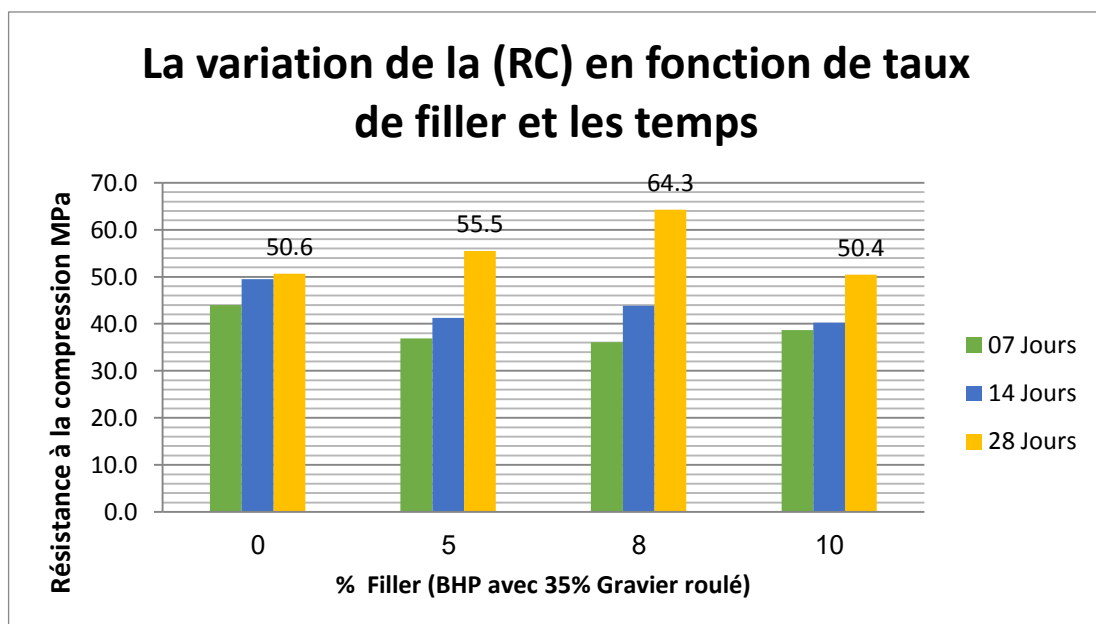


Fig IV.2 La variation de RC 35% GR

La résistance à la compression a une valeur maximale (64.3 Mpa) avec un pourcentage de filler de 8 % , on remarque aussi l'effet de la fumée de silice qui commence à partir de la troisième semaine et continue son effet bénéfique sur la résistance au delà de 28 jours de

durcissement.

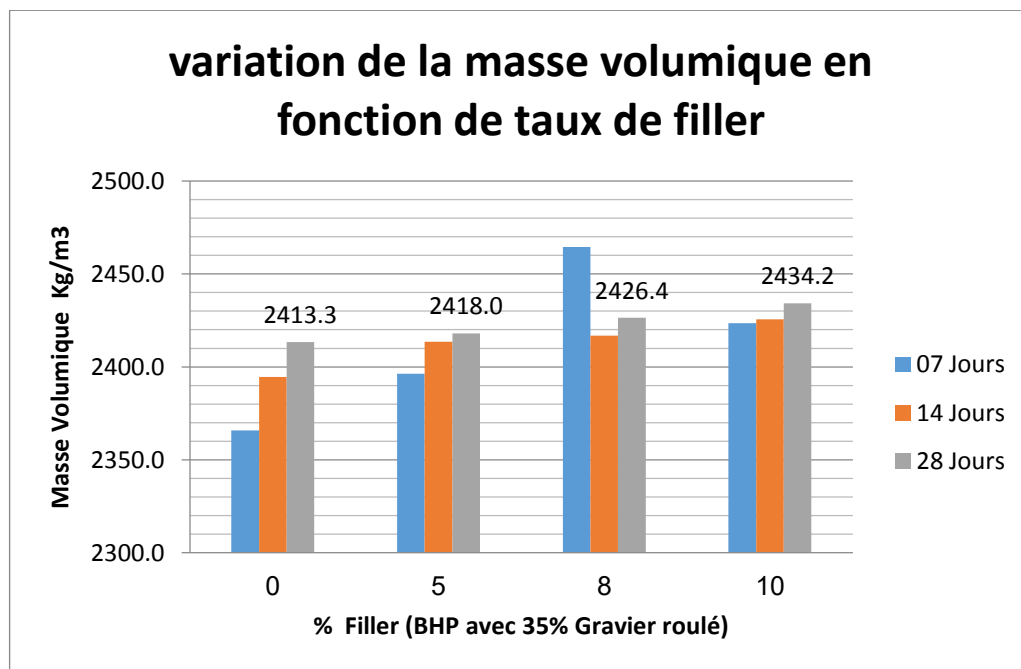


Fig IV.3 Variation de la masse volumique 35%GR

Avec un pourcentage de 35% de gravier roulé de fraction 3/8 et 65 % de gravier concassé 8/16, le taux de filler de 10 % donne la meilleure masse volumique pour les différents âges, mais à 28 jours de durcissement les masse volumiques ont des valeurs rapprochées .

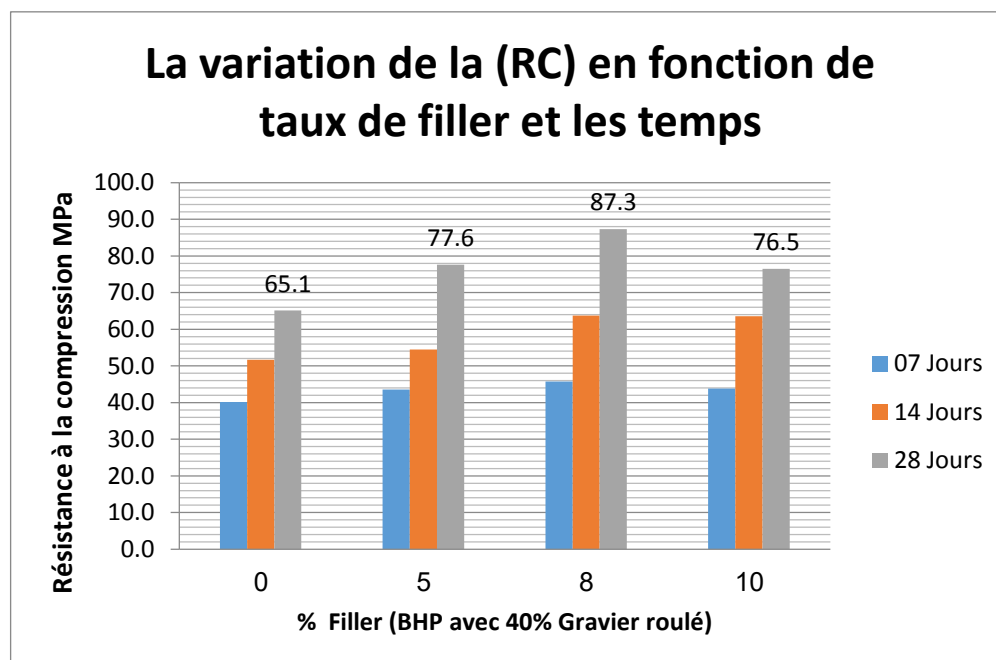


Fig IV.4 Variation de RC 40% GR

La résistance à la compression est maximale pour un taux de fumée de silice de 8% (87.3 Mpa) , le taux de filler de 5% et 10 % donne des valeurs rapprochées, ce qui nous amène à dire que le meilleure taux d'ajout filler est compris entre 5% et 10 % , avec une valeur

maximale autour de 8%.

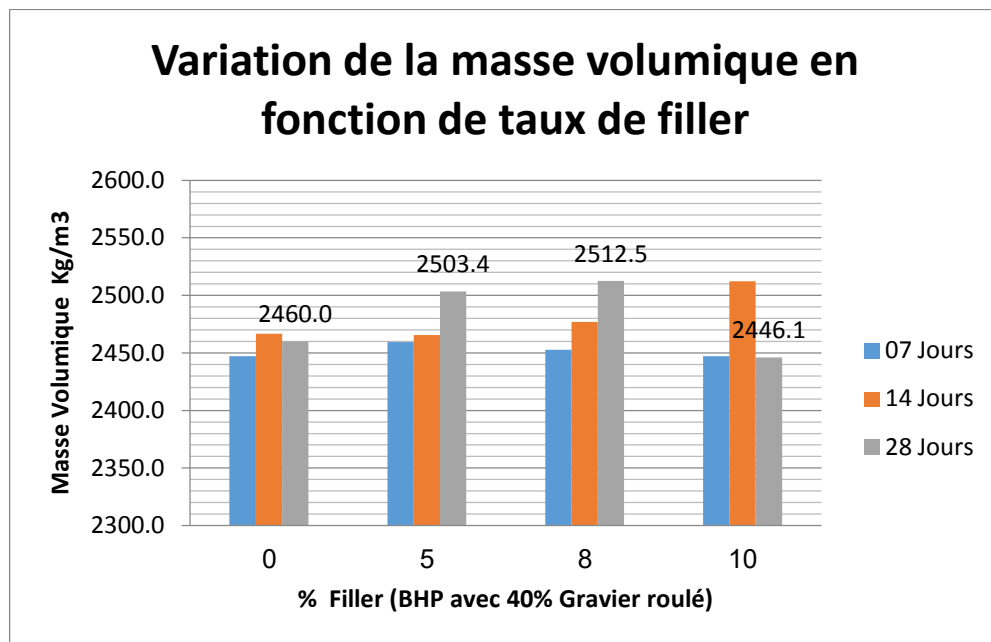


Fig IV.5 Variation de la masse volumique 40% GR

ON remarque que la masse volumique prend la meilleure valeur pour un pourcentage de fumée de silice de 8%.

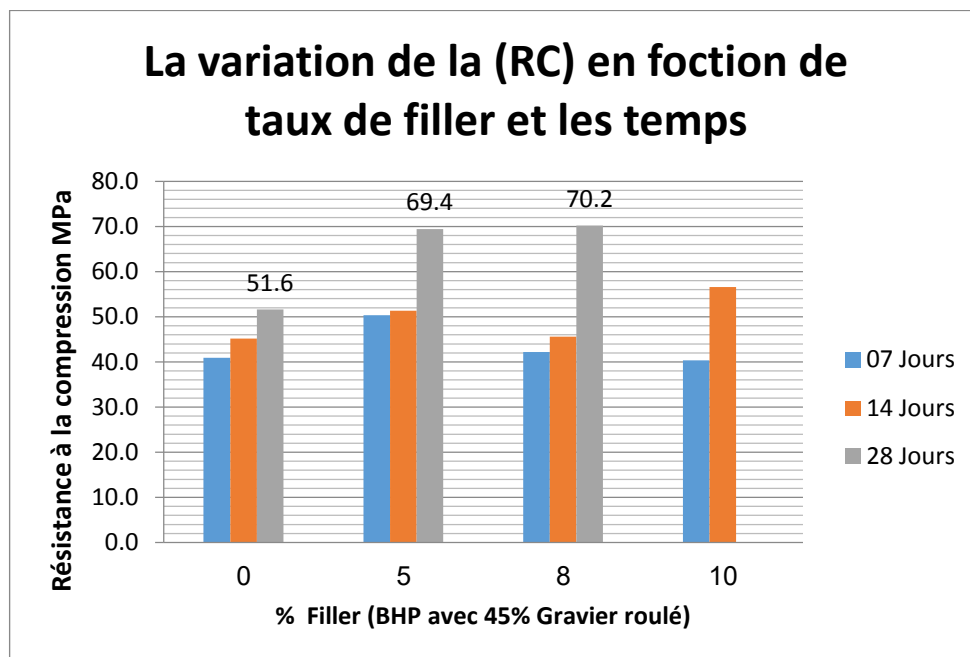


Fig IV.6 Variation de RC 45% GR

Pour un pourcentage de gravier roulé de fraction 3/8, les valeurs maximales de la résistance à la compression sont obtenus pour un pourcentage de filler entre 5 et 8 %.

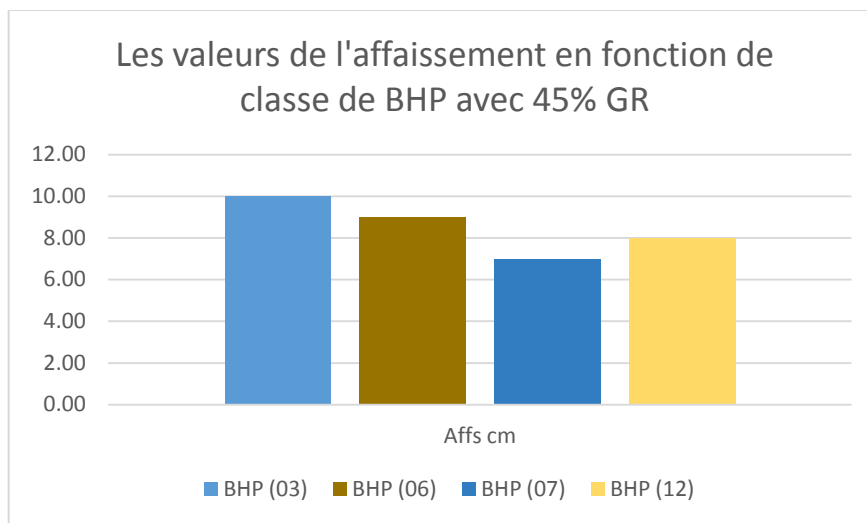


Fig IV.7 Les valeurs de l'affaissement 45% GR

On remarque que la variation de l'affaissement en fonction de taux de filler est irrégulière, on déduit que le taux 8% est fiable pour garantir un affaissement minimal pour un béton de 45% de GR

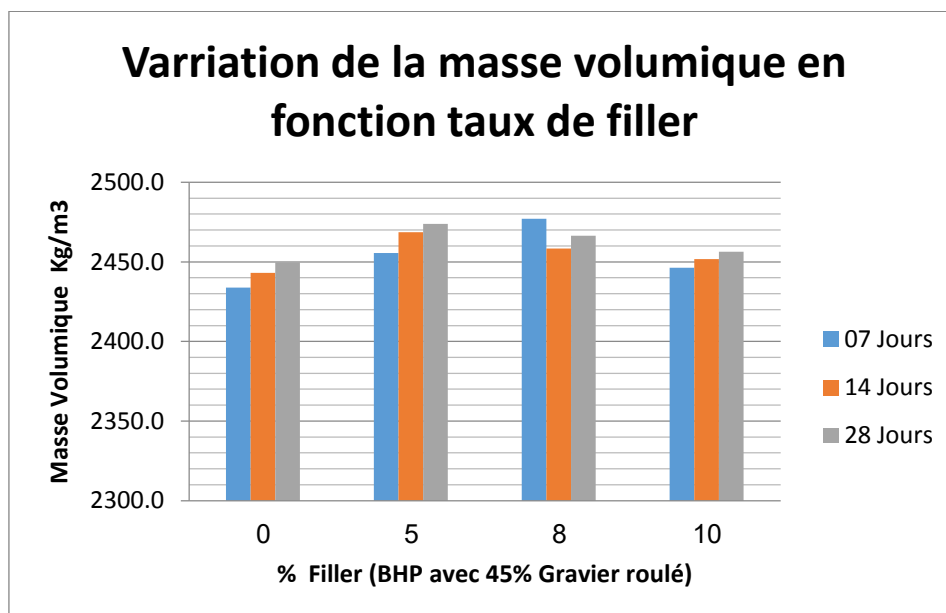


Fig IV.8 Variation de la masse volumique 45% GR

Avec un pourcentage de 35% de gravier roulé de fraction 3/8 et 65% de gravier concassé 8/16, le taux de filler de 10% donne la meilleure masse volumique pour les différents âges, mais à 28 jours de durcissement les masses volumiques ont des valeurs rapprochées.

IV. Conclusion:

A l'issue de mon travail qui s'intitule, Formulation et d'un béton à haute performance avec des granulats mixtes (gravier roulé et concassé) plus super plastifiant et fumée de silice, on conclure que:

- Avec un pourcentage de 35% de gravier roulé de fraction 3/8 et 65 % de gravier concassé 8/16, le taux de filler de 10 % donne la meilleure masse volumique pour les différents âges, mais à 28 jours de durcissement les masse volumiques ont des valeurs rapprochées .
- ON remarque que la masse volumique prend la meilleure valeur pour un pourcentage de fumée de silice de 8%.
- Avec un pourcentage de 35% de gravier roulé de fraction 3/8 et 65 % de gravier concassé 8/16, le taux de filler de 10 % donne la meilleure masse volumique pour les différents âges, mais à 28 jours de durcissement les masse volumiques ont des valeurs rapprochées
- La résistance à la compression a une valeur maximale (64.3 MPA) avec un pourcentage de filler de 8 % , on remarque aussi l'effet de la fumée de silice qui commence à partir de la troisième semaine et continue son effet bénéfique sur la résistance au delà
- La résistance à la compression est maximale pour un taux de fumée de silice de 8% (87.3 MPA) , le taux de filler de 5% et 10 % donne des valeurs rapprochées, ce qui nous amène a dire que le meilleure taux d'ajout filler est compris entre 5% et 10 % , avec une valeur maximale autour de 8%.
- Pour un pourcentage de gravier roulé de fraction 3/8, les valeurs maximales de la résistance à la compression sont obtenus pour un pourcentage de filler entre 5 et 8 %.

De tout ce qu'en vient de voir , on peut conclure d'après notre modeste recherche, que le pourcentage de filler (Fumée de silice) de 8% donne la meilleure valeur de la résistance à la compression en présence d'un pourcentage de 40% de gravier roulé avec surface lisse et arrondie ce qui favorise le réarrangement des grains de graviers dans notre BHP et réduit la porosité de notre béton.

En perspective nous préconisons de faire d'autres recherches avec des taux de filler entre 5% et 10%, et avec une autre finesse de mouture de ces fillers.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] **Bétons haute performance: "Pierre-Claude AITCIN" Edition Eyrolles 2001**
- [2] **Pierre- Claude AITCIN**, «La technologique des bétons à très haute résistance en Amérique de Nord», 1987, 20,180-189. Université de Sherbrooke, Québec, Canada.
- [3] **Document** : Formulation de bétons
- [4] **Mémoire doctorat**: Technologie du béton – GCI 340 Ammar Yahia, ing., Ph.D. Génie civil
- [5] **Mehmed fouzi AZI**. «Caractérisation de nouveaux matériaux de construction béton à hautes performance et très hautes performance», Thèse de magistère, 2006.
- [6] **Matériaux et éléments de construction**: "A.KOMAR".
- [7]
- [8] **ADAM M.NEVILLE**. «Propriétés des bétons», CRIB, Centre de recherche interuniversitaire sur le béton Sherbrooke- Laval, édition Eyrolles61, Bld Saint-Germain 75240 Paris Cedex05[
- 9] **MEMOIRE DE MAGISTERE** ; Géo matériaux CONTRIBUTION A L'ETUDE RHEOLOGIQUE D'UN BETON A HAUTES PERFORMANCES (BHP) LOCAL.
- [10] **E. KADRI, E. GHORBEL**. «Privision de la résistance en compréssion des BHP avec fumée de silice», Université de Cergy-Pontoise, Neunille sur Oise, 95031 Cergy-Pontoise Cedex, France.
- [11] **Aissa asroun, Mohamed Bachir Bouiadjra, Habib Trouzine**. «influnce des ajoutes cimentaires sur le comportement des bétons», Laboratoire de Matériaux et Hydrologie, Université Djillali Liables, BP89. Sidi Bel-Abbès 22000. Algérie.
- [12] **Ali BOUACIDA Loucif**. «Effet de la qualité de ciment sur les propriétés mécaniques du béton»; Centre Universitaire de Tebassa, Thèse de magister.
- [13] **G. DREUX, J. FESTA**. «Nouveau guide du béton et de ses constituants». 8^{em}Eyrolles, Paris, 1998.

[14] C. KIRPACH Directeur adjoint Ciments Luxembourgeois S.A, Séminaire. «BETON 2001: Journée d'information technique 23 novembre 2001»; Les nouvelles normes européennes du ciment

[15] Yves MALIER. «Les bétons à hautes performances ; Caractérisation, durabilité, application, école française du béton», Presses Ponts et chaussées.

[16] David Lozach, Amprincipe. «Les bétons aux nouvelles performances», Edition octobre 2006 Paris R.C.S. Paris B 389 103 805.

[17] Fiche technique: Groupe Granitex.

[18] Article d'internet: <http://www.larefaire.org>.

[19] Mémoire d'ingénieur d'état en Génie Civil: formulation et caractérisation d'un BHP à base de matériaux locaux, dirigé par: Prf.Z.Rahmouni

Résumé

Le béton à haute performance est un béton special qui se caractérise par un rapport E/L inférieure à 0.4 ainsi une résistance à la compression supérieure à 60 MPA. C'est un béton de haute technologie.

Dans ce travail on étudie l'effet du type et de pourcentage d'adjuvant sur les propriétés rhéologiques, physiques et mécaniques des BHP fabriqués à base des matériaux locaux, ainsi que, leur caractérisation physico-mécanique aux moyens des essais non destructifs afin d'établir des corrélations mathématiques reliant les grandeurs mesurées à ceux estimés. Pour cela, on a utilisé superplastifiant (MEDAFLOW 30) et l'adjuvant (MEDAPLAST HP) avec des pourcentages variant de 0%, 5%, 8%, et 10%.

À l'issue de mon travail on confirme qu'on peut obtenir des BHP de la première classe même avec nos simples moyens. Des BHP, qu'ils ont des résistances mécaniques très élevées au jeune âge et à 28 jours et bonne résistance aux agents agressifs.

ملخص

الخرسانة ذات الجودة العالية هي خرسانة خاصة E/L اصغر من 0.4 ومقاومة ضغط أكبر من 60 ميغاباسكال وهي خرسانة ذات جودة عالية.

في هذا العمل سوف ندرس نوع ونسبة الإضافات على خصائص الانسيابية، الفيزيائية و الميكانيكية للخرسانة عالية الأداء باستعمال مواد محلية وكذلك على الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية بالطرق غير التدميرية لإنشاء علاقات رياضية بين القيم المحصلة في التجارب، و لهذا استخدمنا الإضافات (MEDAFLOW 30) و (MEDAPLAST HP) بنسب (0%، 5%، 8%، 10%).

و على ضوء النتائج المحصل عليها يمكن القول انه بالإمكان الحصول على خرسانة ذات جودة قياسية بالاعتماد على حصى مختلطة خرسانة ذات مقاومه ميكانيكية عالية في الأيام الأولى و بعد مرور 28 يوم ذات مقاومه جيده ضد العوامل الضاره.

Abstract

High performance concrete is a special concrete with an E / L ratio of less than 0.4 and a compressive strength greater than 60 MPA. It is a high-tech concrete.

The use of superplasticizers in the concrete composition improves much rheological, physical and mechanical performances of the latter and gives the birth novel concrete ranges such as high-performance concretes (HPC). This work is aiming to study the effect of the type and the percentage of admixture on the properties such the rheology, physical appearances and the mechanical response of the HPC made with the local materials, Also, their physico-mechanical characterization in the means of the non-destructive test methods. This in order to establish mathematical correlations relating the measured to those estimated. For this objective, we used two types of superplasticizers (MEDAPLAST HP 40 and MEDAFLOW 30) at percentages of 0, 5, 8, and 10%.

At the end of my work it is confirmed that one can obtain BHP of the first class even with our simple means. BHP, they have very high mechanical strengths at young age and at 28 days and good resistance to aggressive agents.