

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



**Université Mohammed Seddik Ben Yahia - Jijel**  
**Faculté des Sciences et de la Technologie**  
**Département de Génie Civil et Hydraulique**

**Mémoire de fin d'Etudes pour l'obtention de Diplôme de**  
**MASTER Académique en Travaux Publics**  
**Option : Voies et Ouvrages d'Art**

# *Thème*

*Effets des Sables Sur Le Comportement*  
*Des Bétons A*  
*Hautes Performances*

**Présenté par :**

*M<sup>elle</sup> Bouara Nassira*  
*Mr Guerabli Ahmed*

**Encadré par :**

*M<sup>elle</sup> S. Ben Messaoud*

**Devant le jury composé de :**

*Mr T. CHIKER*  
*Mme F. SAIDAT*

*Université de Jijel*  
*Université de Jijel*

*Promotion : 2020*

# *Remerciements*

*Avant tout nous remercions **ALLAH** le tout puissant pour nous avoir donné la force, la patience et la volonté de mener à bien notre travail.*

*Nous remercions en particulier nos très **chers parents** pour leurs soutiens et leurs patiences.*

*Notre profonde gratitude va aussi à notre promotrice, **Mme S.Ben Messaoud** pour l'honneur qu'elle nous a fait en nous encadrant, pour ses précieux conseils et encouragements, ses disponibilités et orientations et surtout pour la confiance.*

*Nos remerciements s'adressent aussi au chef d'antenne de **laboratoire de travaux publics de l'est de Jijel** et leurs encadrements techniques pour son accompagnement et soutien technique pour passer notre stage.*

*Nos remerciements s'adressent aussi aux membres de jury pour l'honneur d'évaluer notre Travail.*

*Nous remercions également tous nos **enseignants** et **monsieur le chef du département** de Génie Civil et Hydraulique de l'Université de Jijel sans exception qui ont contribué à notre formation avec beaucoup de compétence et de dévouement.*

*Nous remercions toutes les personnes qui m'ont aidé et soutenu de près ou de loin.*

*À tous nos amies de notre promotion **Master II 2020**.*



# *Dédicace*

*Je Dédie Ce Mémoire A :*

*ALLAH le Tout Puissant qui m'a pourvu jusqu'à ce  
jour de tout.*

*Mon très chère père Nouraddine : lui qui a instauré  
l'intérêt pour moi d'aller à la recherche de la  
connaissance.*

*Ma très chère mère, Rachida, ma première  
enseignante, qui m'a Soutenu toujours par son  
amour, sa compréhension et son encouragement.*

*Mes très chères sœurs : Rima, Inesse, Marwa.  
Mes Frères : Hassib, Mehdi.  
Tous les membres de la famille petits et grands.*

*A mes très chères amies qui m'ont toujours  
encouragé : Alouiza, Wafa, dounia, Nour Elhouda,  
Rania.*

*L'ensemble des étudiants de la promotion M2 de  
l'année 2019/2020.*

*A toutes les personnes qui ont participé à  
l'élaboration de ce travail.*

*B. Nassira*

# *Dédicace*

*Au nom d'Allah, le Tout Miséricordieux, le Très Miséricordieux*

*Rien n'est aussi beau à offrir que le fruit d'un labeur qu'on dédie du fond du cœur à ceux qu'on aime et qu'on remercie en exprimant la gratitude et la reconnaissance durant toute notre existence.*

*Je dédie ce modeste travail A :*

*A mon cher père nourdine et ma chère mère laatra qui ont pas cessés de m'encourager et de sacrifier pour que je puisse franchir tout obstacle durant toutes mes années d'études, que dieu me les gardes en très bonne santé.*

*Mes frères : abdelali, abdelhak, salah ainsi que mes sœurs : siham, souhila, linda, chehrazad.*

*A ceux que j'aime et je respecte :*

*Mes oncles et mes tantes et leurs familles*

*Aux familles hireche, makmouche et benali*

*A mes chères amis : abdelhamid, issam, youcef, karim, fatah.*

*A Celui qui a partagé ce travail avec moi dans les bons et mauvais moments : à binôme Nassira.*

*A toute la promotion 2020.*

*À mon encadreur M<sup>lle</sup>S.Ben Messaoud.*

*G. Ahmed*

# Résumé

Les bétons à hautes performances sont des nouveaux types qui répondent, aux exigences des constructions et ouvrages modernes. Ils permettent aux concepteurs de construire des structures plus élancées et plus durables.

L'objectif de ce travail de mémoire est d'apporter une contribution à la compréhension de l'influence des facteurs tels que le rapport E/C et la classe granulaire sur les propriétés mécaniques et physiques des bétons à hautes performances par la méthode de l'université de Sherbrooke, avec l'utilisation des ajouts (fumée de silice), (super-plastifiant) afin d'améliorer la résistance à la compression.

Dans un premier temps, nous avons caractérisé les matériaux utilisés. Puis, nous avons procédé à la recherche d'une formulation de BHP, adéquate en terme de mise en œuvre par la méthode de l'université de Sherbrooke, en utilisant un ciment (CPJ-CEM II/B-L 42,5N), une fumée de silice (MEDAPLAST HP), un super-plastifiant (MEDAFLOW 30) et l'utilisation de trois rapports de E/C (0,25/0,30/0,35) et l'utilisation de trois types de sable (S1, S2 et S3 (20%S1+80%S2)). Et puis l'étude de la résistance à la compression, de l'âge 7, 14 et 28 jours.

A la fin de notre travail, l'examen des résultats obtenus a permis. Que la composition du béton à haute performance est le béton Sable 2 avec un rapport E/C = 0.25 et de l'utilisation de 10% de la fumée de silice et 1% de super-plastifiant a atteint la plus grande résistance mécanique de 80.33MPa.

## Mots clés :

Béton à haute performance, durabilité, résistances mécaniques, formulation, superplastifiant, fumée de silice.

# Abstract

The concretes with high performances are new types of concrete which answer, to the requirements of constructions and modern works. They make it possible to the originators to build slimmer and more durable structures.

The purpose of this work is to contribute to the understanding of the influence of factors such as the E/C ratio and the granular class on the mechanical and physical properties of high performance concretes by the method of the University of Sherbrooke, with the use of additions (silica fume), (superplasticizer) to improve the compressive strength.

At first, we characterized the materials used. Then, we proceeded to search for a formulation of BHP, adequate in terms of implementation by the method of the University of Sherbrooke, using a cement (CPJ-CEM II/B-L 42,5N), a silica fume (MEDAPLAST HP), a superplasticizer (MEDAFLOW 30) and the use of three E / C ratios (0.25/0.30 / 0.35) and the use of three The sand (S1, S2 et S3 (20%S1+80%S2)).And then the study of the compressive strength, the age of 7, 14 and 28 days.

At the end of our work, the examination of the results obtained made it possible.that the composition of the high performance concrete is concrete Sand 2 with a ratio E/C = 0.25and the use of 10% of the silica fume and 1% asuperplasticizer has reached the highest strength of 80.33 MPa for the different conservation media.

## **Key words :**

High performance concrete, durability, highest strength, formulation, superplasticizer, silica fume.

## ملخص

الخرسانة عالية الأداء تعتبر من الأنواع الحديثة الظهور التي يتم استعمالها في المنشآت الكبرى كما تسمح للمصممين بتصميم هياكل إنشائية أكثر نحافة و بديمومة اكبر.

الهدف من أعداد هذه المذكرة هو المساهمة في فهم تأثير العوامل مثل نسبة  $\frac{E}{C}$  و الفئة الحبيبية على الخواص الميكانيكية و الفيزيائية للخرسانة عالية الأداء بطريقة جامعة شيربروك مع استخدام الإضافات (دخان السيليكا) و(الملدن المتفوق) لتحسين قوة الضغط.

في البداية وصفنا المواد المستخدمة . بعد ذلك شرعنا في البحث عن تركيبته الخرسانة عالية الأداء كافية من حيث التنفيذ بطريقة شيربروك ، وك، باستخدام الأسمنت ( CPJ-CEMI/B-L42.5N )، دخان السيليكا ( MEDAPLAST-HP ) و الملدن المتفوق ( MEDAFLOW30 ) واستخدام ثلاث نسب  $\frac{E}{C}$  (0.25/0.30/0.35) واستخدام ثلاث أنواع من الرمل (S1 , S2 , S3(20%S1+80%S2)) ثم دراسة قوة الانضغاط في عمر 7 و14 و 28 يوما.

في نهاية عملنا، سمح فحص النتائج التي تم الحصول عليها. أن تركيبة الخرسانة عالية الأداء هي S2 مع نسبة  $\frac{E}{C} = 0.25$  واستخدام 10% من دخان السيليكا و 1% من الملدن المتفوق وصلت إلى أعلى قوة ميكانيكية من 80.33 ميجا باسكال .

### كلمات البحث:

خرسانة عالية الأداء، ديمومة، القوة الميكانيكية، التركيب، الملدن المتفوق، دخان السيليكا.

# Sommaire

Remerciements .....	i
Dédicace .....	ii
Résumé .....	iv
Abstract .....	v
ملخص .....	vi
Sommaire .....	vii
Liste des figures et liste des tableaux .....	xi
Liste des abréviations .....	xiv
Introduction générale.....	1

<b>Chapitre I</b> <b>Etude bibliographique</b>
---

I.1 Introduction .....	3
I.2 Historique .....	3
I.3 Définition des BHP .....	3
I.4 Choix des matériaux .....	4
I.4.1.Le ciment.....	4
I.4.1.1Type des ciments.....	4
I.4.2 Les granulats .....	5
I.4.2.1 Granulat fin.....	6
I.4.2.1.1 Classification des sables .....	7
I.4.2.1.2 Nature et origine du sable.....	8
I.4.2.2 Gravier.....	8
I.4.3 Les adjuvants .....	8
I.4.3.1 Définition .....	8
I.4.3.2 Super-plastifiant.....	9
I.4.3.2.1 Intérêt de leur utilisation .....	10
I.4.3.2.2 Mécanisme de dispersion.....	11
I.4.3.3 Différents types de superplastifiant .....	13
I.4.4 L'eau de gâchage.....	13
I.4.5 Action des additions minérales .....	13
I.4.5.1 Le filler calcaire .....	14
I.4.5.2 Le laitier.....	14
I.4.5.3 Les Cendres volantes .....	15
I.4.5.4 La fumée de silice .....	16
I.5 Malaxage.....	16



I.5.1 Les paramètres du malaxage .....	17
I.5.2 Ségrégation .....	17
I.5.3 Modalités de malaxage .....	17
I.6 Microstructure des BHP .....	18
I.7 Facteur influençant sur le comportement mécanique du BHP.....	19
I.7.1 Influence du rapport E/C.....	19
I.7.2 Propriété des gros granulats .....	20
I.8 Caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des BHP.....	21
I.8.1 Caractéristiques physico-chimiques .....	21
I.8.1.1 Porosité .....	21
I.8.1.2 Ouvrabilité .....	21
I.8.1.3 Durabilité .....	22
I.8.1.4 Imperméabilité .....	22
I.8.1.5 Résistance aux agents agressifs .....	22
I.8.1.6 Migration des ions chlorure .....	22
I.8.1.7 Tenue aux attaques gel/dégel .....	22
I.8.1.8 Carbonatation .....	23
I.8.2 Caractéristiques mécaniques .....	23
I.8.2.1 Résistance à la compression.....	23
I.8.2.2 Résistance en traction .....	24
I.8.2.3 La résistance à la traction par flexion .....	25
I.8.2.4 Module d'élasticité.....	25
I.8.2.5 Plasticité.....	25
I.8.2.6 Retrait.....	25
I.8.2.7 Le Fluage .....	25
I.9 Avantage des BHP .....	26
I.10 Principaux domaines d'applications et principales de BHP .....	26
I.11 Formulation des BHP.....	28
I.12 Méthode de formulation.....	29
I.13 Conclusion .....	30

<p><b>Chapitre II</b>  <b>Matériaux et formulation des bétons d'étude</b></p>
---

II.1 Introduction .....	31
II.2 Caractéristiques des matériaux utilisés .....	31

II.2.1 Ciment .....	31
II.2.2 Granulats .....	33
II.2.3 Super-plastifiant.....	42
II.2.4 Fumée de silice .....	44
II.2.5 Eau de gâchage .....	46
II.3 Formulation des bétons d'étude.....	47
II.3.1 La méthode de formulation de l'université de Sherbrooke .....	47
II.3.2 Formules de calculs .....	52
II.3.3 Formulation du béton.....	54
II.3.4 Fabrication des bétons, mise en place et conservation .....	59
II.4 Conclusion.....	64

<p><b>Chapitre III</b>  <b>Résultats et Discussions</b></p>
---

III.1 Introduction .....	65
III.2 Méthodologie adaptée pour les manipulations .....	65
III.3 Essai réalisé à l'état frais .....	65
III.3.1 Essai d'affaissement au cône d'Abrams (mesure d'ouvrabilité).....	65
III.4 Essai réalisé à l'état durcis .....	68
III.4.1 Essai de compression .....	68
III.4.2 Préparation et positionnement des éprouvettes .....	69
III.5 Résultats et discussions .....	74
III.6 Conclusion.....	77
Conclusion générale .....	78
Liste des références .....	80
Annexe .....	83

# Liste des figures

## *Liste des figures*

<b>Figure I.1:</b> Réfection du pont Champlain en BHP .....	3
<b>Figure I.2 :</b> BHP .....	4
<b>Figure I.3 :</b> Un organigramme pour l'obtention d'un BHP.....	6
<b>Figure I.4 :</b> Nature et origine du sable .....	8
<b>Figure I.5 :</b> Des charges opposées sur la surface des grains de ciment provoquent la Floculation.....	10
<b>Figure I.6 :</b> Les utilisations des superplastifiants.....	11
<b>Figure I.7 :</b> Floculat de ciment en l'absence de superplastifiant.....	11
<b>Figure I.8 :</b> Mécanisme de floculation avec et sans superplastifiants.....	12
<b>Figure I.9 :</b> Effet du superplastifiant sur les grains de ciment par le phénomène de Dispersion.....	12
<b>Figure I.10 :</b> Filler calcaires une poudre ressemblant au ciment.....	14
<b>Figure I.11:</b> Laitier de haut fourneau granulé broyé .....	15
<b>Figure I.12 :</b> Cendres volantes : une poudre ressemblant au ciment .....	15
<b>Figure I.13 :</b> Poudre de fumée de silice .....	16
<b>Figure I.14 :</b> Malaxage du béton .....	17
<b>Figure I.15 :</b> Interface pâte de ciment- granulats cristaux de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ orientés (P) sur le granulat .....	19
<b>Figure I.16 :</b> Relation entre la résistance à la compression et le rapport E/C .....	20
<b>Figure I.17 :</b> Bétons ordinaire .....	23
<b>Figure I.18 :</b> Béton à haute performance .....	24
<b>Figure I.19 :</b> Pont de l'île de Ré.....	27
<b>Figure I.20 :</b> Gare de Bordeaux-Saint-Jean (France) .....	27
<b>Figure I.21 :</b> Pont de Normandie (France).....	28

<b>Figure II.1 :</b> Ciment CPJ CEM II/B-L 42,5N utilisé .....	.33
<b>Figure II.2 :</b> Les graviers d'étude .....	.33
<b>Figure II.3 :</b> Colonne des tamis .....	.34
<b>Figure II.4 :</b> Courbe granulométrique des graviers utilisés .....	.35
<b>Figure II.5 :</b> Les sables d'étude.....	.36
<b>Figure II.6 :</b> Courbes granulométriques des sables utilisés .....	.37
<b>Figure II.7 :</b> Définition de l'équivalent de sable.....	.38
<b>Figure II.8 :</b> Appareil Los Angeles .....	.40
<b>Figure II.9 :</b> Appareil Micro-Deval .....	.41
<b>Figure II.10 :</b> Essai d'aplatissement.....	.41
<b>Figure II.11 :</b> Superplastifiant (MEDAFLOW 30) .....	.43
<b>Figure II.12 :</b> Fumée de Silice utilisé.....	.46
<b>Figure II.13 :</b> L'eau potable convient comme eau de gâchage.....	.47
<b>Figure II.14 :</b> Organigramme de la méthode proposée pour formuler des BHP.....	.48
<b>Figure II.15 :</b> Abaque Relation proposée entre le rapport eau/liant et la résistance à la Compression.....	.49
<b>Figure II.16 :</b> Détermination du dosage en eau.....	.50
<b>Figure II.17 :</b> Temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant .....	.51
<b>Figure II.18 :</b> Détermination du dosage en gros granulats.....	.51
<b>Figure II.19 :</b> Représentation schématique d'un super plastifiant .....	.53
<b>Figure II.20 :</b> Exemple d'une courbe de mélange OAB par la méthode de DREUX- GORISSE .....	.55
<b>Figure II.21 :</b> Malaxage du béton .....	.61
<b>Figure II.22 :</b> Préparation des moules avant le remplissage .....	.62
<b>Figure II.23 :</b> Forme d'éprouvettes d'étude .....	.62
<b>Figure II.24 :</b> Conservation des éprouvettes .....	.63

<b>Figure III.1</b> : Cône d'Abrams utilisée.....	.66
<b>Figure III.2</b> : Résultats d'essai d'affaissement .....	.67
<b>Figure III.3</b> : Essai de résistance à la compression (Laboratoire des Travaux Publics de L'Est).....	.69
<b>Figure III.4</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 7 jours de la série 01 .....	.71
<b>Figure III.5</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 7 jours de la série 02.....	.71
<b>Figure III.6</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 14 jours de la série 01 .....	.72
<b>Figure III.7</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 14 jours de la série 02 .....	.72
<b>Figure III.8</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 28 jours de la série 01 .....	.73
<b>Figure III.9</b> : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 28 jours de la série 02.....	.73

# Liste des tableaux

## *Liste des tableaux*

<b>Tableau I.1</b> : 5 Types de ciments courants et leur composition.....	5
<b>Tableau I.2</b> : Différentes classes de BHP .....	.24
<b>Tableau II.1</b> : Composition minéralogique.....	.31
<b>Tableau II.2</b> : Propriétés chimiques du ciment utilisé .....	.32
<b>Tableau II.3</b> : Propriétés physiques du ciment .....	.32
<b>Tableau II.4</b> : Résistance mécaniques du ciment .....	.32
<b>Tableau II.5</b> : Analyse granulométrique par tamisage des graviers utilisés .....	.35
<b>Tableau II.6</b> : Analyse granulométrique par tamisage des sables utilisés. ....	.37
<b>Tableau II.7</b> : Caractéristiques mécaniques des granulats.....	.40
<b>Tableau II.8</b> : Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats utilisés.....	.42
<b>Tableau II.9</b> : Caractéristique MEDAFLOW30.....	.43
<b>Tableau II.10</b> : Propriétés MEDAFLOW30 .....	.44
<b>Tableau II.11</b> : Caractéristiques fumée de silice .....	.46
<b>Tableau II.12</b> : Valeurs de K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité et permettant de calculer Y ordonnée du point de brisure de la courbe de référence.....	.56
<b>Tableau II.13</b> : Pourcentage de chacun des granulats pour des différentes compositions du béton BHP .....	.57
<b>Tableau II.14</b> : Composition des différentes BHP de la série 01 .....	.58
<b>Tableau II.15</b> : Composition des différentes BHP de la série 02 .....	.59



**Tableau III.1** : Résultats d'essai d'affaissement des différents bétons étudiés ..... .66

**Tableau III.2** : Résistance à la compression à 7j, 14j et 28j..... .70

# Liste des abréviations

## *Liste des abréviations*

**BHP** : Béton à Hautes Performances.

**E/C** : Rapport Eau / Ciment.

**C-S-H** : Silicates de calcium hydraté.

**Rc** : Résistance en compression.

**Rt** : Résistance en traction.

**BRN** : Béton à Résistance Normale.

**LCPC**: Laboratoire Central des Ponts et Chaussées.

**MF** : Module de Finesse.

**F<sub>cj</sub>** : La résistance à la compression à « j » jours.

**CPA** : Ciment Portland Artificiel.

**CPJ** : Ciment Portland Composé.

**CHF** : Ciment de Haut Fourneau.

**CPZ** : Ciment Pouzzolanique.

**CLC**: Ciment composé.

**S1** : Sable de sable siliceux naturel (Oued Zhour).

**S2** : Sable de carrière(Chelghoum-laid).

**S3** :Sable corrigée.

**FS** : Fumée de Silice.

**C** : Masse de ciment.

**E** : Masse d'eau.

**Ab** : Coefficient d'absorption.

**EP** : Eau potable.

**MDE** : Coefficient Micro-Deval.

**LA** : Coefficient Los Angeles.

# Introduction générale

### Introduction Générale

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. Depuis sa découverte et pendant de nombreuses décennies, ce matériau n'avait que peu évolué mais, à partir des années 1970-1980, d'importantes avancées ont été réalisées qui lui ont permis de diversifier les utilisations aux quelles il était jusque là destiné. Ainsi, les études menées sur ses constituants granulaires ont conduit à améliorer ses propriétés existantes, en particulier avec les bétons à hautes performances (BHP). D'autres familles de béton, relatives à certaines applications, ont vu en suite le jour comme les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres (BFM) et les bétons de poudre réactive (BPR).

Les (BHP) sont des bétons qui développent des résistances mécaniques élevées (supérieure à 60MPa) du fait de la diminution de la porosité rendue possible grâce à l'ajout de superplastifiants qui diminuent la teneur en eau nécessaire à l'obtention d'une maniabilité suffisante. De plus, le spectre du mélange granulaire utilisé est élargi par l'ajout d'éléments ultrafins qui confèrent à l'ensemble une haute compacité [29]. De ce fait, ces bétons présentent une durabilité accrue grâce à une perméabilité réduite.

La plupart des ouvrages d'art dans les quels sont utilisés des BHP, présentent souvent des ferraillements très denses (supérieurs à 200 kg/m<sup>3</sup>) associés à la présence de gaines de précontrainte.

Parmi les bétons innovants on trouve les BHP (bétons à hautes performances), dont l'utilisation d'une double finalité : améliorer la résistance mécanique et la durabilité d'une part et économiser la consommation des matériaux de construction en réduisant les sections des éléments constructifs et en limitant le taux de ferraillement. Malgré que ces nouveaux bétons sont largement utilisés à travers le monde depuis plus de deux décennies. Leurs utilisations en Algérie resteras limités ou inexistantes.

### Objectifs

L'objectif de ce travail, est les effets des sables sur le comportement des bétons à hautes performances (grande résistance à la compression et la traction, une grande durabilité, etc.) ; c'est-à-dire arriver à formuler un béton à haute performances BHP par la méthode de l'université de Sherbrooke.

### Plan du mémoire

Ce mémoire est structuré en trois chapitres :

- Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique où sont traités l'ensemble des paramètres ayant trait aux constituants élémentaires des mélanges et les caractéristiques physiques et mécaniques du béton à haute performance.
- Le deuxième chapitre fait le point sur les caractéristiques physiques et chimiques des matériaux utilisés (ciment, sable, adjuvants & ajouts) ainsi une description des différentes étapes de formulation et les protocoles expérimentaux pour fabriquer le BHP.
- Le dernier chapitre de ce mémoire présente les résultats expérimentaux sous forme de graphes et de tableaux. Ensuite une analyse des résultats avec des discussions et commentaires.
- En fin, une conclusion générale reprend les principaux résultats dégagés lors de cette étude et rapporte les intérêts pratiques qui en découlent.

# Chapitre I :

*Etude bibliographique*

## I.1. Introduction

Dans ce chapitre on effectue une recherche bibliographique sur les effets des sables sur le comportement des bétons à hautes performances. On va présenter quelques généralités sur les BHP, leur constituant et notamment le rôle des superplastifiants dans leur l'obtention. Les caractéristiques des BHP ont été abordées pour confirmer le large domaine d'utilisation de ce béton. Comme on va le voir dans ce chapitre les BHP sont utilisés dans plusieurs techniques de construction tel que les ouvrages d'art grâce à ces multiples avantages.

## I.2. Historique

Le BHP est à l'origine une appellation française qui s'est aujourd'hui généralisée dans le monde. Il s'agit de bétons créés au milieu des années 70 pour la construction de bâtiments de grande hauteur aux Etats-Unis ou au Canada et en Europe du Nord, notamment en Norvège, pour la réalisation de plates-formes offshore. Dans ces pays, on travaillait davantage sur le concept de haute résistance, c'est-à-dire sur la fabrication des bétons possédant des caractéristiques très élevées à 28 jours.

## I.3. Définition des BHP

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



**Figure I.1:** Réfection du pont Champlain en BHP.



Les BHP se caractérisent par :

- Une résistance à la compression à 28 jours supérieure à 60 MPa.
- Un rapport Eau efficace/liant équivalent inférieur à 0,4.
- Ils présentent une micro texture très dense et une faible porosité et sont donc très résistants à la pénétration d'agents agressifs.



Figure I.2 : BHP.

## I.4. Choix des matériaux

### I.4.1. Le ciment

Le ciment est un liant hydraulique : la réaction chimique entre la poudre de ciment et l'eau produit un minéral artificiel insoluble. Plus les grains de ciment sont fins, plus cette réaction (hydratation) s'opère rapidement. Le durcissement a lieu aussi bien à l'air que sous eau.

Le premier choix sur le quel il faut s'attarder lorsque l'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 [1].

Pour fabriquer des BHP, les différentes marques commerciales de ciment n'offrent pas toutes les mêmes performances. Certains ciments présentent de bonnes performances en termes de résistance finale, mais très mauvaises performances en termes de comportement rhéologique, car il est difficile de maintenir la maniabilité des BHP suffisamment long temps pour pouvoir les placer de façon économique et satisfaisante. D'autres ont d'excellentes performances rhéologiques, leur perte d'affaissement durant la première ou la deuxième heure est minimale et ils peuvent être refluidifiés facilement par un second dosage en super-plastifiant, mais ils ne sont pas performants en termes de résistance à la compression [2].

#### I.4.1.1. Type des ciments

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction de leur composition, en cinq types principaux. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation française est indiquée entre parenthèse) :

- CEM I : Ciment Portland (CPA-dans la notation française) ;
- CEM II : Ciment Portland composé (CPJ) ;
- CEM III : Ciment de haut fourneau (CHF) ;
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ) ;
- CEM V : Ciment au laitier et aux cendres (CLC).

La proportion (en masse) des différents constituants est indiquée dans le Tableau I.1

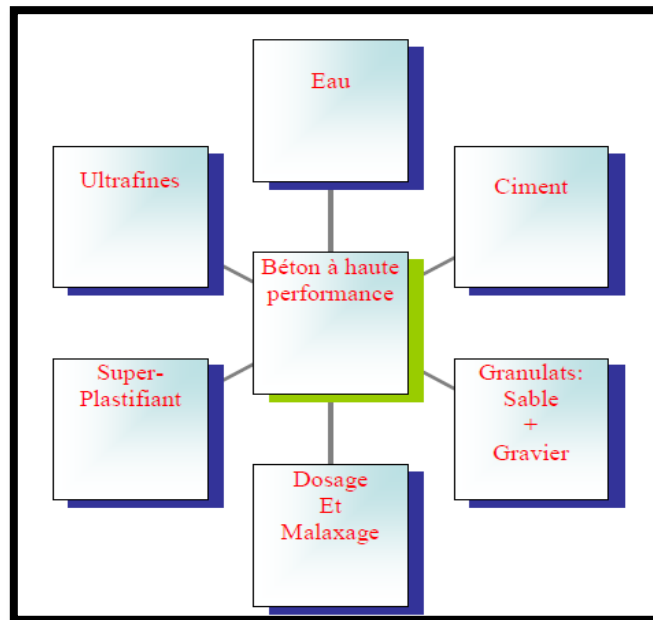
	<b>Notation</b>	<b>Clinker</b>	<b>Autres constituants</b>	<b>Constituants Secondaires</b>
<b>Ciment Portland</b>	CEM I	95 -100	--	0 - 5
<b>Ciment Portland Composé</b>	CEM II A	80 - 94	6 - 20	--
	CEM II B	65 - 79	21 - 35	--
<b>Ciment de haut Fourneau</b>	CEM III A	35 - 64	36 - 65	0 - 5
	CEM III B	20 - 34	66 - 80	0 - 5
	CEM III C	5 - 19	81 - 95	0 - 5
<b>Ciment pouzzolanique</b>	CEM IV A	65 - 90	10 - 35	0 - 5
	CEM IV B	45 - 64	36 - 55	0 - 5
<b>Ciment composé</b>	CEM V A	40 - 64	18 - 30	0 - 5
	CEM V B	20 - 39	31 - 50	0 - 5

**Tableau I.1 : 5 Types de ciments courants et leur composition [3].**

**I.4.2. Les granulats**

C'est l'ensemble des grains de dimensions comprises entre 0 et 125mm. Les granulats peuvent être d'origine naturelle (sables et graviers de mer et de rivières), artificiels (argile expansée) ou issue du recyclage de déchets de l'industrie (laitier de haut fourneaux).

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. 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 [4].



**Figure I.3 :** Un organigramme pour l'obtention d'un BHP [12].

#### I.4.2.1. Granulat fin

Peu de recherche ont été faites pour optimiser les caractéristiques du granulat fin que l'on doit utiliser dans les BHP même si la nature et les caractéristiques d'un sable peuvent beaucoup varier d'un en droit à l'autre. En général, les granulats fins que l'on utilise pour fabriquer des BHP ont une distribution granulométrique comprise dans les limites recommandées par la norme ACI (American Concrete Institute) pour les bétons usuels.

Cependant, chaque fois que cela est possible, on peut choisir un granulat fin qui se situe sur la partie grossière de ces limites, c'est-à-dire un granulat fin qui a un module de finesse compris entre 2.7 et 3.0 [1].

L'utilisation de tels sables grossiers est recommandée puisque, dans tout BHP, il y a suffisamment d'éléments fins à cause de la forte teneur en ciment et en ajouts cimentaires, de telle sorte qu'il n'est pas nécessaire d'avoir un sable fin pour améliorer la maniabilité du béton et sa résistance à la ségrégation. En outre, l'utilisation d'un sable plutôt grossier peut amener une certaine diminution de la quantité d'eau de gâchage nécessaire pour obtenir une maniabilité donnée, ce qui est un avantage du point de vue de la résistance et du point de vue économique.

L'utilisation d'un sable grossier permet aussi d'obtenir un meilleur cisaillement de la pâte de ciment durant son malaxage [5].

### I.4.2.1.1. Classification des sables

On peut classer les sables selon [6] :

- a. **La granularité** : permet de séparer les sables en trois catégories sont: Sables fins ; Sables moyens ; Sables grossiers.
- b. **La propreté et la teneur en fines** : elle est appréciée par la valeur de l'équivalent de sable.
- c. **La nature minéralogique** : En général, les sables peuvent être classés comme suit : Sables siliceux ; Sables silico-calcaires ; Sables calcaires.
- d. **Leurs provenances** : Selon leurs provenances [7], les sables peuvent être classés comme Suit:
  - **Sable de rivière** : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
  - **Sable de mer** : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
  - **Sable de carrière** : Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
  - **Sable artificiel** : il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré ...). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
  - **Sable de dune** : c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne.

Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sable fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara.

### I.4.2.1.2. Nature et origine du sable



Figure I.4 : Nature et origine du sable [8].

### I.4.2.2. Gravier

Au fur et à mesure qu'augmente la résistance à la compression ciblée, la sélection des gros granulats devient de plus en plus importante. On utilise la plupart du temps des roches dures et denses comme gros granulat lorsque l'on fabrique des BHP. La forme des particules du gros granulat est aussi importante du point de vue rhéologique. Durant le concassage, il faut essayer de générer autant que possible des particules qui dimension elles (aussi appelées cubiques) plutôt que des particules plates et allongées. Ce dernier type de particules n'est pas recommandé car ces particules sont faibles, elles peuvent même quelque fois faciliter casser entre les doigts et produire des bétons qui auront une moins bonne maniabilité qu'il faudra compenser en augmentant le dosage en super plastifiant pour obtenir un affaissement donné [5].

Du point de vue de leur forme et de leur résistance, les meilleurs granulats pour fabriquer des BHP sont probablement les graviers glaciaires ou même les graviers fluvio-glaciaires parce qu'ils sont généralement constitués de particules qui correspondent aux parties les plus dures des roches qui ont été écrasées par les glaciers et qu'ils ont été bien nettoyés par les eaux qui les ont traversés lors de la fonte des glaciers [1].

## I.4.3. Les adjuvants

### I.4.3.1. Définition

Les adjuvants sont des matériaux actifs ajoutés en très petite quantité (souvent liquide) : moins de 5% de la masse de ciment. Ils ont pour but d'influencer certaines propriétés par une action chimique ou physique. Ils ne doivent pas modifier défavorablement la durabilité du béton ou toute autre propriété du béton armé.

Un adjuvant n'est pas un palliatif. Il n'a pas pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'une mise en œuvre défectueuse. Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique [9].

Suivant leurs actions principales, même s'ils ont plusieurs actions secondaires en :

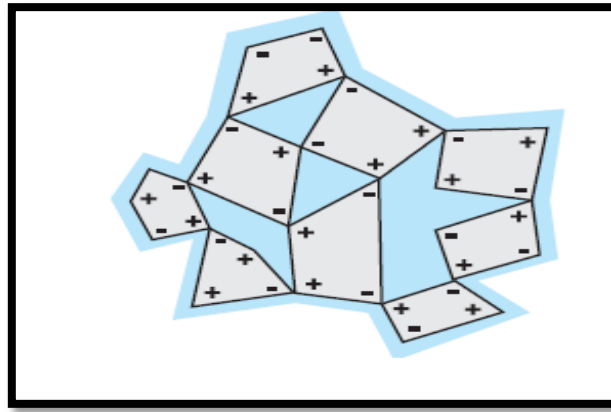
- Plastifiant/réducteur d'eau.
- Super-plastifiant /haut réducteur d'eau.
- Entraîneur d'air.
- Accélérateur de prise.
- Accélérateur de durcissement.
- Retardateur de prise.
- Hydrofuge de masse.
- Plastifiant/réducteur d'eau/retardateur de prise.
- Superplastifiant/haut réducteur d'eau/retardateur de prise.
- Plastifiant/réducteur d'eau/accélérateur de prise.

#### **I.4.3.2. Superplastifiant**

La sélection d'un superplastifiant 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 superplastifiant ne réagissent pas de la même façon avec tous les ciments [1].

La surface de chaque grain de ciment contient des charges électriques libres. Les charges supposées s'attirent mutuellement. Au contact de l'eau, les grains s'agglomèrent alors en floculats.

L'eau de gâchage qui se trouve entre ces floculats sera toute fois emprisonnée (figure I.5). A partir de ce moment, elle ne contribuera plus à la fluidité de la pâte de ciment. L'ajout d'une quantité supplémentaire d'eau de gâchage sera nécessaire pour obtenir l'ouvrabilité souhaitée [13].



**Figure I.5 :** Des charges opposées sur la surface des grains de ciment provoquent la floculation.

#### I.4.3.2.1. Intérêt de leur utilisation

La maniabilité des bétons classiques dépend essentiellement du dosage en eau. Malheureusement, l'augmentation de la teneur en eau conduit à la modification des propriétés du béton : à long terme, chute des résistances mécaniques, porosité accrue et donc durabilité réduite ; à court terme, ségrégation accrue et perte d'homogénéité du matériau [14].

Les BHP sont définis par trois critères : résistance, durabilité et ouvrabilité. Aitcin et al. [15] ont pensé que les aspects les plus importants à développer sont la fluidité et la capacité de mise en œuvre. Ces suggestions nécessitent l'utilisation des super-plastifiants qui peuvent procurer au béton d'excellentes fluidité et résistance à la ségrégation grâce à leur propriété dispersante. Ils permettent de défloculer les grains de ciment ayant tendance à se regrouper en grappes une fois introduits dans l'eau. Leur rôle est donc essentiellement de modifier l'équilibre des forces existant entre les particules de ciment [15].

Les trois propriétés des BHP citées ci-dessus sont encore améliorées lorsque les superplastifiants sont associés à d'autres produits tels que la fumée de silice, les cendres volantes, le laitier.

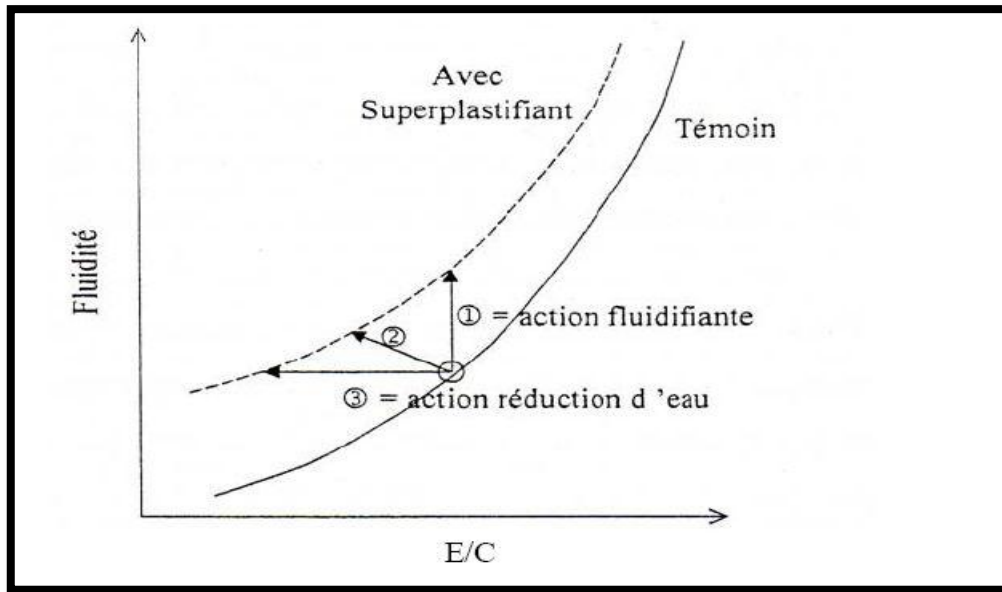


Figure I.6 : Les utilisations des super-plastifiants.

I.4.3.2.2. Mécanisme de dispersion

Les grains de ciment Portland présentent un grand nombre de charges électriques sur leurs surfaces, si bien que lorsqu'ils rentrent en contact avec un liquide aussi polaire que l'eau, ils ont tendance à flocculer (représentation schématique sur la figure I.7) [4].

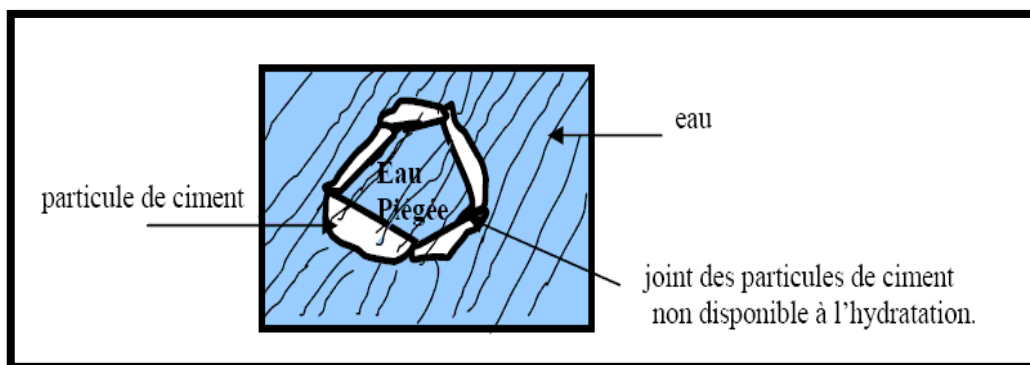
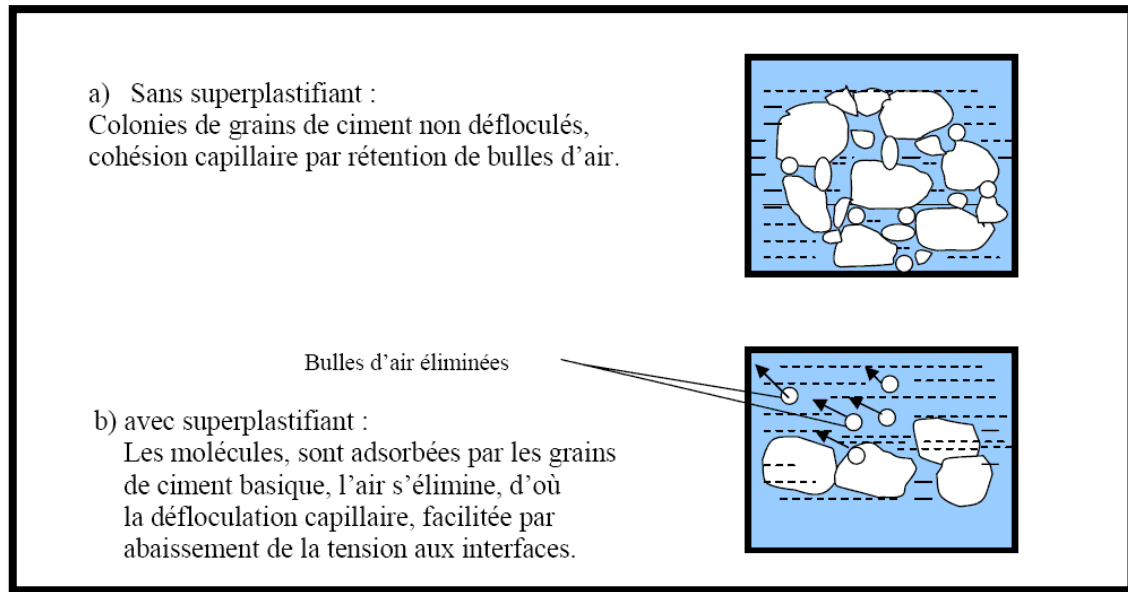


Figure I.7 : Flocculat de ciment en l'absence de superplastifiant [15].

La figure I.8 montre l'influence d'un superplastifiant sur les amas de ciment. Suite à la défloculation, une dispersion des bulles d'air et en parallèle une lubrification par adsorption sur les parois des grains sont observées.

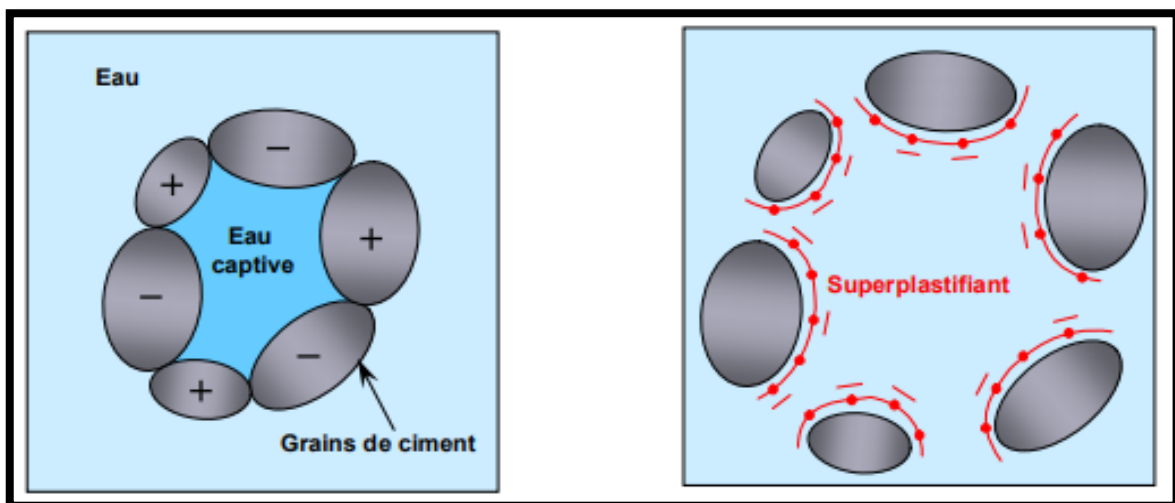
Les superplastifiants de deuxième génération sont les plus efficaces. Ils améliorent la dispersabilité, permettent une stabilité de dispersion à long terme, une excellente ouvrabilité et une résistance à la ségrégation [14].





**Figure I.8 :** Mécanisme de floculation avec et sans superplastifiants [15].

Les super-plastifiants sont des réducteurs d'eau à haute efficacité. Leur mode d'action principale est d'augmenter la maniabilité des bétons par le phénomène de dispersion (Figure I.9) en brisant la dynamique des forces électrostatiques qui existe entre les particules de ciment présentant des charges électriques différentes [16].



**Figure I.9 :** Effet du superplastifiant sur les grains de ciment par le phénomène de dispersion [16].

### I.4.3.3. Différents types de superplastifiant

La découverte des plastifiants et plus particulièrement des superplastifiants très puissants dans les années 1970 ont constitué un véritable tournant. Ils peuvent classés historiquement dans les familles suivantes :

- 1ere génération : poly-naphtalène-sulfonate (PNS) ;
- 2eme génération : polymélamine-sulfonates (PMS) ;
- 3eme génération : polycarboxylates (PC), et hybrides avec chaines sulfonates ;
- 4eme génération : poly-carboxylates-polyox (PCP) et poly-phosphonates-polyox.

### I.4.4. L'eau de gâchage

Le "gâchage" est l'opération irréversible de l'eau au ciment. Cette opération se poursuit par le malaxage. L'eau de gâchage est la quantité totale d'eau que l'on utilise pour faire le béton. La résistance finale d'un béton dépend du rapport **E/C** (masse d'eau / masse de ciment) du mélange. En général toutes les eaux conviennent si elles ne contiennent pas d'éléments nocifs qui influenceraient défavorablement le durcissement (matières organiques telles que huiles, graisses, sucres...) ou la corrosion des armatures (acides humiques, eaux de mer...).

L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions, adjuvants et autres ajouts, et surtout par les sables [23].

L'eau potable du réseau de distribution convient très bien mais l'eau puisée en eau courante ou dans la nappe phréatique peut en général convenir [17].

### I.4.5. Action des additions minérales

Les ajouts pour béton sont des matériaux présentant une granulométrie très fine que l'on incorpore le plus souvent au ciment, quelque fois également au béton. Les ajouts permettent soit d'améliorer les caractéristiques du béton ou de lui conférer des spécifiques.

L'action des additions concerne aussi bien l'état frais que l'état durci du béton. En premier lieu, à l'état frais, la présence des additions modifie la structure du squelette granulaire du matériau et les frictions entre les composants de la suspension solide dans la phase liquide. En second lieu, au cours de la prise et du durcissement, les particules des additions interagissent dans le processus d'hydratation du ciment et peuvent modifier la structuration des produits hydratés. En troisième lieu, certaines additions ont la capacité de réagir chimiquement en milieu cimentaire pour former de nouveaux produits hydratés qui présentent un caractère liant additionnel à celui résultant de l'hydratation du ciment et que les anglo-saxons précisent sous le terme de «supplementary cementitious matériels». De plus, ces différents aspects de l'action des additions peuvent intervenir de manière simultanée, rendant particulièrement difficile l'évaluation de la contribution des additions minérales aux performances des matériaux cimentaires.

On distinguera deux types de fines : les fines actives (laitiers moulu, cendre volantes, fumé de silice, pouzzolanes broyées...) et les fines inertes (fines calcaires, ou de broyage de roches massives...).

#### **I.4.5.1. Le filler calcaire**

Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80  $\mu\text{m}$ , il a pour rôle de remplir les vides entre les sables et les graviers, tout en présentant une certaine activité physico- chimique en favorisant l'hydratation des silicates tricalciques [18].

Aitcin et al estiment qu'en plus de son rôle principal, qui est de densifier la matrice de mortier, le filler calcaire aurait une certaine réactivité chimique qui contribuerait à augmenter les résistances en compression par la formation de carboaluminates [1].



**Figure I.10** : filler calcaires une poudre ressemblant au ciment (Source Privé).

#### **I.4.5.2. Le laitier**

Le laitier de haut fourneau est un sous-produit de la fabrication de la fonte dans le haut fourneau à partir de minerai de fer (les oxydes  $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  en proportions variables), de coke et éventuellement d'un fondant. On le recueille liquide vers 1550°C au-dessus de la fonte (gravitation de la fonte en fusion) [4].



**Figure I.11** : Laitier de haut fourneau granulé broyé.

#### **I.4.5.3. Les Cendres volantes**

Lors de sa combustion dans les centrales thermiques, le charbon pulvérisé passe à travers une zone de très haute température dans le four. Les composants volatiles et le carbone sont brûlés, tandis que les impuretés minérales tel que l'argile, le quartz et le feldspath passent en fusion. Les produits en fusion sont rapidement entraînés vers la zone froide où ils se solidifient en de petites sphères de verre. La majorité de ces sphères sont emportées par le courant gazeux vers l'extérieur. Ces cendres sont récupérées dans un précipiteuse électrostatique [19].



**Figure I.12** : Cendres volantes.

#### I.4.5.4. La fumée de silice

Également appelées « fumées de silice » ou « poussières de silice » ou encore « microsilice », les fumées de silice sont un sous-produit de l'électrometallurgie du silicium et de ses alliages. On charge un four avec du quartz, de la houille et parfois des copeaux de métal. L'ensemble est porté à une très haute température (1500-2000°C) par des arcs électriques. On obtient d'une part le silicium liquide et d'autre part des gaz chargés de poussières dont certains s'oxydent à l'air libre pour donner des fumées de silice.

En tant que sous-produits industriels, leur nature ne fait l'objet d'aucun contrôle lors de sa fabrication. Leurs caractéristiques physico-chimiques peuvent être assez dispersées, non seulement d'une usine à l'autre mais encore à l'intérieur même d'une unité de fabrication : la fumée de silice est un matériau très variable [20].



**Figure I.13** : Poudre de fumée de silice.

### I.5. Malaxage

Les divers constituants d'un béton sont malaxés de façon à avoir un matériau de composition homogène, ayant par la suite des propriétés uniformes.

Lors d'un essai en laboratoire, il est nécessaire d'adopter rigoureusement une même procédure de malaxage des mélanges afin d'avoir des matériaux ayant des propriétés quasi constantes pour chaque gâchée. Cela concerne à la fois le temps de malaxage, la vitesse de malaxage et la séquence d'introduction des constituants dans le malaxeur. Selon Neville [21], ces paramètres influent de manière significative sur la teneur en air du mélange [6].



**Figure I.14 :** Malaxage du béton.

### **I.5.1. Les paramètres du malaxage**

Une fois déterminé l'appareil adapté au béton à réaliser, le malaxage, pour être efficace, doit prendre en compte certains paramètres [22] :

- Le temps de malaxage.
- La vitesse de rotation de la cuve.
- L'ordre d'introduction des composants.

### **I.5.2. Ségrégation**

Les risques de ségrégation lors du malaxage, par séparation des granulats de dimensions très différentes sont, par la nature même des bétons à hauts performances, moindres que dans les bétons traditionnels [23].

### **I.5.3. Modalités de malaxage**

Comme pour les bétons traditionnels, les constituants « actifs » (ciment, addition) doivent être introduits en dernier dans les mélangeurs, immédiatement avant mise de l'eau.

Certaines techniques particulières comme la confection préalable d'un coulis introduit ensuite dans le mélange granulaire sont possibles, sous réserve de mises au point préalables.

Compte tenu de l'importance relative plus élevée que dans les bétons classiques de la quantité d'eau apportée par les sables et éventuellement les additions humides, il est essentiel de bien connaître cet apport d'eau.

Il en découle que dans les usines de préfabrication confectionnant toujours le même béton, il est judicieux employer des appareils de conduite permettant de contrôler en continu la consistance des bétons frais (wattmètre...) [23].

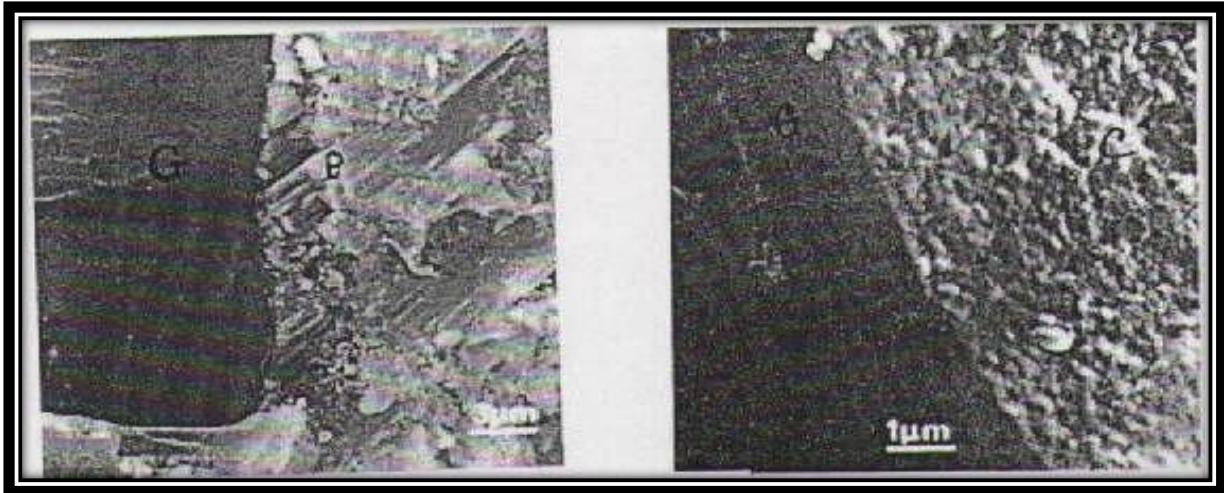
## I.6. Microstructure des BHP

La réduction du rapport E/C entraîne une augmentation de la résistance, il ya cependant une limite à ce rapport qui est liée à la maniabilité du béton frais. Lors de la formulation des bétons H.P, on réduit le dosage en eau par étalement de la partie fixe de leur granularité et par ajout de superplastifiant ou des hauts réducteurs d'eau; cet état initial explique pour un large part la microstructure du béton durci.

L'utilisation des fluidifiants pour une meilleure dispersion des particules solides permet une réduction du rapport E/C. Des études en résonances magnétique nucléaire du proton ont montré que le fluidifiant s'absorbe sur les particules solides formant des pellicules dans les quelles les molécules d'eau gardent une grande mobilité. A l'effet pelliculaire s'ajoute celui de la dispersion des particules solides, les deux créant une meilleure rhéologie de suspension.

Si on s'intéresse aux volumes non solides (liquide ou gaz) du béton durci et en affinant progressivement l'échelle d'observation, on trouve les vides suivants :

- Les bulles d'air occlus entraînées lors de malaxage du béton en faible quantité du fait de la fluidité du béton H.P.
- Les interfaces pâte- granulats : les caractéristiques pâtes de ciment – granulats comprennent la surface de fracture, la fissuration, la composition et la texture des hydrates.
- Sur la surface lisse des granulats le dépôt d'hydrates est composé d'un film de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  et de fibre de silicate C-S-H, ce dépôt n'est liée que très faiblement aux granulats et se détache facilement.
- Les vides constitués des vestiges des espaces inter granulaire de la pâte fraîche : ces interstices sont incomplètement comblés par les hydrates du fait de la contraction et de la non combinai son d'une partie de l'eau de gâchage, mais l'eau libre est en quantité très limitée dans les bétons H.P et T.H.P grâce au faible dosage initial. Par ailleurs dans cette gamme de rapports E/C, la quantité d'hydrates est probablement plus faible que dans un béton ordinaire ayant le même dosage en ciment.
- Les vides présents dans la structure et même dans des hydrates: ces vides sont à l'échelle de nanomètre.



**Figure I.15 :** Interface pâte de ciment- granulats cristaux de  $\text{Ca(OH)}_2$  orientés (P) sur le granulat [24].

En fin la microstructure des bétons à hautes et à très hautes performances est très dense et globalement amorphe, et elle comporte un volume inhabituel de grains anhydres (restes de ciments non combinés par manque d'eau disponible). En plus les interfacespâte- granulats sont peu poreux et ne pressentent pas l'accumulation de cristaux de chaux [4].

## I.7. Facteur influençant sur le comportement mécanique du BHP

### I.7.1. Influence du rapport E/C

Durant des années, la fabrication du béton n'a nécessité que des granulats, du ciment et de l'eau. Ce dernier composant remplit un double rôle :

- ❖ l'une physique qui confère au béton ses propriétés rhéologiques, et l'autre chimique qui contribue au développement des réactions dites d'hydratation.

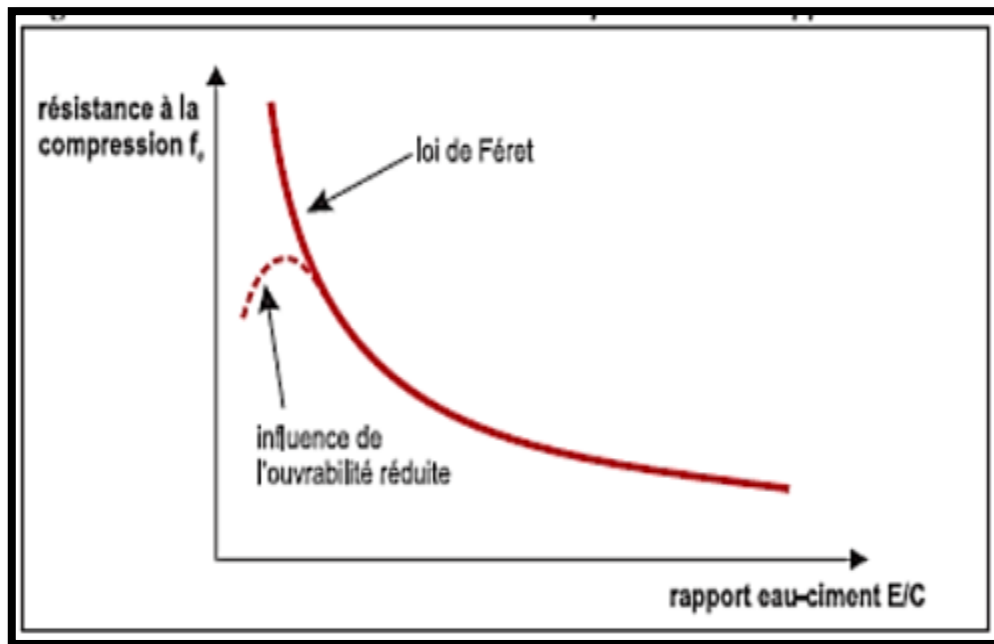
En effet, pour un mélange granulaire sec, l'ajout d'eau agit tout d'abord comme un lubrifiant entre les particules qui ont le plus de facilité à glisser les unes sur les autres et à se placer de façon optimale [5] Mais, les ciments ne le permettent pas d'une part, parce que les particules de ciment présentent de très nombreuses charges électriques superficielles non saturées et ont alors tendance à flocculer lors qu'elles sont mises en contact avec un liquide aussi polaire que l'eau. D'autre part, la réaction d'hydratation se développe aussi tôt que le ciment est mis en contact avec l'eau. Jouant une fonction rhéologique qui permet d'assurer la maniabilité du béton frais, l'idéal serait tout de même que la quantité d'eau nécessaire à la rhéologie du béton soit strictement celle nécessaire à l'hydratation du ciment.

En effet, si la quantité d'eau nécessaire pour une hydratation complète est de 25 à 30 % de la masse de ciment, près du double de cette quantité est nécessaire pour obtenir une maniabilité



suffisante sans adjuvantation (47% en pratique) [5]. De multiples recherches ont montré l'effet bénéfique d'une diminution du rapport E/C sur le développement des résistances mécaniques du béton.

La résistance du béton diminuera ou augmentera. Ce constat n'est pas neuf. Dès 1894, le Français René Féret avait postulé cette conclusion de manière empirique (Figure I.16). L'augmentation de la résistance est cependant limitée. À partir d'un rapport eau/ciment trop faible, le béton ne peut plus être mis en œuvre. Les vides et les pores qui en résultent réduisent à nouveau la résistance, comme précisé dans l'illustration [25].



**Figure I.16** : Relation entre la résistance à la compression et le rapport E/C [25].

### I.7.2. Propriété des gros granulats

Comme les trois quarts du volume d'un béton sont occupés par les granulats, il n'est pas étonnant que la qualité de ces derniers revête une grande importance. Non seulement les granulats peuvent limiter la résistance du béton, mais selon leurs propriétés, ils affectent la durabilité et les performances structurelles du béton.

La sélection des granulats doit être faite avec beaucoup de soin au fur et à mesure qu'augmente la résistance visée ; puisque les granulats peuvent devenir le chaînon le plus faible où va s'initier la rupture du béton lorsqu'il sera soumis à des contraintes élevées. La contrainte à partir de laquelle se développent les fissures dépend en grande partie des propriétés des gros granulats telles que : leur forme, leur nature, leur propreté, leur porosité, leur état de surface, leur courbes granulométriques [5].

## I.8. Caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des BHP

### I.8.1. Caractéristiques physico-chimiques

#### I.8.1.1. 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 en suite pour former les différents produits d'hydratation qui occupent progressivement une partie de l'espace initialement rempli d'eau.

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 [1].

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. Les dimensions et le volume des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les propriétés physiques et mécaniques du béton [5].

#### I.8.1.2. Ouvrabilité

C'est 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 17 à 24 cm, mais il faut impérativement étudier :

- ✓ le choix du ciment et du super-plastifiant ;
- ✓ les granulats (module de finesse du sable) ;
- ✓ 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 ;
- ✓ 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.

L'ouvrabilité du béton dépend de plusieurs facteurs :

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

**I.8.1.3. Durabilité**

Etant donné la structure plus dense des pores du béton de hautes performances, ce matériau affiche un meilleur comportement face aux mécanismes d'agression. La plupart des processus de dégradation sont en effet causés par l'entrée de substances agressives, telles que des chlorures, du dioxyde de carbone, des acides, ... Si la pénétration de ces substances dans le béton est entravée, comme dans le cas du BHP, les processus de dégradation y afférant ne pourront bien évidemment se produire que bien plus tard. Quoiqu'il en soit, il convient toujours de veiller à la pureté des éléments constitutifs du béton, afin d'éviter toute agression par des mécanismes internes (présence de sulfates, d'alcalis, de granulats réactifs, ...).

Toute fois, la durée d'utilisation d'une construction est en grande partie également déterminée par les conditions d'exécution. Dans ce cadre, nous avons déjà fait allusion ci-dessus au risque de fissuration prématurée résultant des effets thermiques et du retrait (principalement endogène). La présence de telles fissures peut influencer sensiblement la durabilité de la construction [13].

**I.8.1.4. Imperméabilité**

Leur faible porosité capillaire confère aux BHP une très faible perméabilité.

**I.8.1.5. 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, etc.).

**I.8.1.6. Migration des ions chlorure**

La résistance des BHP à la migration des ions chlorures est largement supérieure à celle des bétons courants, grâce à sa microstructure plus dense.

**I.8.1.7. 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 [26].

La faible perméabilité des BHP et le faible rapport E/C favorisent une résistance plus importante aux risques d'écaillage. Il est possible de formuler des BHP qui résistent bien aux cycles gel/dégel et à l'écaillage sans ajouts d'entraîneur d'air.

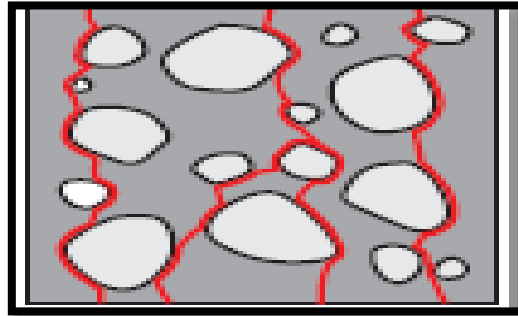
### I.8.1.8. Carbonatation

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. En effet, le réseau poreux, peu connecté limite la diffusion du gaz carbonique au sein de la matrice cimentaire. La faible porosité initiale favorise le colmatage des pores lié à la formation des cristaux de calcite. La progression de la carbonatation en profondeur est réduite, ce qui assure une meilleure protection des armatures [26].

### I.8.2. Caractéristiques mécaniques

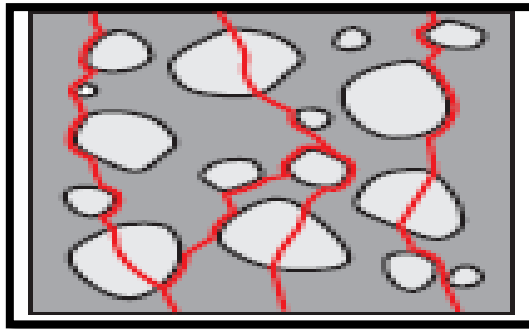
#### I.8.2.1. Résistance à la compression

Lorsqu'un béton doté d'une résistance normale est comprimé, les fissures d'adhérence entre la matrice de mortier et le granulat se propageront autour des granulats. A un niveau proche de la résistance à la compression, ces fissures d'adhérence se propageront à toute la matrice de mortier, entraînant l'apparition de fissures dans le mortier. En définitive, le béton cèdera sous l'effet de tout un réseau de fissures ininterrompues dans le mortier, alors que les granulats ne subiront aucun dommage (Figure I.17).



**Figure I.17 :** Bétons ordinaire.

Le béton à hautes performances se caractérise par une meilleure adhérence entre les granulats et la matrice de ciment. En outre, la résistance de la matrice sera pratiquement égale à la résistance des granulats. Dès lors, l'apparition et le développement de fissures d'adhérence ou de microfissures seront retardés. A l'approche de la rupture, les fissures se seront désormais généralement propagées au travers des granulats (Figure I.18)



**Figure I.18** : Béton à haute performance.

Les BHP sont divisés en cinq grandes catégories correspondant chacune à une plage de résistance de 25 MPa :

- ✓ La classe I représente les BHP qui ont une résistance à la compression comprise entre 50 et 75 MPa,
- ✓ La classe II représente une résistance comprise entre 75 et 100 MPa,
- ✓ La classe III représente une résistance comprise entre 100 et 125 MPa,
- ✓ La classe IV une résistance comprise entre 125 et 150 MPa,
- ✓ Enfin la classe V une résistance supérieure à 150 MPa. Quant aux deux dernières classes correspondent aux bétons à très haute performances (BTHP) (Tableau I.2) [1].

Classe des BHP	I	II	III	IV	V
Résistance à la compression MPa	50	75	100	125	150

**Tableau I.2** : Différentes classes de BHP [1].

### I.8.2.2. Résistance en traction

Généralement, la résistance à la traction du béton est liée à la résistance à la compression. En ce qui concerne le béton conventionnel, différentes formules sont appliquées.

Une formule différente est proposée pour le béton à haute résistance par rapport au béton conventionnel. Un élément essentiel est cependant le caractère fragile du béton à hautes performances, signalé ci-dessus. Dès que la résistance est atteinte, la portance tendra très rapidement vers la valeur zéro.

### I.8.2.3. La résistance à la traction par flexion

La résistance à la flexion croit sensiblement par rapport à la résistance en compression ; la relation entre la résistance à la compression et celle à la traction est de l'ordre de 1/10 à 1/13; mais lorsque la résistance à la compression est de l'ordre de 100 MPa, la valeur du rapport ( $R_t/R_c$ ) est beaucoup plus petite, de l'ordre de 1/20.

### I.8.2.4. Module d'élasticité

Le module d'élasticité des BHP est supérieur à celui des bétons traditionnels.

- Elle correspond au rapport de la contrainte unitaire à la déformation relative.

Son expression est donnée par la relation suivante :

$$E = \frac{\text{contrainte unitaire}}{\text{déformation relative}} = \frac{\sigma}{\varepsilon}$$

### I.8.2.5. Plasticité

La plasticité est la propriété d'un matériau de changer sa forme sans se fissurer et de garder cette forme après l'enlèvement de la charge [27].

### I.8.2.6. 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) [5].

### I.8.2.7. Le Fluage

Le fluage du béton à hautes performances c'est-à-dire la déformation croissante sous l'effet d'une contrainte constante est fréquemment inférieur au fluage observé pour un béton de résistance conventionnelle. L'âge du béton au moment de la sollicitation est également extrêmement important pour le BHP. Lorsque la charge est exercée sur un béton jeune, la déformation par fluage sera plus importante que dans le cas d'un béton plus âgé. Il en va de même en ce qui concerne le béton conventionnel.

Dans les structures précontraintes, l'utilisation de BHP permet de réduire les pertes de précontrainte associées aux déformations différées du béton. Ce faible fluage permet d'augmenter l'efficacité de la précontrainte et de faciliter le contrôle géométrique des ouvrages. L'utilisation de BHP avec fumée de silice conduit donc à des réductions de déformations différées et des redistributions d'efforts plus faibles [28].

### I.9. Avantage des BHP

- Permet des bétonnages complexes dans des conditions d'accès difficiles ;
- Un E/C plus faible par l'utilisation de super plastifiants hauts réducteurs d'eau ;
- Diminution des délais de mise en charge des structures (précontrainte accélérée) ;
- L'optimisation des cycles de coffrage/décoffrages et des séquences de production ;
- Haute résistance en compression, permettant de réduire les sections des éléments de béton [26] ;
- Diminution du retrait pour une limitation des fissures ;
- Son module d'élasticité plus élevé réduisant la déformabilité des structures (augmentation de la raideur), en particulier les flèches, et améliorant la stabilité aérodynamique des ouvrages ;
- Des décentrement et des décoffrages rapides ;
- Son fluage à la fois plus faible et plus bref, simplifiant l'élaboration des interfaces avec le second œuvre et permettant la diminution des valeurs de tension initiale de la précontrainte éventuelle ;
- Élévation du module d'élasticité avec diminution du fluage ;
- Sa faible porosité, d'où sa résistance accrue aux actions dues à l'environnement (pluie, eau de mer, eaux sulfatées, chlorures, gel, etc.) et donc sa durabilité ;
- Élévation de la résistance à l'abrasion ;
- Amélioration de la durabilité aux environnements agressifs (grande résistance à la pénétration d'agents Agressifs et aux cycles gel/dégel, diminution de la réaction alcali-silice) ;
- Renforcement de l'adhérence acier/béton ;
- Des délais avant mise en tension des armatures de précontraints raccourcis ;
- Diminution des sections et des densités de ferrailage et augmentation des portées (Résistance finale élevée).

### I.10. Principaux domaines d'applications et principales de BHP

Les BHP sont utilisés dans les constructions de toutes tailles quand on cherche à obtenir des résistances mécaniques très élevées, des structures compactes ou des diminutions de section.

Les BHP sont utilisés notamment pour la réalisation de :

- Préfabrication ;
- Ponts routiers ;
- Bâtiments de bureaux ;
- Parkings, tunnels et travaux souterrains ;
- Ouvrages d'art et de génie civil, ponts routiers ;
- Plates-formes d'exploitation et de stockage ;
- Ouvrage en site maritime ;
- Ouvrages de l'industrie chimique ou du nucléaire, bâtiments agricoles.

➤ Exemples d'application du 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 [1].



Figure I.19 : Pont de l'île de Ré.



Figure I.20 : Gare de Bordeaux-Saint-Jean (France).





**Figure I.21** : Pont de Normandie (France).

## **I.11. Formulation des BHP**

La recherche des hautes performances passe par la réduction de la porosité du béton durci, c'est-à-dire de son pourcentage de vides.

En effet, les dimensions et les volumes des pores capillaires sont les principaux paramètres qui régissent les résistances mécaniques du béton et les propriétés de transfert déterminantes pour la durabilité. L'optimisation de la formulation d'un BHP consiste à diminuer la porosité de la matrice cimentaire et à optimiser le squelette granulaire [13].

### **I.11.1 Les étapes de la formulation**

La formulation d'un BHP suit les trois principales étapes suivantes :

#### **A/ Détermination d'une formule théorique prévisionnelle :**

- Sélection des constituants en fonction de l'expérience locale.
- Détermination des proportions des constituants.
- Optimisation du squelette granulaire.

#### **B/ Optimisation du mélange en laboratoire:**

- Validation de la compatibilité ciment / adjuvant.
- Ajustement de la quantité de pâte et de l'adjuvantation.
- Vérification du comportement rhéologique du béton frais.

- Analyse de la sensibilité de la formule aux variations des dosages des divers constituants.
- Analyse de la sensibilité de la formule aux conditions climatiques possibles lors de la mise en œuvre (température).

**C/ Validation de la formule:**

- Vérification du comportement rhéologique du béton frais.
- Vérification des éventuelles spécifications complémentaires telle que la pompabilité.
- Vérification des caractéristiques du béton.

**I.12. Méthode de formulation**

L'objectif de toutes les méthodes de formulation des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible [1].

La méthode de formulation permet aussi de calculer un mélange de départ que l'on pourra plus ou moins modifier pour obtenir les propriétés désirées à partir de quelques gâchées d'essai. Bien que les méthodes de formulation des BHP relèvent encore plus d'un art que d'une science, il est certain qu'elles reposent aussi sur des principes scientifiques qui sont à la base de toutes les formulations de béton. A ce titre il y a lieu de présenter quelques méthodes de formulation.

- La méthode de L'Université de Sherbrooke ;
- Méthode présentée par Mehta et Aitcin(1990) ;
- Méthode suggérée par le comité ACI 363 (1993) ;
- Méthode proposée par de Larrard (dite des coulis du LCPC en 1990).

**I.13. Conclusion**

Dans ce premier chapitre nous avons exposé une analyse bibliographique sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton à haute performance. Nous avons donné un concept général, et d'après la description des constituants du BHP, ensuite on a pu voir les facteurs qui influent sur les performances des BHP, ainsi que les avantages et les domaines d'utilisations des BHP. Enfin une notion de durabilité des BHP, un aspect qui a une grande importance, notamment pour les ouvrages situés dans un milieu agressif contenant des sulfates et des chlorures tel que le milieu marin.

# Chapitre II :

*Matériaux et formulation des  
bétons d'étude*

## II.1. Introduction

Le béton à haute performance est un matériau hétérogène dont les caractéristiques physico-chimiques et mécaniques des divers constituants sont différentes. Composé essentiellement de granulats (gravier, sable et filler), de ciment, d'eau de gâchage et d'adjuvants pour améliorer ou acquérir certaines caractéristiques ou propriétés pour faire face à des situations bien définies. Chacun de ses composants joue un rôle bien précis dans le mélange.

Cependant, dans un essai de recherche, on peut dire, que tout est normalisé, la première étape : nous allons caractériser les matériaux employés dans cette étude, en présentant leurs propriétés physiques, chimiques et mécaniques. La deuxième étape : nous expliquons la méthode de formulation utilisée, après avoir défini les différentes compositions des bétons étudiées. la dernière étape, c'est-à-dire jusqu' à l'écrasement de l'éprouvette.

## II.2. Caractéristiques des matériaux utilisés

### II.2.1. Ciment

Le ciment utilisé dans cette formulation est un ciment Portland composé de type CPJ-CEM II/B-L 42,5N. De provenance de la SPA BISKRIA CIMENT.

Les différentes caractéristiques que soit chimiques, physiques ou mécaniques du ciment utilisé sont établies sur les fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'usine même. Les différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants :

<b>Composition minéralogique du ciment</b>		
<b>Eléments</b>	<b>Abréviation</b>	<b>Teneur (%)</b>
<b>Silicates tri calciques</b>	<b>C<sub>3</sub>S</b>	56.60
<b>Silicates bi calciques</b>	<b>C<sub>2</sub>S</b>	22.98
<b>Aluminates tri calciques</b>	<b>C<sub>3</sub>A</b>	9.87
<b>Alumino-ferrites tetracalciques</b>	<b>C<sub>4</sub>AF</b>	8.25

**Tableau II.1:** Composition minéralogique.

Composition chimique du ciment									
Na <sub>2</sub> O	CaO	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Cl	P.A.F
0.27	60.24	23.25	5.69	5.04	0.74	0.45	1.34	0.006	1.67

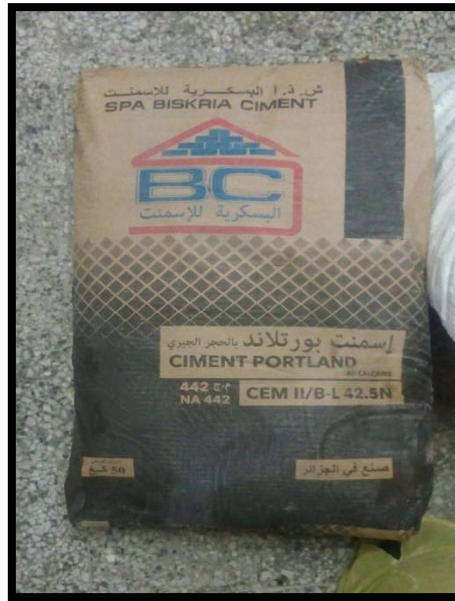
Tableau II.2 : Propriétés chimiques du ciment utilisé.

Propriétés physiques du ciment				
Temps de prise		Consistance Normale	Masse volumiques (g/cm <sup>3</sup> )	Surface spécifiques (BLAINE)(cm <sup>2</sup> /g)
Début de Prise	Fin de Prise	26.91	3.1	3891
2h50min	4h06min			

Tableau II.3: Propriétés physiques du ciment.

Résistance mécaniques du ciment (MPa)			
Essais	Age		
	2 jours	7 jours	28 jours
Compression	13.6	24.6	42.6
Flexion	2.59	4.81	6.60

Tableau II.4 : Résistance mécaniques du ciment.



**Figure II.1:** Ciment CPJ CEM II/B-L 42,5N utilisé.

## II.2.2. Granulats

### ➤ Gravier

Tous les bétons ont été fabriqués avec du gravier concassé de calcaire dont le diamètre maximal ( $D_{max}$ ) est de 25 mm. Trois (03) fractions granulaires ont été employées : un gravier (G1) de classe granulaire (3/8), un gravier (G2) de classe granulaire (8/15), et un gravier (G3) de classe granulaire (15/25), de la carrière de Chelghoum-laid wilaya de Mila.

La photo suivante présente quelques échantillons de granulats utilisés dans le présent travail.



**Figure II.2 :** Les graviers d'étude.

- **Analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Cet essai est défini par la norme NF EN 933-1.



**Figure II.3** : Colonnes des tamis

Les courbes et l'analyse granulométriques de gravier utilisés sont présentées dans la Figure II.4 et Tableau II.5 si dessous :



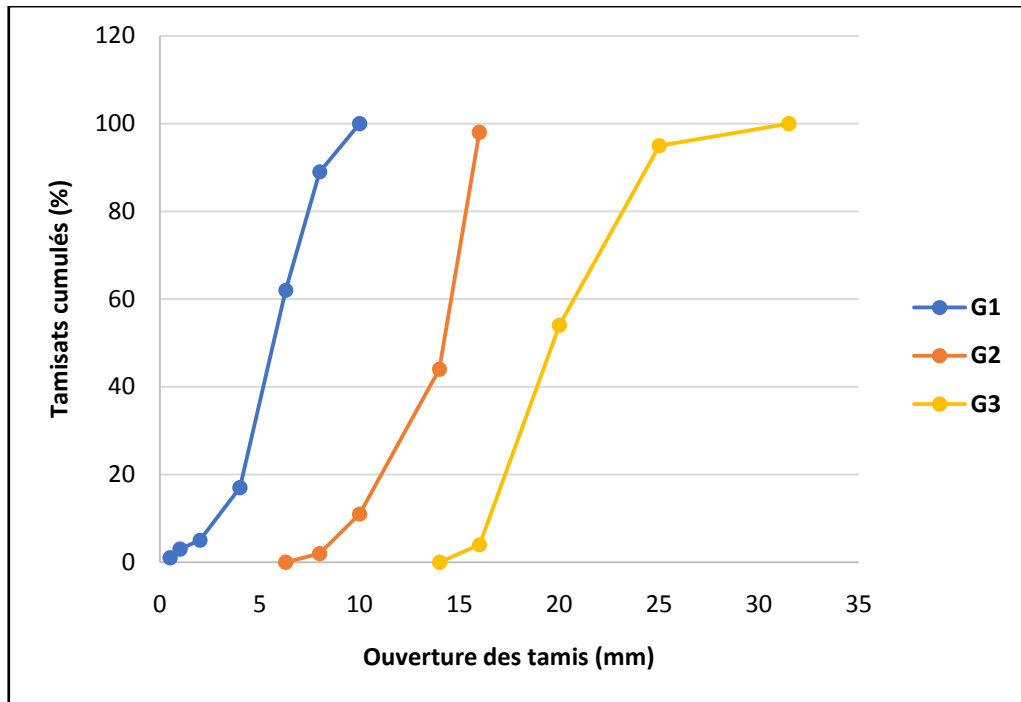


Figure II.4 : Courbe granulométrique des graviers utilisés.

Ouverture des tamis Tamis (mm)	Matériaux		
	G1	G2	G3
31.5	-	-	100
25	-	-	99
20	-	-	54
16	-	98	4
14	-	44	0
10	100	11	0
8	89	2	0
6.3	62	0	0
4	17	0	0
2	5	0	0
1	3	0	0
0.5	1	0	0

Tableau II.5 : Analyse granulométrique par tamisage des graviers utilisés.

➤ **Sable**

Dans notre travail, on a utilisé 3 types de sable, un sable siliceux naturel (S1) de classe granulaire (0/1) avec un module de finesse  $MF1=1.93$  (sable de mer d'Oued Zhour), un sable de carrière (S2) de classe granulaire (0/3) avec un module de finesse  $MF2=3.30$  de la carrière de Chelghoum-laid Wilaya de Mila, et un sable corrigée (S3) qui a été employé afin d'améliorer le module de finesse obtenu par le mélange de 20% du sable S1 et 80% du sable S2, avec un module de finesse  $MF3=3.03$ .



**Figure II.5** : Les sables d'étude.

- **Analyse granulométrique**

C'est la mesure de la distribution dimensionnelle des grains des granulats. L'analyse granulométrique permet également d'évaluer la teneur en éléments fins à travers la valeur du module de finesse, la continuité et la régularité, ainsi de déterminer les proportions massiques des passants cumulés, à travers les tamis de différents diamètres de maille, d'un échantillon de sable ou de gravillon. Les pourcentages de passant cumulé sont représentés sous la forme de courbes granulométriques dans la Figure II.6.

Les courbes granulométriques du sable utilisés pour tous les mélanges sont présentées dans la Figure II.6 et Tableau II.6 si dessous.

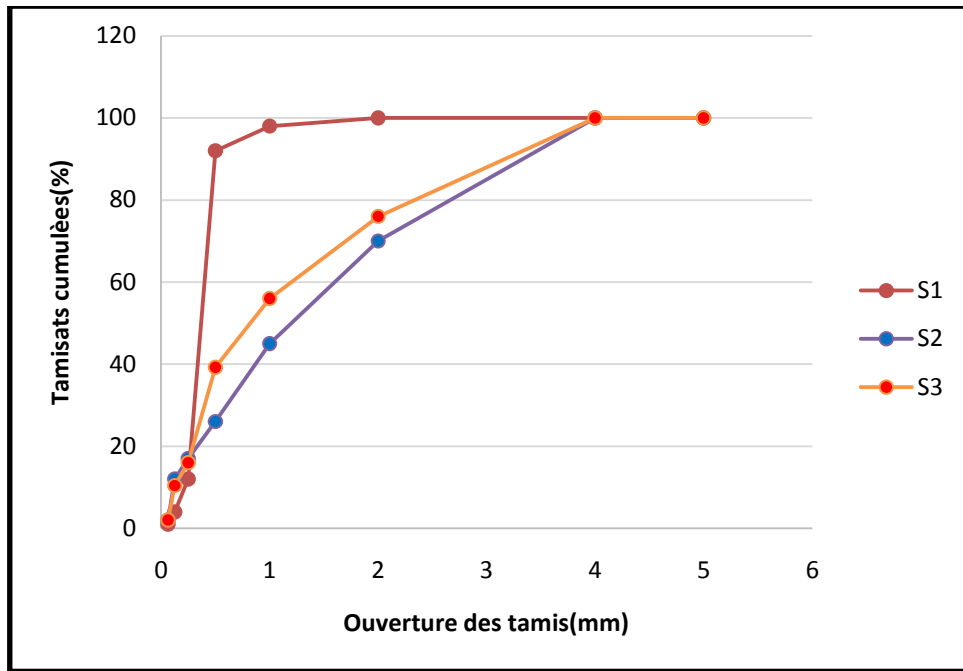


Figure II.6 : Courbes d'analyse granulométrique des sables utilisées.

Ouverture des tamis Tamis (mm)	Matériaux		
	S1	S2	S3
5	100	100	100
4	100	100	100
2	100	70	76
1	99	45	56
0.5	92	26	39
0.25	12	17	16
0.125	4	12	10
0.063	1	2	2

Tableau II.6 : Analyse granulométrique par tamisage des sables utilisés.

➤ **Principe de l'analyse granulométrique**

L'analyse granulométrique a trois buts :

- Déterminer les dimensions des grains ;
- Déterminer les proportions de grains de même dimension (% pondéral) ;
- En déduire le module de finesse (**Mf**).

**a) Caractéristiques physiques et mécaniques**

• **Essai d'équivalent de sable (NF EN 933-8)**

Cet essai est utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons, L'essais consiste à séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci.

L'essai est effectué sur la fraction 0/2 mm du matériau à étudier. Le tamisage se fait pour voie humide afin de ne pas perdre d'éléments fins. On lave l'échantillon, selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- hauteur  $h_1$ : sable propre + éléments fins.
- hauteur  $h_2$  : sable propre seulement.

On en déduit l'équivalent de sable qui, par convention, est (Figure II.7) :  $ES = (h_2 / h_1)100$ .



**Figure II.7** : Définition de l'équivalent de sable.

- **Masses volumiques**

Les masses volumiques apparentes et absolues des différents granulats étudiés naturels ou recyclés sont mesurées d'après la norme NF P 18-554 et 555 [Normes AFNOR], les résultats sont résumés dans le Tableau II.8.

- **Module de finesse (NF P 18-304)**

Le module de finesse d'un sable est égale au 1/100 de la somme des refus exprimés en pourcentage sur les différents tamis de la série suivante : 0.16 ; 0.315 ; 0.63 ; 1.25 ; 2.5 ; 5.

Le module de finesse d'un sable est un paramètre qui détermine la finesse du sable. Un sable grossier ( $2.8 < M_f < 3.2$ ) favorise l'obtention d'une bonne résistance mais risque d'entraîner une moins bonne maniabilité et une possible ségrégation, quant au sable fin ( $1.8 < M_f < 2.2$ ) il facilite la mise en œuvre du béton au détriment de la résistance.

Pour un béton à hautes performances, vu l'importante quantité de fines (ciment et ajout minéral), il est préférable d'utiliser un sable dont son module de finesse est compris entre 2.7 et 3.0 [12].

- **Absorption d'eau**

On détermine un coefficient d'absorption qui est défini comme le rapport de l'augmentation de la masse de l'échantillon après immersion pendant 24 heures à 22°C à la masse sèche de l'échantillon conformément à la norme NF P 18-555.

- **Essai Los Angeles (NF EN 1097-2)**

Los Angeles est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance des granulats à la fragmentation. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6mm créées lors de la fragmentation du matériau testé Tableau II.8.

L'essai consiste à faire rouler dans un tambour rotatif 5000g de matériau (de classe granulaire 10mm à 14mm) et des boulets en acier pendant 500 tours à la vitesse de 31 à 33 tours par minute. A l'issue de l'essai, on recueille le matériau et on évalue la quantité retenue sur le tamis de 1,6mm. Ce refus est séché à 110°C jusqu'à masse constante (m) et on obtient le coefficient Los Angeles par la formule :  $LA=100(m/M)$ .

Coefficient Los Angeles	Qualité de résistance des granulats
LA < 15	très bon
15 ≤ LA < 20	bon à moyen
20 ≤ LA < 30	moyen à faible
LA ≥ 30	Médiocre

Tableau II.7 : Caractéristiques mécaniques des granulats.

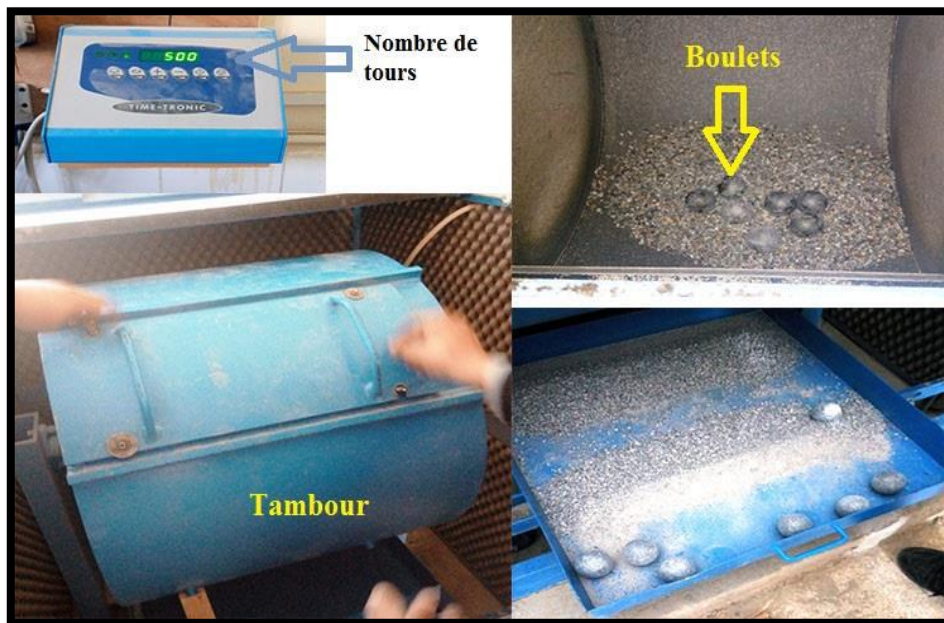
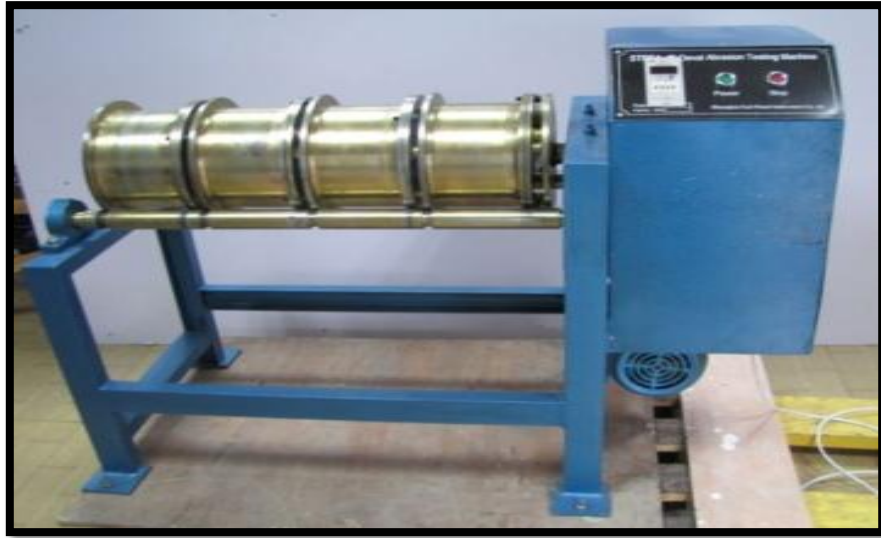


Figure II.8 : Appareil Los Angeles.

- Essai Micro-Deval pour gravillons (NF EN 1097-1)

L'essai Micro-Deval en présence d'eau est l'essai de référence utilisé pour déterminer la résistance à l'usure des granulats. Il permet de déterminer le pourcentage en masse des particules inférieures à 1,6 mm créées lors du frottement réciproque des granulats (attrition). Analogue à l'essai Los Angeles, il utilise une charge plus légère et une durée de rotation plus longue afin qu'il n'y ait pas de fragmentation mais seulement une usure des granulats, Tableau II.9.

Le coefficient Micro-Deval est calculé par la formule :  $MDE = (500 - m') / 5$ .



**Figure II.9 :** Appareil Micro-Deval.

- **coefficient d'aplatissement**

Rappelons que pour une classe granulaire d/D donnée, on peut définir un coefficient d'aplatissement partiel  $A_i$  défini par l'expression suivante :

$$A_i = (M_{ei} / M_{gi}) 100$$

Avec :

$M_{gi}$  : masse de la classe granulaire d/D.

$M_{ei}$  : masse passant à travers le tamis à fentes d'écartement E correspondant.



**Figure II.10 :** Essai d'aplatissement.

Caractéristiques	Matériaux					
	S1	S2	S3	G1	G2	G3
Masse volumique «absolue»	2.60	2.68	-	2.66	2.65	2.64
Masse spécifique «apparente»	1.37	1.55	-	1.44	1.36	1.38
Absorption d'eau	0.25	0.21	-	0.799	0.600	0.488
Coefficient d'aplatissement	-			-	12.40	16.56
Los Angeles	-			27.23		
Micro Deval	-			16.46		
Valeur VBS	-	0.7	-	-		
Equivalent de sable	75.53	78.72	-	-		
Propreté (%)	-			0.095	0.059	0.058
Module finesse	1.93	3.30	3.03	-		

**Tableau II.8 :** Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats utilisés.

### II.2.3. Superplastifiant

Dans le cadre de notre étude, on a utilisé un super-plastifiant haut réducteur d'eau à base de polycarboxylates d'Ether et de dénomination commercial Granitex MEDAFLOW 30.





**Figure II.11** : Superplastifiant (MEDAFLOW 30).

- Les données techniques de super plastifiant sont présentées dans le tableau suivant:

<b>Caractéristiques techniques du super plastifiant</b>						
<b>Dénomination</b>	<b>Densité</b>	<b>pH</b>	<b>Extrait sec</b>	<b>Teneur on ion Cl-</b>	<b>Aspect</b>	<b>Couleur</b>
<b>MEDAFLOW 30</b>	1.07± 0.01	6-6.5	30%	<0.1g/l	Liquide	Brun clair

**Tableau II.9** : Caractéristiques MEDAFLOW 30.

- **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.

- **Propriétés**

- Grâce à ses propriétés le MEDAFLOW 30 permet :

<b>Béton frais</b>	<b>Béton durci</b>
Obtention d'un rapport E/C très faible	Diminuer la porosité
Une très bonne maniabilité	Augmenter les résistances mécaniques
Eviter la ségrégation	Diminuer le retrait et le risque de fissuration
Faciliter la mise en œuvre du béton	
Amélioration considérable de la fluidité	

**Tableau II.10 :** Propriétés MEDAFLOW30.

- **Dosage**

Plage de dosage recommandée est de 0.5 à 2.0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment. Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

- **Domaine d'utilisation**

Le MEDAFLOW 30 peut être utilisé dans divers domaines:

- ✓ Les bétons à hautes performances.
- ✓ Le béton auto-plaçant.
- ✓ Le béton pompé.
- ✓ Les bétons précontraints.

#### **II.2.4. Fumée de silice**

Elle est à base de microsilice provenant de la société « GRANITEX » sous forme de Poudre.



**Figure II.12 :** Fumée de Silice utilisé.

- Cette fumée de silice est désignée par le nom « MEDAPLAST HP », il permet :
  - D'obtenir des bétons durables à résistances mécaniques élevées.
  - D'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques.
- Ses caractéristiques physiques sont présentées au tableau II.11.

Caractéristiques techniques du fumées de silice							
Aspect	Densité	Composition			Surface spécifique	Humidité par étuves à 105°C	Taille des Particules
Poudre	0.5	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Cl-	> 15 (m <sup>2</sup> /gr)	< 1 (1%)	< 0.1 (microns)
		> 85(%)	< 2.5(%)	< 0.2(%)			

**Tableau II.11 :** Caractéristiques fumée de silice.

### II.2.5. Eau de gâchage

L'eau est un ingrédient essentiel du béton. Il joue deux fonctions principales: confère au béton sa maniabilité à l'état frais (propriétés rhéologiques) et assure l'hydratation des grains de ciment pour une prise et un durcissement.

L'eau utilisée pour l'ensemble des essais est celle de l'eau potable delieu Laboratoire des Travaux Publics de L'Est qui répond aux critères d'acceptabilité des normes envigueur.



**Figure II.13 :** L'eau potable convient comme eau de gâchage.

### **II.3. Formulation des bétons d'étude**

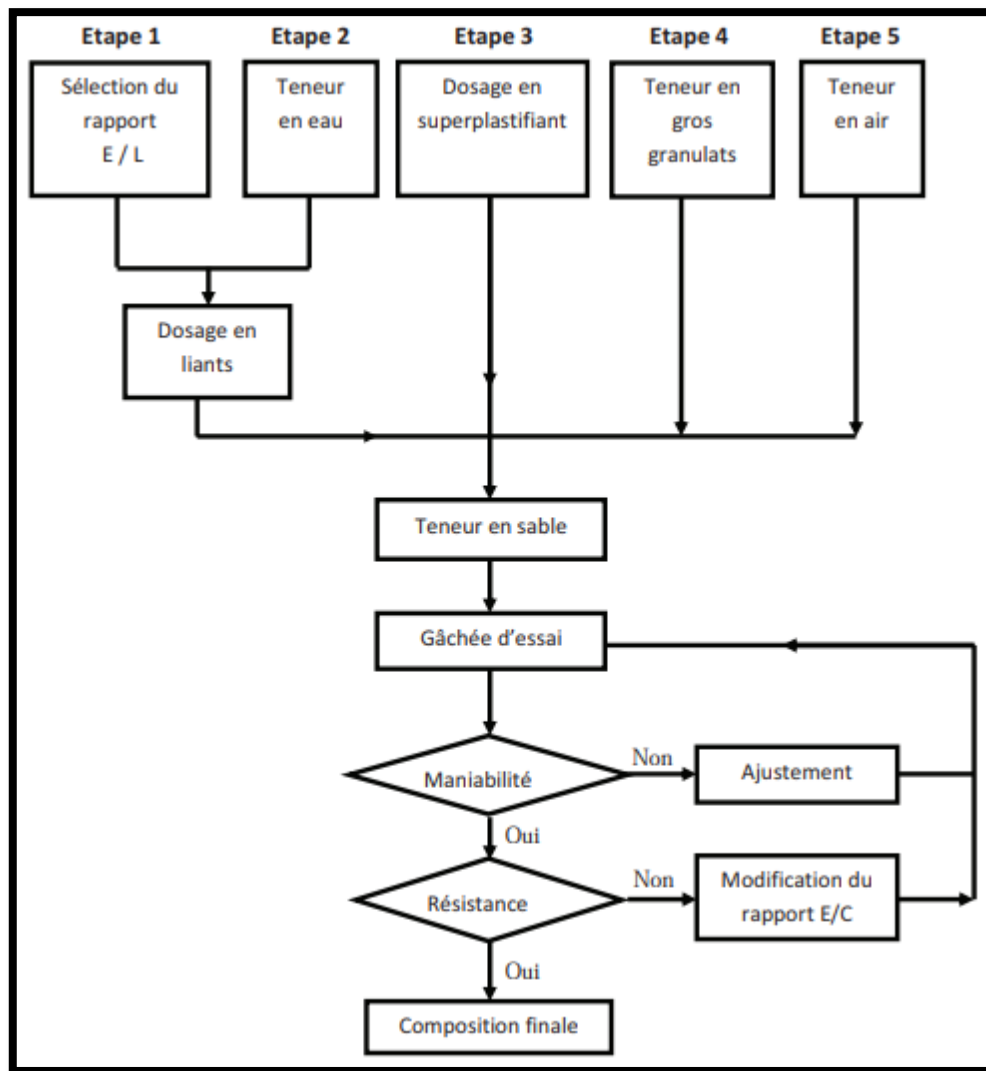
L'objectif de toutes les méthodes de formulations des bétons est de déterminer la combinaison de matériaux à utiliser pour produire le béton qui aura les propriétés désirées et qui sera le plus économique possible. Ainsi l'accroissement des performances mécaniques.

Nous utiliserons la méthode de l'université Sherbrooke ajustée pour la formulation des BHP d'étude.

#### **II.3.1. La méthode de formulation 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(American Concrete Institute). Il s'agit d'une combinaison de résultats empiriques et de calculs basés sur la méthode des volumes absolus. La quantité d'eau contenue dans le superplastifiant est considérée comme faisant partie de la quantité d'eau de gâchage [1].

- L'organigramme de cette méthode est présenté dans la Figure suivante :

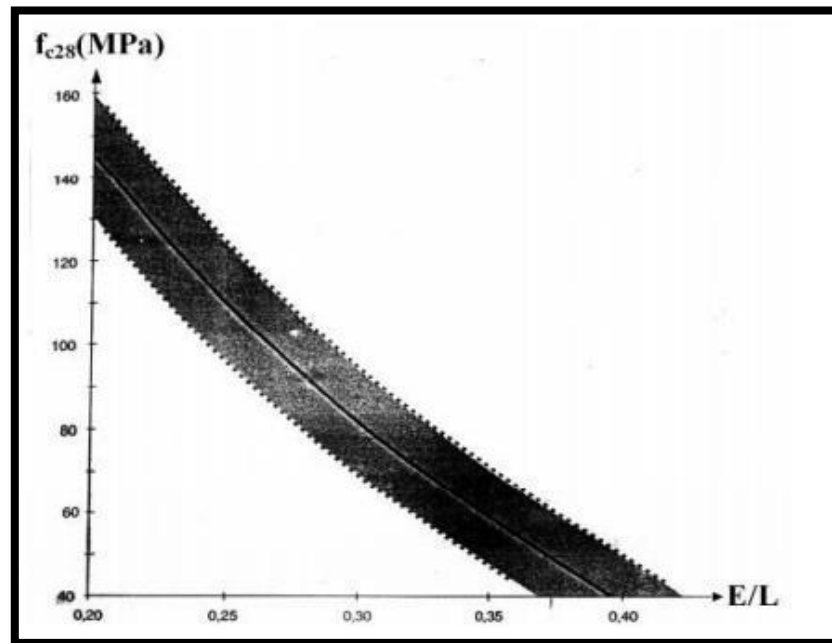


**Figure II.14 :** Organigramme de la méthode proposée pour formuler des BHP [1].

- La procédure de formulation commence par le choix de cinq caractéristiques particulières du BHP ou des matériaux utilisés:
  - ✓ Le rapport eau / liant ;
  - ✓ Le dosage en eau ;
  - ✓ Le dosage en superplastifiant ;
  - ✓ Le dosage en gros granulat ;
  - ✓ Le teneur en air.
  
- **Rapport eau/liant**

On peut trouver le rapport eau / liant en utilisant la Figure II.15 pour des bétons ayant une résistance à la compression donnée à 28 jours. Le fuseau de la Figure II.15 donne une gamme relativement étendue de rapport eau / ciment pour une résistance donnée. Si l'on ne connaît pas

l'efficacité du liant que l'on utilise, on peut commencer par prendre la valeur moyenne donnée par ce fuseau [1].



**Figure II.15 :** Abaque Relation proposée entre le rapport eau/liant et la résistance à la compression [1].

### ➤ 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 200 mm 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].

La meilleure façon de trouver le bon rapport entre la quantité d'eau et la quantité de super plastifiant est d'utiliser un plan d'expérience [1].

La Figure II.16 présente une approche simplifiée, basée sur le concept de point de saturation. Pour calculer une formulation robuste, et lorsque le point de saturation du super plastifiant n'est pas connu, on suggère de commencer avec une quantité d'eau de malaxage égale à 145 L/m<sup>3</sup> [1].

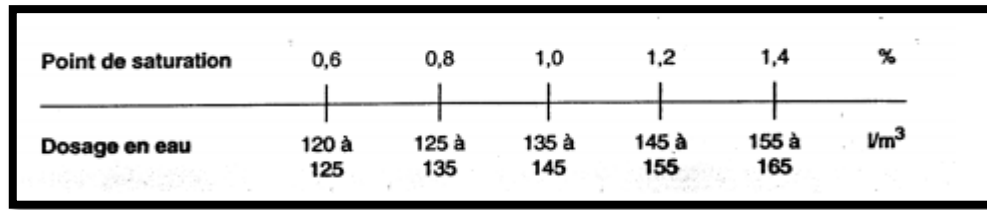


Figure II.16 : Détermination du dosage en eau [1].

### ➤ Dosage en superplastifiant

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

### ❖ Point de saturation

Quand on mesure le temps d'écoulement pour différents dosages en super plastifiant 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 de ciment, on obtient une courbe qui ressemble en général à celle présentée à la Figure II.17 cette courbe est composée de deux parties linéaires ayant des pentes différentes.

L'inter section de ces deux parties linéaire est ce que l'on appelle le "point de saturation", c'est à- dire le point à partir du quel, 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 superplastifiant qui correspond à ce point est appelé le point de saturation.

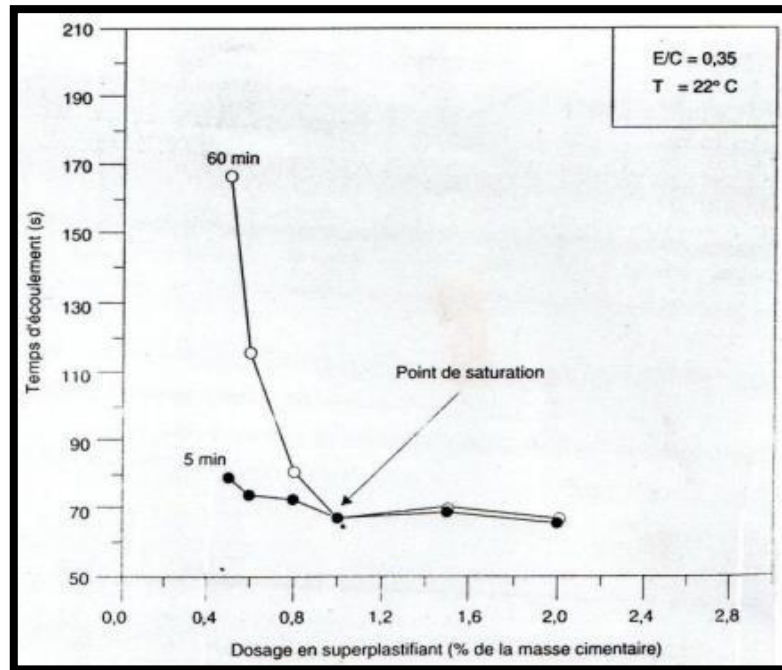


Figure II.17 : Temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant [1].

➤ Dosage en gros granulat

Le dosage en gros granulat peut être déduit de la Figure II.18 en fonction de la forme des granulats. S'il y a quelque doute sur la forme des granulats ou si on ne la connaît pas, on peut toujours commencer avec une quantité de gros granulats de 1000 kg/m<sup>3</sup>.

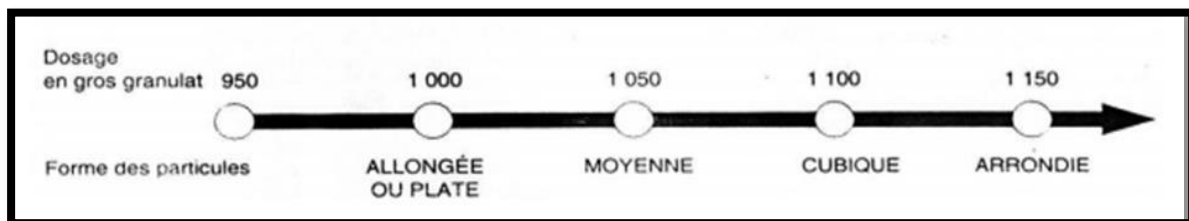


Figure II.18 : Détermination du dosage en gros granulats [1].



➤ **Teneur en air**

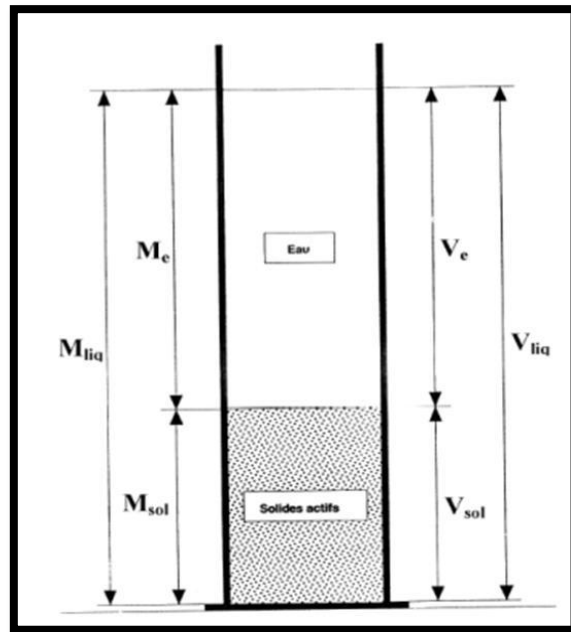
Les BHP qui sont utilisés dans des environnements où il n'y a pas de cycle de gel dégel n'ont évidemment pas besoin de contenir de l'air entraîné, de telle sorte que la seule quantité d'air que l'on retrouvera dans les BHP est le volume d'air piégé. Cependant, de façon à améliorer la manipulation et la mise en place des BHP [1].

L'expérience a démontré qu'il était assez difficile de fabriquer des BHP qui contiennent moins de 1% d'air piégé et que, dans les pires des cas, la teneur en air piégé peut être aussi élevée que de 3%. Par conséquent, certains auteurs suggèrent d'utiliser une valeur de 1.5% comme valeur initiale de la quantité d'air piégé [1].

### **II.3.2. Formules de calculs**

Les calculs nécessaires à la formulation de notre béton de haute performance d'étude sont :

- 1. Rapport E/C :** Reporter la valeur du rapport eau/liant telle que choisie dans la Figure II.15.
- 2. Dosage en super plastifiant :** on prend la valeur de 1.2% du poids de ciment.
- 3. Quantité d'eau nécessaire :** déduire la quantité d'eau nécessaire, selon le point de saturation montré dans la Figure II.17.
- 4. Dosage en liant :** D'après le rapport E/C et la quantité d'eau nécessaire on peut calculer la masse du liant, pour notre cas c'est le ciment CPJ 42.5.
- 5. Dosage en gros granulats :** Reporter la masse en gros granulat trouvé dans la Figure II.18.
- 6. Les valeurs relatives au superplastifiant (Figure II.19) :**



**Figure II.19** : Représentation schématique d'un super-plastifiant [1].

- a) Calculer la masse de solides dans le super-plastifiant  $M_{sol}$  (kg):

$$M_{sol} = \frac{CXD}{100}$$

Où :

C : La masse de liant.

D : Le dosage en super plastifiant (la masse de solides).

- b) Calculer le volume du super-plastifiant liquide  $V_{liq}$  ( $l/m^3$ ) :

Le volume de super plastifiant liquide qui contient  $M_{sol}$  se calcule de la façon suivant :

$$V_{liq} = \frac{M_{sol}}{S \times d_{sup}} \times 100$$

$M_{sol}$ : Masse des particules solides de super plastifiant.

$d_{sup}$ : Densité du super plastifiant.

S: Teneur en solides de super plastifiant.

$$M_{sol} = \frac{V_{liq} \times d_{sup}}{100}$$

c) Calculer le volume d'eau dans le super plastifiant  $V_e$  ( $l/m^3$ ) :

$$V_e = \frac{V_{liq} \times d_{sup}}{100}$$

$d_{sup}$ : Densité du super plastifiant.

$V_{liq}$ : Volume de super plastifiant liquide.

$S$ : Teneur en solides de super-plastifiant.

d) calculer le volume des solides contenus dans le super-plastifiant ( $l/m^3$ ) :

$$V_{sol} = V_{liq} - V_e$$

**7. Volume de ciment** : On divise la masse du ciment sur sa densité absolue ( $l/m^3$ ).

**8. Volume en gros granulats** : Pour calculer le volume de gros granulats en divisant la masse du gros granulat (Figure) par sa densité absolue ( $l/m^3$ ).

**9. Quantité d'air piégé** : Multiplier la quantité d'air par 10 pour obtenir le volume d'air piégée en  $l/m^3$ , pour notre cas on a suggéré d'utiliser une valeur de 1.5%.

**10. La somme de tous les volumes** : c'est le total des volumes calculés précédemment ; volume d'eau + volume du ciment + volume d'air + volume des solides dans le superplastifiant + volume de gros granulats.

**11. Volume de granulats fin** : calculer le volume de granulat fin (en  $l/m^3$ ) en soustrayant de 1000 litres, le volume précédent.

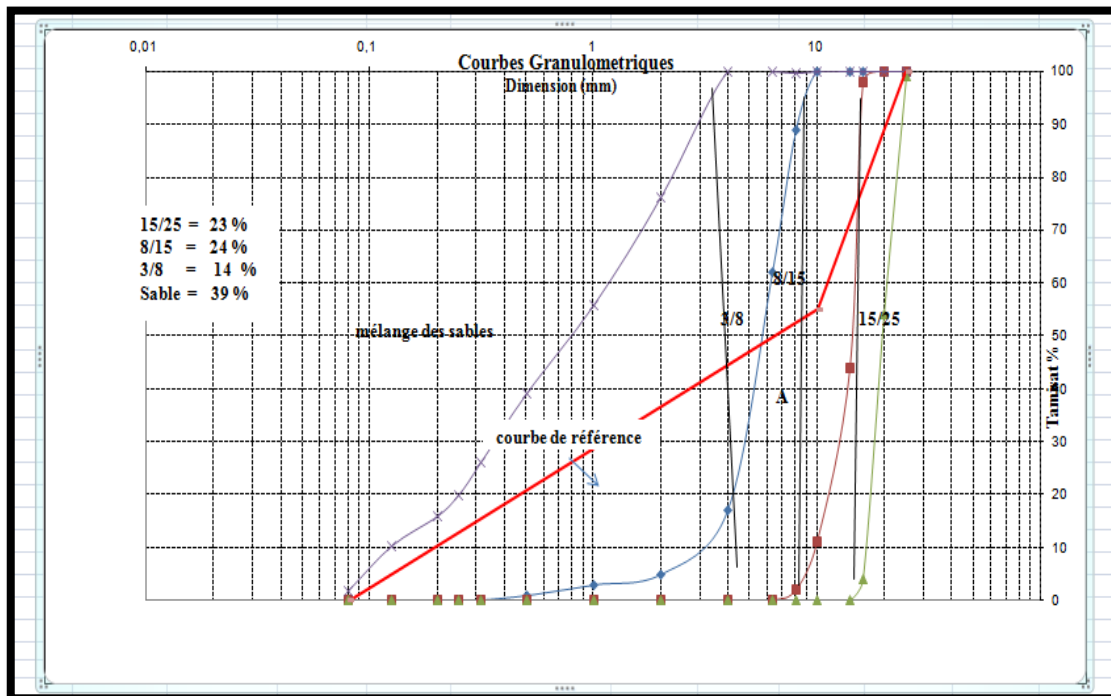
**12. La masse de granulat sec** : Maintenant que l'on connaît le volume de granulat fin, on peut calculer la masse de granulat fin en multipliant son volume par sa densité absolue (kg).

**13. La masse volumique du béton** : on doit additionner toutes les masses telles que, la masse d'eau, masse du ciment, masse de solides en SP, masse de gros granulats, masse de granulats fin ( $kg/m^3$ ).

### II.3.3. Formulation du béton

L'étude des pourcentages des fractions granulaire se fait par la méthode de DREUX GORISSE :

## ❖ Tracé de la droite de référence de Dreux



**Figure II.20 :** Exemple d'une courbe de mélange OAB par la méthode de DREUX-GORISSE.

Après le tamisage des granulats, on trace les courbes granulométriques des différents granulats. Ensuite on trace la courbe granulaire de référence OAB : le point O étant l'origine (0,0), le point B (à l'ordonnée 100 % tamisât) correspond à la dimension  $D_{max}$  du plus gros granulat et le point A (X, Y) dit le point de brisure a les coordonnées ainsi définies en abscisse à partir de  $D_{max}$ .

La droite de référence de Dreux représente la courbe idéale d'un matériau à minimum de vides. C'est une droite brisée dont le point de brisure est défini par son abscisse X et son ordonnée Y :

Avec :

X : c'est le module (ouverture des tamis)

Y : est donné en pourcentage de passants cumulés

En abscisse :

- Si  $D_{max} \leq 20$  mm,  $X_A = D_{max} / 2$ .
- Si  $D_{max} > 20$ ,  $X_A$  est située au milieu du "segment gravier" limité par le module correspondant à  $D_{max}$ .

En ordonnée :

$Y_A$  est donnée par la formule :

$$Y_A = 50 - \sqrt{((D_{max})) + K' \text{ Où } K' = K + K_s + K_p.$$

Avec K (voir Tableau II.12 ci-dessous) un terme correcteur qui dépend du dosage en ciment, de l'efficacité du serrage, de la forme des granulats roulés ou concassés. (En particulier la forme du sable).

Vibration		Faible		Normale		Puissante	
Forme des granulats (du sable en particules)		Roul	Concass	Roul	Concass	Roul	Concass
Dosage en ciment	400 + SP	-2	0	-4	-2	-6	-4
	400	0	+2	-2	0	-4	-2
	350	+2	+4	0	+2	-2	0
	300	+4	+6	+2	+4	0	+2
	250	+6	+8	+4	+6	+2	+4
	200	+8	+10	+6	+8	+4	+6

**Tableau II.12 :** Valeurs de K en fonction du dosage en ciment, de la puissance de la vibration et de l'angularité des granulats et permettant de calculer Y ordonnée du point de brisure de la courbe de référence.

❖ Correction supplémentaire  $K_s$

La correction supplémentaire (sur  $K_p$ ) peut être effectuée en ajoutant la valeur  $K_s = 6 M_f - 15$  ( $M_f$  étant le module de finesse du sable qui peut varier de 2 à 3 avec une valeur optimale de l'ordre de 2,5 pour la quelle la correction préconisée est alors nulle).

❖ Correction supplémentaire  $K_p$

Si la qualité du béton est précisée « pompable », il conviendra de conférer au béton le maximum de plasticité et de l'enrichir en sable par rapport à un béton de qualité « courant ». On pourra pour cela majorer le terme correcteur  $K_p$  de la valeur  $K_p = + 5$  à 10 environ, selon le degré de plasticité désiré.

❖ **Dosage des granulats**

La courbe granulaire de référence OAB doit être tracée sur le même graphe (Figure II.20) que les courbes granulométriques des granulats composants. On trace alors les lignes de partage entre chacun en joignant le point à 95% de la courbe granulaire du premier, au point 5% de la courbe du granulats suivant, et ainsi de suite.

On lira alors sur la courbe de référence au point de croisement avec la où les droites de partage, le pourcentage de chacun des granulats **S, G1, G2, G3**. Les résultats obtenus sont :

Granulats	Pourcentage (%)		
	S1	S2	S3
<b>G1</b>	20	14	14
<b>G2</b>	23	23	24
<b>G3</b>	25	25	23
<b>S</b>	32	38	39

**Tableau II.13 :** Pourcentage de chacun des granulats pour des différentes compositions du béton BHP.

- **Composition du Béton BHP**

L'étude a été menée sur 12 types des compositions des bétons. La démarche adoptée dans ce travail consiste à faire 36 séries d'éprouvettes immergées dans l'eau potable, le Tableau II.14 et le Tableau II.15 montre la composition des différents bétons étudiés :

## ❖ Test expérimental

## ➤ Série 01

Matériaux	Dosage en kg/m <sup>3</sup>								
	S1			S2			S3		
	E/C			E/C			E/C		
	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.35	0.25	0.30	0.35
<b>Ciment</b>	500	420	360	500	420	360	500	420	360
<b>Eau</b>	151	154.5	158	148.3	151	150.7	148.7	152	154.5
<b>Superplastifiant</b>	17	14.33	12.46	17	14.33	12.46	17	14.33	12.46
<b>S1</b>	564.2	585.4	601.6	-	-	-	-	-	-
<b>S2</b>	-	-	-	679.7	705.9	725.9	-	-	-
<b>S3</b>	-	-	-	-	-	-	695.6	721.6	741.9
<b>G1</b>	352.6	365.9	376	250.4	260.0	267.44	249.7	259.0	266.32
<b>G2</b>	405.5	420.8	432.4	411.4	427.2	439.4	428.1	444.06	456.6
<b>G3</b>	440.8	457.4	470	447.2	465.4	477.6	410.2	425.6	437.5

Tableau II.14 : Composition des différentes BHP de la série 01.

## ➤ Désignation des bétons utilisés

**Sable 01** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant.

**Sable 02** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant.

**Sable 03** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant (S3 mélange de 20% du S1 et 80% du S2).

## ➤ Série 02

Matériaux	Dosage en kg/m <sup>3</sup>		
	E/C = 0.25		
	S1	S2	S3
<b>Ciment</b>	444	444	444
<b>Eau</b>	148.65	145.3	148.05
<b>Superplastifiant</b>	17	17	17
<b>S1</b>	563.52	-	-
<b>S2</b>	-	679.2	-
<b>S3</b>	-	-	695.42
<b>G1</b>	352.2	250.10	249.37
<b>G2</b>	405.03	411.05	228.12
<b>G3</b>	440.25	447	410.2
<b>Fumée de silice</b>	56	56	56

Tableau II.15: Composition des différentes BHP de la série 02.

## ➤ Désignation des bétons utilisés

**Sable 01** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant et 10% de fumée de silice.

**Sable 02** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant et 10% de fumée de silice.

**Sable 03** : Béton à haute performance avec 1% de superplastifiant et 10% de fumée de silice (S3 mélange de 20% du S1 et 80% du S2).

## II.3.4. Fabrication des bétons, mise en place et conservation

## ➤ Malaxage du béton

Le gâchage consiste que tous les composants nécessaires sont préparés et que les granulats sont bien secs. Le malaxage des bétons a été effectuée manuelle.

Le but de cette opération est d'homogénéiser le béton et lui donner une bonne cohésion, pour cela on commence à malaxer selon les étapes suivantes :

- Verser les constituants dans un bac : d'abord les sables après les gravillons puis le ciment.
- Malaxer à sec le mélange.
- Ajouter l'eau et le superplastifiant et malaxer le tous jusqu' avoir un béton bien malaxé.





**Figure II.21** : Malaxage du béton.

➤ **Remplissage et vibration**

Après le malaxage qui dure environ 6 min, le béton est prêt à l'emploi. Le béton est introduit dans des moules déjà graissés par une huile pour faciliter le démoulage après 24 heures de leur coulage. Le coulage est exécuté en deux couches vibrées jusqu'à la stabilisation de niveau du béton. Le but de la vibration est le remplissage parfait du moule. A la fin du coulage, il faut araser les éprouvettes à l'aide d'une règle.

La face supérieure de l'éprouvette doit être lisse et bien finie pour chaque gâchée et juste après le malaxage (Figure II.22), on procède à la mesure de la maniabilité, caractérisée par l'affaissement au cône d'Abrams.



**Figure II.22** : Préparation des moules avant le remplissage.

➤ **Forme des éprouvettes**

Dans les essais réalisés pour l'étude des bétons, un seul type d'éprouvette (Figure II.23) a été utilisé (cubes  $15 \times 15 \times 15$  cm) :



**Figure II.23** : Forme d'éprouvettes d'étude.

### ➤ Conservation des éprouvettes

Les éprouvettes sont démoulées après 24 heures et conservées dans l'eau. Avant le démoulage les éprouvettes sont conservées dans un locale pendant  $24h \pm 1h$ . Pour cette étude on a adopté les conditions du chantier, c'est-à-dire que le mûrissement des bétons d'étude a eu lieu dans l'eau potable.

Après le démoulage, les éprouvettes sont conservées (Figure II.24) dans l'eau potable jusqu'à l'échéance déterminé (7 jours, 14 jours et 28 jours).



**Figure II.24 :** Conservation des éprouvettes

**II.4. Conclusion**

Ce chapitre a pour objectif de caractériser les bétons à hautes performances, après avoir identifié et caractérisé tous les matériaux de base utilisés. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires sont présentées. La méthode de formulation a été développée et le calcul des proportions des constituants de notre programme expérimental étant fait. Le détail des différentes formulations a été présenté dans cette partie pour obtenir les différentes valeurs des caractéristiques physiques, chimiques et mécaniques qui permettront d'optimiser la formulation du béton que nous allons utiliser pour l'étude de son comportement.

# Chapitre III :

*Résultats et discussions*

### **III.1. Introduction**

On présente dans ce chapitre les différents résultats du comportement à l'état frais et à l'état durci des différents mélanges réalisés au laboratoire.

### **III.2. Méthodologie adaptée pour les manipulations**

Rappelons que le but de notre travail est la formulation et la caractérisation d'un béton haute performance. Pour atteindre les objectifs on a adopté la méthodologie suivante :

- ✓ Il fallait préparer des gâchés pour confectionner 90 séries d'éprouvettes cubiques (15×15×15) cm<sup>3</sup>.
- ✓ La composition a été déterminée par la méthode de formulation de l'université de Sherbrooke.
- ✓ Les essais étant exécuté à : 7j, 14 j, et 28 jours.
- ✓ Les propriétés étudiées : l'affaissement, et la résistance à la compression.

### **III.3. Essai réalisé à l'état frais**

#### **III.3.1. Essai d'affaissement au cône d'Abrams (mesure d'ouvrabilité)**

##### **III.3.1.1. Définition**

L'essai d'affaissement au cône d'Abrams est un essai réalisé sur le béton de ciment frais peu fluide pour déterminer sa consistance.

C'est l'essai le plus couramment utilisé car il est très simple à mettre en œuvre. Il est utilisable tant que la dimension maximale des granulats ne dépasse pas 40 mm, consiste à mesurer l'affaissement d'un cône de béton frais sous l'effet de son propre poids (plus cet affaissement sera grand et plus le béton sera réputé fluide).

##### **III.3.1.2. Principe de l'essai**

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



**Figure III.1** : Cône d'Abrams utilisée.

Les valeurs d'affaissement mesurées des bétons étudiés sont présentées dans le tableau III.1 :

<b>Série01</b>									
<b>Dénomination</b>	<b>S1</b>			<b>S2</b>			<b>S3</b>		
	<b>E/C</b>			<b>E/C</b>			<b>E/C</b>		
	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>
<b>Affaissement</b>	22	22	23	21	22	23	21	21	22
<b>Série02</b>									
<b>Affaissement</b>	23	-		23	-		23	-	

**Tableau III.1** : Résultats d'essai d'affaissement des différents bétons étudiés.



**Figure III.2** : Résultats d'essai d'affaissement.

➤ **Commentaire**

Après analyse des différents résultats de l'affaissement, on peut conclure que:

- Si on diminue le dosage du superplastifiant, l'affaissement du béton augmente, lorsqu'on augmente le rapport E/C on aura une diminution du dosage en ciment et augmentation en eau ce qui produit une augmentation de l'affaissement.
- L'utilisation de la proportion de (20% S1+ 80% S2) pour la correction des sables utilisées présente une amélioration à la fois du module de finesse, qui influe positivement sur la maniabilité, et facilite la mise en œuvre du béton haut performance.
- Les BHP à un rapport E/C diminué sont légèrement maniables aux premières mesures d'affaissement par contre on voit la diminution d'ouvrabilité après 30 min du malaxage à cause du fort dosage en super-plastifiant et une faible quantité de l'eau de gâchage.
- Pour un même rapport (E/C) l'affaissement est différent.
- Les super-plastifiants sont des réducteurs d'eau à haute efficacité. Leur mode d'action principale est d'augmenter la maniabilité des bétons hauts performance par le phénomène de dispersion.
- Les BHP sont des bétons fluides avec une E/C très basse. Les valeurs d'affaissement au cône sont supérieures à 20 cm dans la plupart des cas pour les différents sables.



- La fumée de silice réduit considérablement les deux phénomènes ségrégation et ressuage (perte d'eau) en consommant l'eau encore libre introduite au moment de l'humidification via la grande surface développée de la fumée de silice. En colmatant les pores du béton frais, il limite aussi la migration de l'eau vers la surface, et inversement la pénétration d'eau (salée par exemple) de la surface vers l'intérieur du béton au moment de la prise.

### III.4. Essai réalisé à l'état durci

#### III.4.1. Essai de compression(NF P 18-406)

La résistance mécanique en compression est le repère principal pour toute caractérisation de la résistance mécanique et de la qualité des bétons.

Les échantillons utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression des différents bétons étudiés sont des éprouvettes cubiques de dimension  $15 \times 15 \times 15 \text{cm}^3$ .

Pour chaque type de béton et à chaque échéance d'essai, la résistance en compression obtenue est la moyenne issue de trois éprouvettes, la presse utilisée est d'une capacité maximale de 2000kN, asservie en force avec une vitesse de chargement de 2.4 kN/Sec (Figure III.3).

La charge de rupture correspond à la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression à « j » jours,  $f_{cj}$  est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.

La compression est dite simple et elle est appliquée à l'axe des éprouvettes.

$$f_{cj} = P/S \text{ (MPa)}$$

Où :

P : charge de rupture en N.

S : section transversale de l'éprouvette en  $\text{mm}^2$ .

### III.4.2. Préparation et positionnement des éprouvettes

- Avant de passer à l'action d'écrasement, il faut tenir compte des recommandations suivantes :
- Essuyer toute humidité excessive de la surface de l'éprouvette avant de la positionner dans la machine d'essai.
- Tous les plateaux de la machine d'essai doivent être essuyés, et les corps étrangers situés à surface de l'éprouvette, doivent être retirés.
- Centrer l'éprouvette sur le plateau.



**Figure III.3:** Essai de résistance à la compression  
(Laboratoire des Travaux Publics de L'Est).

- ❖ Les résultats d'essais de compression dans la figure suivant:



**Figure III.4 :** Résultat d'essai de compression.

❖ Pour voir l'influence du paramètre E/C et de la variation de la classe granulaire sur les différents mélanges du béton étudiés à l'état durci, les résultats des séries d'essais sur ces compositions sont donnés dans le Tableau suivant:

<b>Série 1</b>									
<b>Jours</b>	<b>Sable 1</b>			<b>Sable 2</b>			<b>Sable 3</b>		
	<b>E/C</b>			<b>E/C</b>			<b>E/C</b>		
	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>0.35</b>
<b>7</b>	51.39	47.37	44.62	56.59	52.60	49.41	53.94	49.88	45.38
<b>14</b>	54.51	50.52	46.23	61.71	58.81	56.07	58.92	52.54	48.76
<b>28</b>	66.80	58.17	53.82	71.78	65.74	60.41	68.02	62.61	58.74
<b>Série 2</b>									
<b>7</b>	63.82	-		69.50	-		65.42	-	
<b>14</b>	65.83	-		72.69	-		67.89	-	
<b>28</b>	70.94	-		80.33	-		76.63	-	

**Tableau .III.2 :** Résistance à la compression à 7j, 14j et 28j.

❖ Les résultats de ces essais pour les différents types de bétons sont représentés graphiquement ci-après :

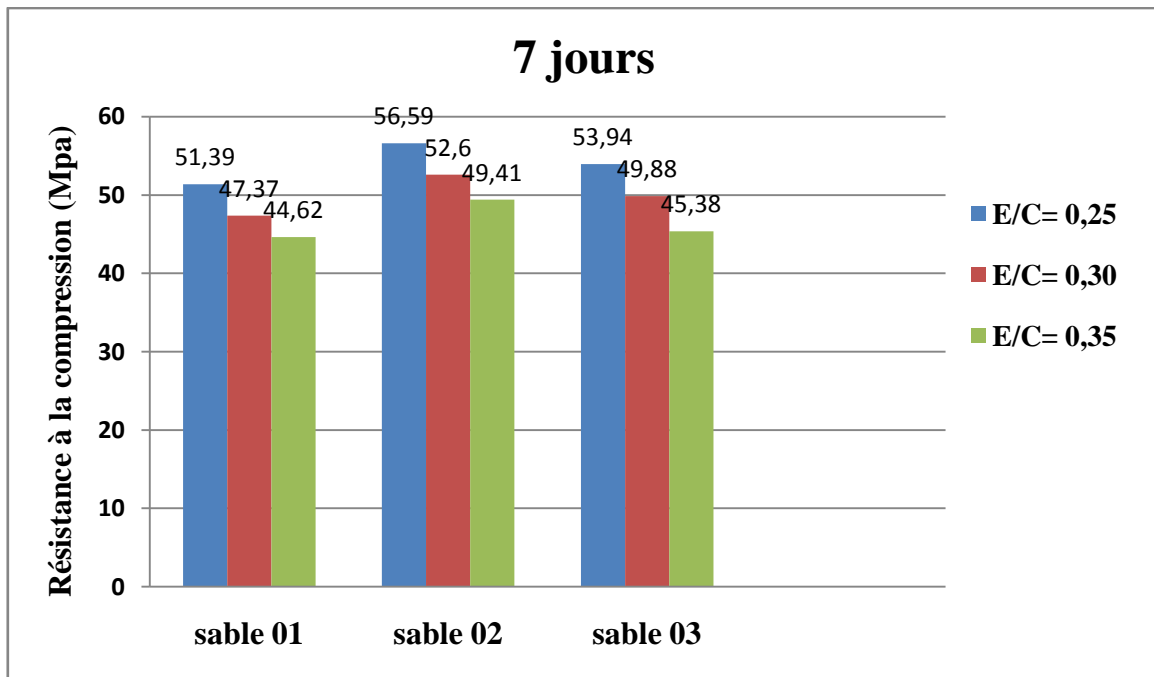


Figure III.4 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 7 jours de la série 01.

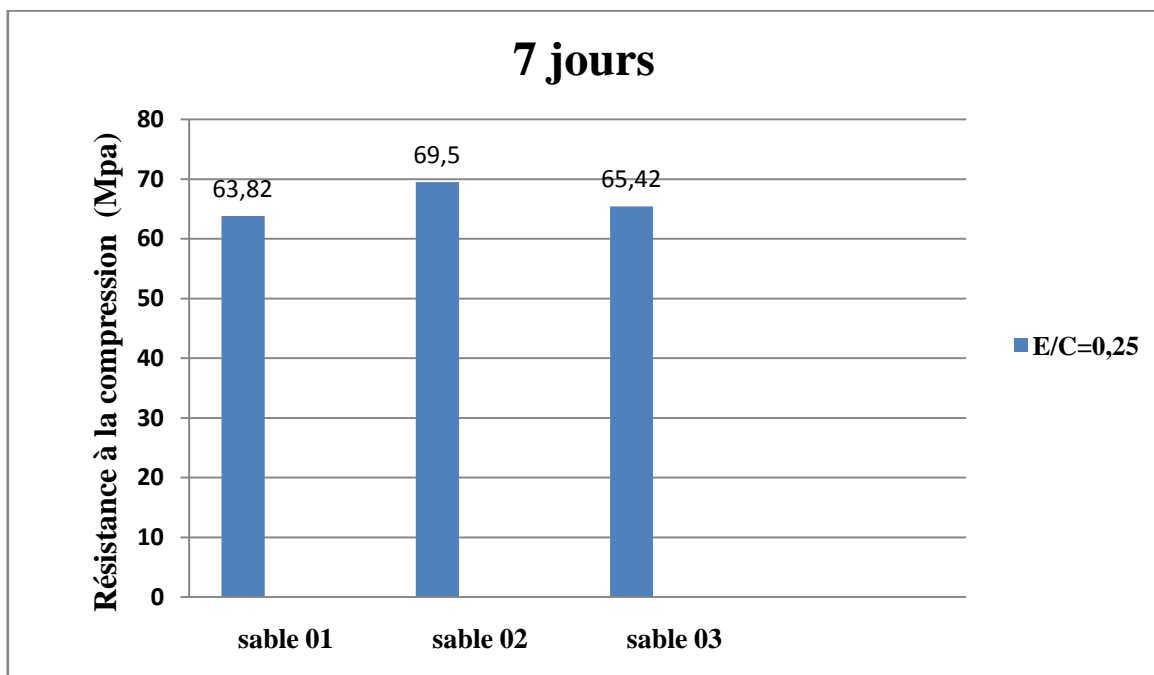


Figure III.5 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 7 jours de la série 02.

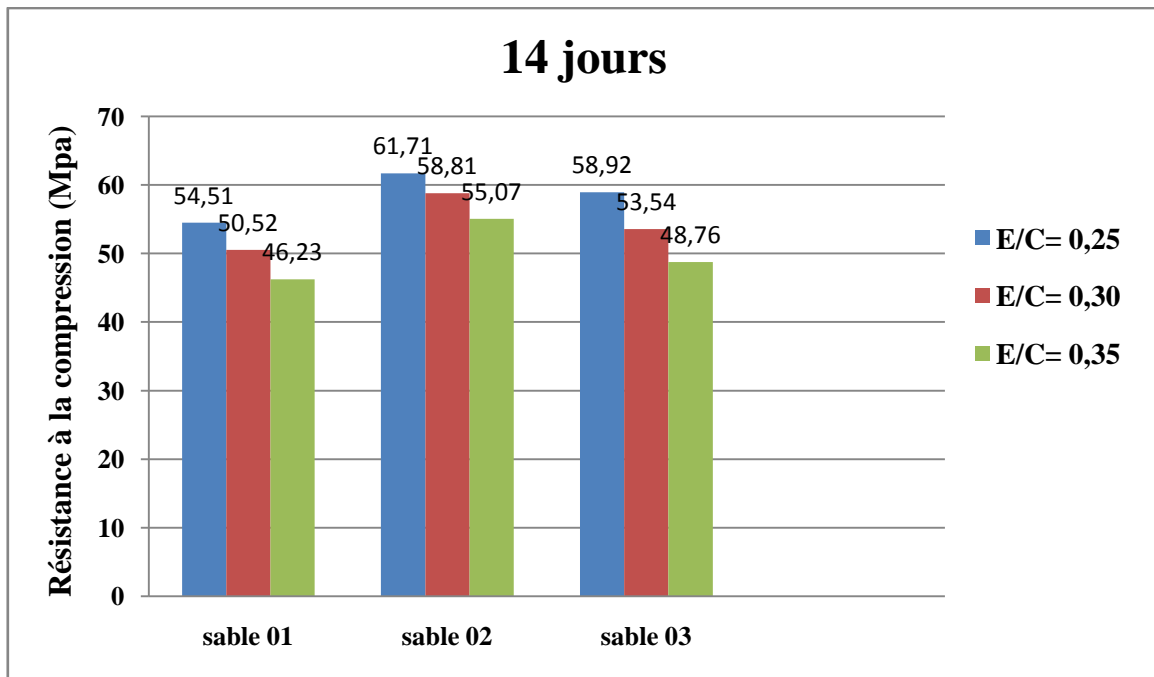


Figure III.6 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 14 jours de la série 01.

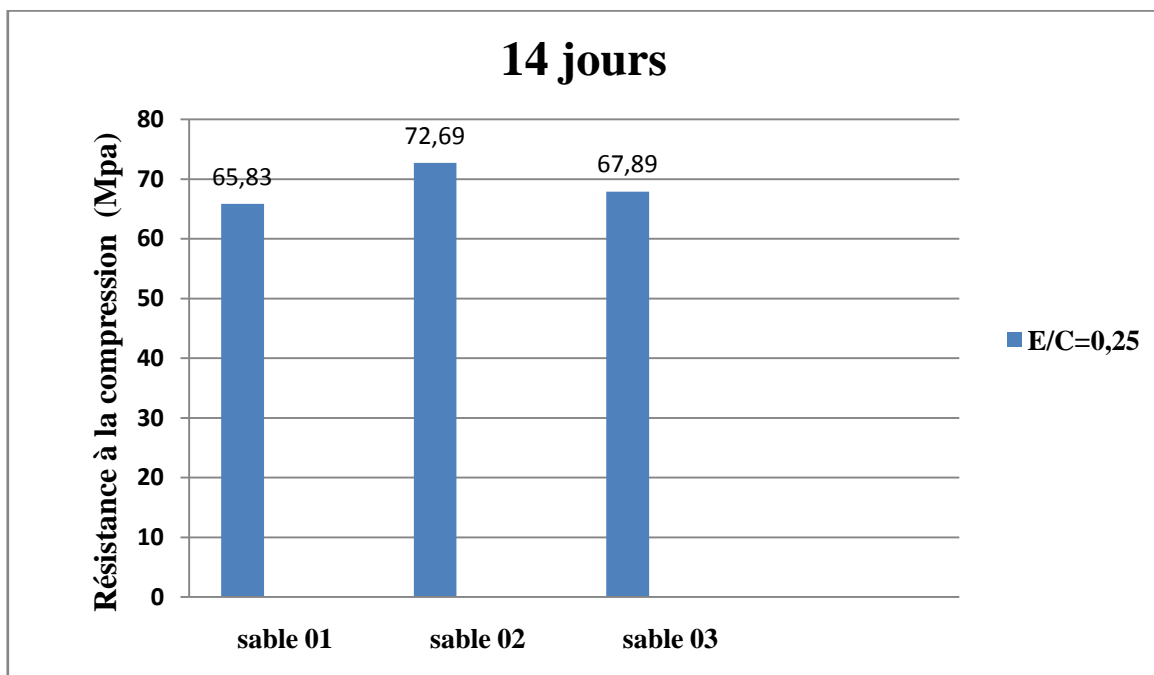


Figure III.7 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 14 jours de la série 02.

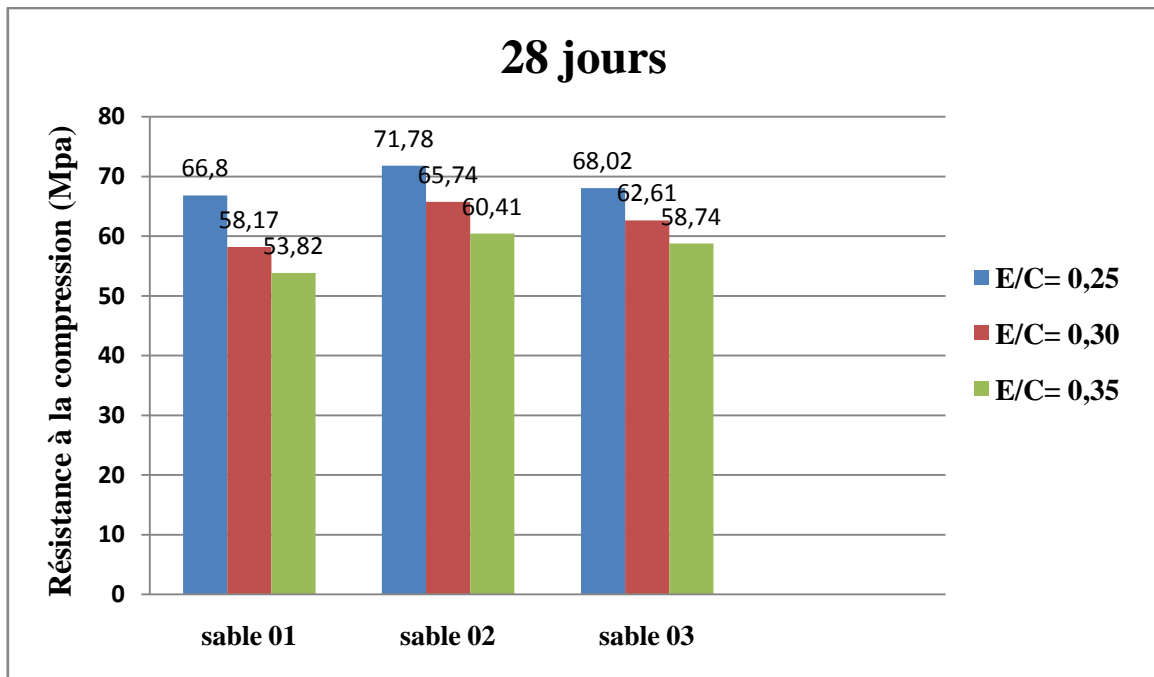


Figure III.8 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 28 jours de la série 01.

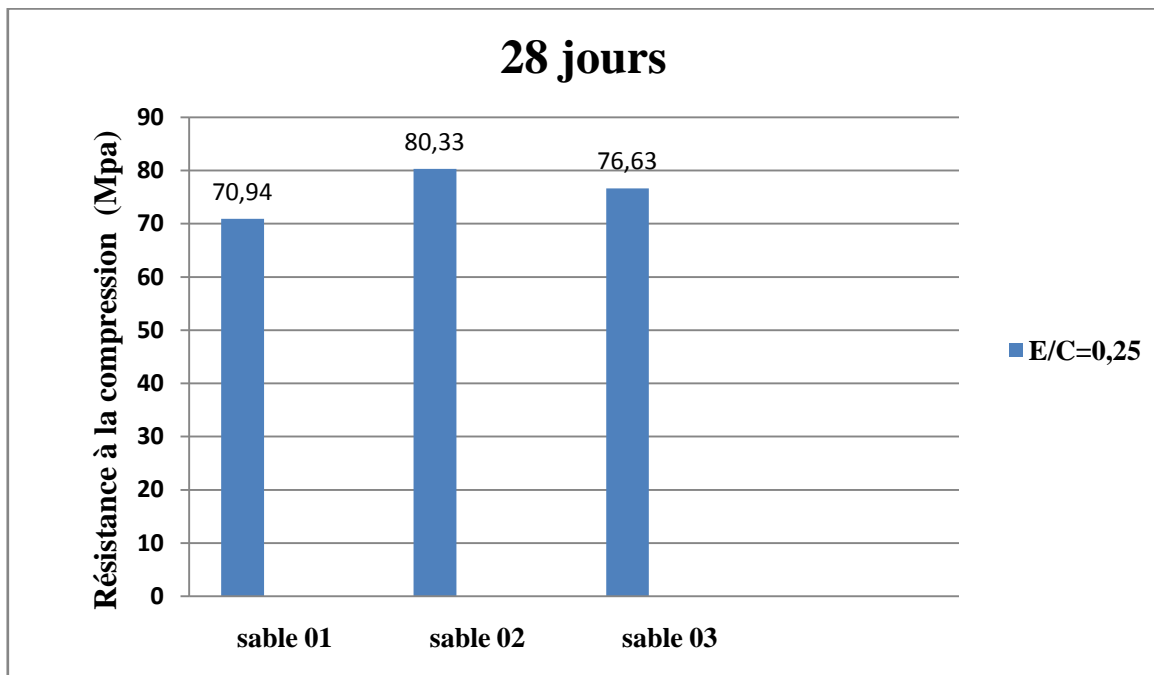


Figure III.9 : Résistance en compression des BHP avec différents rapports E/C après 28 jours de la série 02.

### III.5. Résultats et discussions

Dans ce travail, nous avons étudié la résistance du béton à la compression pour les trois types de sable en fonction de la variation du rapport E/C.

- ❖ **Au premier cas (série01) : E/C (0.25, 0.30, 0.35)** avec l'utilisation du super plastifiant.
- ❖ **Au deuxième cas (série02) : E/C (0.25)** avec l'utilisation du super plastifiant et le fumé de silice.

D'après les résultats présentés sur les histogrammes nous constatons que :

- Une résistance importante et augmentation rapide pendant les sept jours premiers qui atteint environ 75 % de la résistance totale.
- Une augmentation sensible de la résistance mécanique des bétons étudiés en fonction du dosage en ciment c'est-à-dire la résistance à la compression augmente en élevant le dosage en ciment.
- De très bonnes performances à jeune âge.
- La résistance à la compression démunie lorsque le rapport E/C est plus grand.
- Pour un rapport E/C = (0.25) une résistance importante par rapport E/C = (0.30 et 0.35).
- Après 28 jours une augmentation moyenne de la résistance qui atteint environ 30 % de la résistance de 7 jours.

On voit clairement qu'on n'a pas atteint les résistances visées par la méthode de formulation de l'université de Sherbrooke, par exemple :

Pour **E/C = 0.25** on obtient 100 MPa à 28 jours, pour notre cas on a trouvé :

#### Série 01 :

- 66.80MPa pour le **Sable1** avec un rapport **E/C = 0.25**.
- 71.78MPa pour le **Sable2** avec un rapport **E/C = 0.25**.
- 68.02MPa pour le **Sable3** avec un rapport **E/C = 0.25**.

## Série 02 :

- 70.94MPa pour le **Sable1** avec un rapport  $E/C = 0.25$ .
- 80.33MPa pour le **Sable2** avec un rapport  $E/C = 0.25$ .
- 76.63MPa pour le **Sable3** avec un rapport  $E/C = 0.25$ .

Cette diminution de résistance est expliquée par plusieurs facteurs :

- la qualité du sable et de gravier.
- l'utilisation du CPJ au lieu du CPA.
- Une augmentation des résistances entre 7 et 28 jours, pour tous les bétons. cela est dû à l'hydratation de la pâte liante.
- Le rapport  $E/C$  réduit ce qui signifie que la quantité d'eau est très faible par rapport à la masse de ciment, les grains de ciment sont très près les uns des autres. Toute l'eau pourra réagir avec le ciment et il ne restera que très peu de porosité capillaire, la perméabilité du béton sera très faible et les propriétés mécaniques du béton seront très élevées.
- D'après les histogrammes présentés à la figure (III.9), on constate une évolution de la résistance à la compression en fonction du temps. On a pu avoir le meilleur résultat qui est de 80.33 MPa à l'âge de 28 jours, avec un pourcentage de 1% de superplastifiant et 10 % de la fumée de silice correspond à un rapport  $E/C$  de 0.25.
- Le rapport  $E/C$  qui gouverne la résistance du béton en compression simple n'est plus le seul paramètre qui influence la résistance des bétons à hautes performances.
- Les résistances de tous les bétons augmentent régulièrement avec l'âge de conservation de toutes les éprouvettes, cela peut être attribué au temps nécessaire à l'hydratation du ciment et son durcissement.
- A partir des histogrammes représentés dans les figures (III.8, III.9) on remarque une augmentation sensible de la résistance mécanique des échantillons élaborés avec l'ajout de la fumée de silice par rapport à l'échantillon sans fumée de silice, de résistance caractéristique à 28 jours.
- La résistance à la compression du béton à base de sable de mer est inférieure à celle des bétons à base de sable de carrière. Nous pouvons expliquer ces résultats par l'effet du module de finesse qui est plus important dans les sables par rapport à celui de sable mer.



- La résistance à la compression du béton avec un pourcentage de 1% du superplastifiant est inférieure à celle des bétons avec un pourcentage de 1% du superplastifiant et 10 % de la fumée de silice pour tous les différents bétons étudiés.
- Les effets de la distribution de la qualité et la taille des grains de granulats fins naturels sur la résistance mécanique.
- L'ajout du fumée de silice permet d'augmenter la compacité il nous donne un béton plus résistant.

Des granulats fins pour BHP devraient être choisis pour réduire la demande en eau. Les particules arrondies sont ainsi préférées au sable de concassage si possible. L'argile et la teneur en poussière de l'agrégat fin et gros devrait être maintenue aussi basse que possible.

Car la plupart des mélanges de BHP contiennent une grande quantité de matériau fin dans le ciment (souvent plus grands que  $500 \text{ kg/m}^3$ ). Il est pratiquement admis d'utiliser des granulométries légèrement grosses que des granulats fins normaux pour le béton structural conventionnel (Aïtcin, 1998), la fraction la plus fine des granulats fins n'est plus essentielle pour augmenter la maniabilité ou empêcher la ségrégation ; les granulométries grosses (module de finesse de 2.7 à 3) (Institution britannique de normes, 1992) sont donc appropriées, la courbe granulométrique des granulats fins devrait, cependant, généralement être continue et exempte d'espace pour optimiser la demande en eau.

### III.6. Conclusion

Dans ce dernier chapitre, les résultats obtenus nous ont permis d'éclaircir les évolutions obtenues des résistances à la compression en présence de différents granulats fins. A la lumière des résultats obtenus au cours de cette étude plusieurs enseignements peuvent être tirés :

- ✓ Les BHP sont des bétons fluides avec une E/C très bas.
- ✓ La résistance à la compression est une fonction croissante de tous les bétons hauts à performances étudié, elle augmente régulièrement avec l'âge du béton.
- ✓ Les valeurs d'affaissement au cône sont supérieures à 20 cm dans tout les cas.
- ✓ L'effet du rapport E/C et la distribution de la qualité et la taille des grains de granulats fins naturels dans les formulations des bétons étudiés sur la résistance à la compression est remarquable.
- ✓ L'utilisation d'adjuvant réducteur d'eau dans la confection des bétons à hautes performances d'augmenter la résistance mécanique.
- ✓ La maniabilité du béton diminue avec l'augmentation du E/C à cause d'augmentation de la quantité de sable.
- ✓ La meilleure formulation est celle de 1% super-plastifiant et 10% fumée de silice et avec un E/C =0.25.
- ✓ Le BHP avec l'utilisation de sable mer présente une faible résistance à la compression par rapport les autres granulats fins.
- ✓ La fumée de silice permet d'obtenir des mélanges avec une cohésion très forte avec très peu de ressuage.

L'ouvrabilité du béton dépend de plusieurs facteurs :

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

# Conclusion générale

### Conclusion générale

Les granulats représentent à peu près 60 % à 75 % du volume total, leur sélection joue un rôle important. Composés de particules suffisamment fortes et résistantes vis à vis des conditions auxquelles elles seront exposées, elles ne doivent pas contenir de matières susceptibles de causer la détérioration du béton.

L'étude d'une composition de béton consiste presque toujours, à rechercher conjointement deux qualités essentielle : résistance et ouvrabilité ; or ces deux qualités sont étroitement liées l'une à l'autre.

L'objectifs de cette étude et de obtenir un béton résistant et ouvrable avec l'utilisation des matériaux locaux et des sables différents (sable de mer et sable de carrière et sable corrigée), par la méthode de l'université de Sherbrooke.

Les résultats trouvés après l'élaboration de différentes formulations réalisées par la correction des sables, nous ont permis de tirer les conclusions suivantes :

- ✓ L'utilisation de plusieurs classe granulaire (sable + gravier + ciment + fumées de silice) On assure un béton homogène et viscosité donc compacte et avec l'ajout de superplastifiant medflow 30 on assure d'autre part une fluidité avec minimisation de l'eau donc un béton très résistant.
- ✓ La valeur minimale de résistance en compression est celle du béton à haute performance à base de sable mer avec un rapport E/C = 0.35, à différentes âges 7, 14, et 28 jours par rapport aux d'autres bétons étudiés.
- ✓ On constat que le béton à base de sable carrière avec un rapport E/C = 0.25 donne la meilleure valeur d'affaissement (23mm) dans la première série.
- ✓ L'utilisation de la proportion (20% S1 + 80% S2) pour les bétons à hautes performances étudié améliore l'affaissement et le maintien d'ouvrabilité.
- ✓ Cette étude a démontré l'utilisation de la fumée avec un superplastifiant ont un effet positif sur le comportement mécanique du béton à haute performance par rapport au béton sans fumée de silice.
- ✓ L'ensemble des mélanges des BHP présentent des bétons très fluides avec des valeurs d'affaissements aux alentours de 20 à 24 cm.
- ✓ L'augmentation de la résistance est engendré par la diminution du rapport E/C et l'augmentation de la taille maximale des granulats pour tous différents bétons étudiés.

- ✓ Les bétons formulés avec sable de dune présentent une faible résistance mécanique en comparaison avec le béton BHP à base de sable de carrière.
- ✓ L'augmentation de la maniabilité du à l'introduction d'un superplastifiant a permis une augmentation plus au moins considérable de la résistance à moyen et long terme.
- ✓ Les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats ayant une influence et un rôle très important sur le comportement de béton à l'état frais et durci.
- ✓ Après l'utilisation des trois (03) types des sables avec les trois différents rapports de E/C (0.25, 0.30, 0.35) et 1% de super plastifiant on a conclu que le sable de carrière (S2) avec un rapport E/C =0.25 qui nous donne la plus grande résistance de notre béton.
- ✓ les résultats obtenus nous concluons que le meilleur sable si le sable S2 avec un rapport E/C=0.25 et 1% de super plastifiant et 10 % de fumée de silice pour obtenir un bon béton très résistant avec une bonne ouvrabilité.

En fin, le béton à haute performance est un bon matériau pour la construction ou des applications de réhabilitation et réparation des différents ouvrages, et d'après notre recherche bibliographique on peut dire que le caractère non fissurant, ouvre au béton haute performance de grands espoirs d'utilisation dans divers domaines notamment la réhabilitation.

# Liste des références

## *Liste des références*

- [1] P.C Aitcin., Béton à haute performance, Édition Eyrolles ISBN 2-212- 01323-X, Paris, France, 660p, janvier 2001.
- [2] 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.
- [3] Les bétons à haute performance, Chapitre IV , 4p. Disponible sur:<http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre-six-un.html>.
- [4] B. Dalila., Formulation et étude d’un béton à haute performance (BHP), Thèse de doctorat, Université Mohamed Khider, Biskra, Algérie, 162Pages, Novembre2011.
- [5] H. Alioua., Formulation et caractérisation des bétons à hautes performance, Wilaya de Jijel, Mémoire de Fin d’Etudes, Master, Université Mohammed Seddik Ben Yahia de Jijel, Algérie, 62 Pages, Juin 2018.
- [6] H. AZZOUZ., Etude des bétons à base des sables de dune, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider, Biskra, 90Pages, Mai 2009.
- [7] S. Rezzig., Optimisation de la formulation du béton de sable dans le cadre de valorisation des matériaux locaux, Mémoire de Magister, Université Mohamed Khider, Biskra.
- [8] F. Bechiri., Effet de la nature du sable sur les propriétés des mortiers, Mémoire de Magister, Universitéde Guelma, Algérie, 116 Pages, 2010.
- [9] G. DREUX et J. FESTA., (1998).Nouveau guide du béton et de ses constituants, Edition Eyrolles, 8ème édition.
- [10] Y.Malier1991 Les bétons à hautes performances «Caractérisation,durabilité,application».
- [11] F. Dutruel., ‘‘Les BHP et les BTHP, de quoi s’agit-il ?’’ Journée nationale d’échange d’informations sur les bétons à très hautes performances, organisée par le CERIB, pp. 8, 21 Juin 1995.
- [12] A. MENNAAI., contribution à l’étude rhéologique d’un béton a hautes performances(BHP) local, Mémoire fin d’étude, Université 20 aout Skikda, 125Pages, 2008.
- [13] S. Hadri., Le passage d’un Béton à Haute Performance à un Béton Autoplaçant Haute Performance, Mémoire de Magister, Université de Guelma, Algérie, 119 Pages, 2012.

- [14] Y. Tanaka, A. Ohta and T. Sugiyama, "Polycarboxylate-based advanced superplasticizers for high performance concrete, " in International Symposium on the role of admixture in high performance concrete, Edited by J-G. Cabrera and R.Rivera Villareal, Rilem, Monterrey, Mexico, pp. 135-140, March 21-26 1999.
- [15] Aïtcin P.C. «Bétons haute performance» Edition, Eyrolles, Paris, 2001.
- [16] V.M. Malhorta, "Innovative applications of superplasticizers in concrete-a review, " in: International Symposium on the role of admixture in high performance concrete, Edited by J.G. Cabrera and R. R.Villareal, Rilem, Monterrey, Mexico, pp. 421-460.March 21-26 1999.
- [17] Y. Hamza., et S. Alioua, L'étude du comportement physico-mécanique du béton ordinaire, béton adjuvanté (SP) et du béton avec des fillers calcaires avec différents dosages en ciment, Wilaya de Bejaïa, Mémoire de Fin d'Etudes, Master, Université Abderrahmane Mira de Bejaia, Algérie, 115pages, Juin 2016.
- [18] NF P 18-508 : Aditions pour béton hydraulique. Aditions calcaire-spécification et critères de qualité: indice de classement P 18-508.
- [19] GCI 712, Chapitre 7, « Ajout dans le ciment », Université de Sherbrooke.
- [20] Duval. R et Kadr E.H I., « Influence of silica fume on the workability and the compressive strength of high-performance concretes », Cernent and Concrète Research, Vol.28n°4, April 1998, pp 533-547.
- [21] Adam M. Neville, « Propriétés des bétons », Ed. Eyrolles, 1992, p.805.
- [22] Centre d'information sur le ciment et ses applications, (2013). Les bétons:formulation, fabrication et mise en œuvre, Paris.
- [23] SABLOCRETE, (1994). Béton de sable, Presse de l'école nationale des ponts et des chaussées, Paris, France.
- [24] Y. Malier., « Les bétons à hautes performances » Caractérisation, Durabilité, Applications ; Presses Ponts et chaussées, 1992.
- [25] J.P. Jacobs et al. "Le béton à haute performance," Bulletin FEBELCEM, 2007.
- [26] Les bétons à haute performance, Chapitre V, 4p. Disponible sur: <http://www.la.refer.org/materiaux/chapitre-six-un.html>.
- [27] A.KOMAR "Matériaux et éléments de construction" Edition MIR 1978.



[28] P.Coussot, C. Ancey. "Rheophysics of pastes and suspensions," EDP Sciences, Paris, France, 300p, 1999.

[29] BARON J. et OLLIVIER J.P « Les Bétons – Bases et données pour leur formulation » Editions Eyrolles, 1996.

# Les annexes

# MEDAFLOW 30

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

**Super plastifiant  
Haut réducteur d'eau**

## 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 superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

## DOMAINES D'APPLICATION

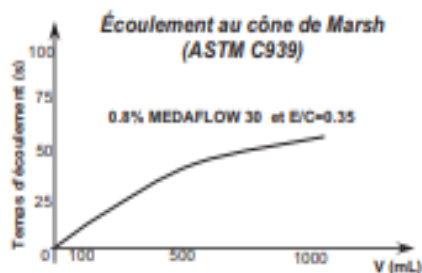
- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

## 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



Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél: (213) 021 51 66 81 & 82

Fax: (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



58

Sur béton durci :

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

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

## CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 - 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec ..... 30%

## 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.

## DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

## MEDAFLOW 30

Le **MEDAFLOW 30** est conditionné en bidons de 10Kg, fûts de 210 Kg et 240 Kg, cubitenaire 1100kg.

### Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ( $5^{\circ}\text{C} < t < 35^{\circ}\text{C}$ ).

Lors d'une exposition du produit au soleil, sa couleur est sujette à changer de ton.

### PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

PV d'essais conforme aux normes, établi par le **CNERIB** en Avril 2005.

NB : Les produits à base de polycarboxylates d'Ether (PCE), exposé aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



**Granitex**

Zone industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com) - E-mail: [granitex@granitex-dz.com](mailto:granitex@granitex-dz.com)



59

## MEDAPLAST HP

Conforme à la norme NFP 18-502

Ajout à base de micro silice

### DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST HP** est un ajout en poudre pour confection de bétons à hautes performances (BHP). Il permet :

- d'obtenir des bétons durables à résistances mécaniques élevées
- d'obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques et atmosphériques

### DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Autoroutes, pistes d'aéroport
- Ouvrages d'art, ouvrages hydrauliques
- Bétons très sollicités
- Bétons soumis aux impacts et aux chocs
- Bétons soumis à des milieux agressifs
- Sols industriels
- Silos

### PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST HP** permet :

#### Sur béton frais :

- Améliorer la cohésion
- Éviter le ressuage et la ségrégation

#### Sur béton durci :

- augmenter les résistances mécaniques
- Obtenir des bétons possédant une excellente imperméabilité
- Augmenter la résistance à l'érosion et à l'abrasion
- Obtenir des bétons résistants aux agressions chimiques
- Augmenter la durabilité du béton

L'ajout d'un super plastifiant est recommandé (**MEDAPLAST SP, SP40**) afin d'améliorer la fluidité du béton et de diminuer le rapport E/C. Le béton obtenu, une fois appliqué, ne présente aucun ressuage.

### CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Poudre
- Densité ..... 0,5
- Composants :
  - SiO<sub>2</sub> ..... > 85(%)
  - SO<sub>3</sub> ..... < 2,5 (%)
  - Cl<sup>-</sup> ..... < 0,2 (%)
- surface spécifique ..... > 15 (m<sup>2</sup>/gr)
- Humidité par étuve à 105°C ..... < 1 (%)
- Taille des particules ..... < 0,1 (microns)

### MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST HP** est mélangé à sec avec les composants du béton, avant l'ajout de l'eau de gâchage, pendant 1 minute au moins. Après ajout de l'eau de gâchage mélanger encore pendant 2 minutes au minimum.

Malaxer ensuite jusqu'à homogénéisation du béton.

Il est nécessaire de procéder à une cure de plusieurs jours du béton obtenu (arrosage ou **MEDACURE**) surtout par temps chaud ou en présence de vents.

### DOSAGE

Le dosage du **MEDAPLAST HP** varie de 5 à 10% du poids du ciment. Ce dosage dépend des performances recherchées.

### CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST HP** est conditionné en sacs de 2kg et 25 kg . Disponible aussi en Bigbag.

Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur.

### PRÉCAUTION D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : [www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com)

*Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.*



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Fax : (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

[www.granitex-dz.com](http://www.granitex-dz.com) - E-mail: [granitex@granitex-dz.com](mailto:granitex@granitex-dz.com)

