



وزارة التعليم العالي و البحث العلمي  
**MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPÉRIEUR  
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE**

جامعة - المسيلة -  
**UNIVERSITÉ - M'SILA -**

كلية العلوم و الهندسة  
**FACULTÉ DES SCIENCES ET SCIENCES DE L'INGÉNIEUR**

قسم الهندسة المدنية  
**DÉPARTEMENT DE GÉNIE CIVIL**

MÉMOIRE DE FIN D'ÉTUDES  
**EN VUE DE L'OBTENTION DU DIPLÔME D'INGÉNIEUR D'ÉTAT**

OPTION: MATERIAUX DE CONSTRUCTION

## Thème

**EFFET DES AJOUTS CIMENTAIRES ULTRAS FINES SUR LES PROPRIÉTÉS  
PHYSICO-MECANIQUES ET DURABILITES DES BETONS A HAUTES PERFORMANCES**

Dirigé par:

Dr : Z.RAHMOUNI  
N.TEBBAL

Présenté par:

BENDAHMANE ABDERAHMANE  
LAMECHE KHALIL

Promotion: juin 2010

# SOMMAIRE

|                                   |    |
|-----------------------------------|----|
| <i>Introduction General</i> ..... | 01 |
| <i>Objectif</i> .....             | 02 |
| <i>Structure</i> .....            | 02 |

## *Chapitre I:Revue Bibliografique*

|   |    |
|---|----|
| <i>I.1 Introduction</i> .....   | 03 |
| <i>I.2 les bétons à hautes performances</i> .....                               | 03 |
| <i>I.2.1 définition</i> .....   | 03 |
| <i>I.2.2 différents classe des BHP</i> .....                                    | 04 |
| <i>I.3 constituants des BHP</i> .....   | 05 |
| <i>I.3.1 ciment</i> .....   | 05 |
| <i>I.3.1.1 définition</i> .....   | 05 |
| <i>I.3.1.2 Fabrication du ciment portland</i> .....                             | 05 |
| <i>I.3.1.3 Différents types de ciment</i> .....                                 | 12 |
| <i>I.3.1.4 Hydratation du ciment portland</i> .....                             | 14 |
| <i>I.3.1.4.1. Réactions d'hydratation</i> .....                                 | 14 |
| <i>I.3.1.4.2. Représentation du mécanisme de prise et du durcissement</i> ..... | 14 |
| <i>I.3.1.6 Sélection du ciment pour BHP</i> .....                               | 16 |
| <i>I.3.2 Ajouts cimentaires</i> .....   | 16 |
| <i>I.3.2.1 Fumée de silice</i> .....  | 16 |
| <i>I.3.2.2 Laitier de haut fourneau</i> .....                                   | 17 |
| <i>I.3.2.2.2 Hydratation et activation du laitier</i> .....                     | 17 |
| <i>I.3.2.2.3 Cendre volantes</i> .....  | 18 |
| <i>I.3.3 Granulats</i> .....  | 18 |
| <i>I.3.3.1 Définition</i> .....   | 18 |
| <i>I.3.3.2 Différent types des granulats</i> .....                              | 20 |
| <i>I.3.3.3 Choix des granulats</i> .....  | 20 |
| <i>I.3.4 eau de gâchage</i> .....   | 20 |
| <i>I.3.5 Super plastifiant</i> .....  | 21 |
| <i>I.3.5.1 Classification</i> .....   | 21 |
| <i>I.3.5.2 Types d'adjuvants</i> .....  | 22 |

|   |    |
|---|----|
| I.3.5.3 Mode d'action des super plastifiants.....           | 23 |
| I.3.5.4 : Détermination du dosage en super plastifiant..... | 24 |
| I.4 Optimisation de la formulation d'un BHP .....           | 24 |
| I.4.1 Etapes de formulation d'un BHP.....                   | 24 |
| I.4.2 Optimisation de la formulation d'un BHP .....         | 25 |
| I.5 Propriétés du BHP .....                                 | 26 |
| I.5.1 Maniabilité et ouvrabilité .....                      | 26 |
| I.5.2 Résistance à la compression.....                      | 26 |
| I.5.3 Résistance à la traction par flexion.....             | 27 |
| I.5.4 Résistance à la traction par fendage.....             | 27 |

## **Chapitre II : durabilité des bétons**

|   |    |
|---|----|
| II.1- Introduction .....                                    | 29 |
| II.2 les Mécanismes d'altération du béton .....             | 29 |
| II.2.1 Dissolution et érosion.....                          | 29 |
| II.2.2 Gonflements et éclatements .....                     | 32 |
| A) l'action des sulfates.....                               | 32 |
| B) l'action de l'eau de mer.....                            | 33 |
| C) les réactions alcalis granulats « alcali-réaction »..... | 35 |
| II.3 durabilité.....  | 36 |
| II.3.1 Durabilité et qualité.....                           | 36 |
| II.3.2 Facteurs influant sur la durabilité.....             | 37 |
| A) Porosité .....   | 37 |
| B) Fissuration .....  | 37 |
| C) Corrosion des armatures.....                             | 38 |
| II.4- Durabilité des bétons à hautes performances .....     | 39 |

## **Chapitre III : caractéristiques des matériaux**

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| III.1 Introduction .....           | 40 |
| III.2 Essai sur les granulats..... | 40 |
| III.2.1 : Origine de sable.....    | 40 |

|   |    |
|---|----|
| III.2.2 : Caractéristiques physique du sable utilisé.....       | 40 |
| ✓ III.2.2.1 : Masse volumique.....                              | 40 |
| a) Masse volumique absolue.....                                 | 40 |
| b) Masse volumique apparente.....                               | 42 |
| ✓ III.2.2.2 Porosité et compacité et L'indice des vides.....    | 42 |
| III.2.2.3 Equivalent de sable .....                             | 43 |
| III.2.2.4 : Degré d'absorption d'eau de sable.....              | 44 |
| III.2.2.5: Teneur en eau.....                                   | 44 |
| III.2.2.6 Analyse granulométrique.....                          | 45 |
| III.2.2.7. module de finesse.....                               | 46 |
| ● III.3 Gravier .....   | 47 |
| III.3.1 Origine de gravier utilisé .....                        | 47 |
| III.3.2 : Caractéristique physique de gravier utilisé .....     | 47 |
| ✓ III.3.2.1 Masse volumique apparente .....                     | 47 |
| III.3.3 Caractéristiques mécaniques des graviers .....          | 47 |
| ✓ III.3.3.1 Essai d'usure micro-Deval.....                      | 47 |
| ✓ III.3.3.2 Essai los Angeles .....                             | 48 |
| III.4 Essai sur ciment et ajout .....                           | 48 |
| III.4.1 Masse volumique apparente.....                          | 48 |
| III.4.2 Masse volumique absolue.....                            | 48 |
| III.4.3 la finesse de mouture (SSB).....                        | 49 |
| III.5 Essai sur béton frais.....                                | 49 |
| III.5.1. Mesure de la consistance.....                          | 49 |
| III.5.2 Masse volumique .....                                   | 49 |
| III.5.3 mesure de l'air occlus.....                             | 49 |
| III.6 : essai sur béton durci.....                              | 48 |
| III.6.1 essai de résistance mécanique.....                      | 50 |
| a) Essai de compression.....                                    | 50 |
| III.6.2 essai de traction par flexion.....                      | 50 |
| III.6.3 module d'élasticité et coefficient de poisson.....      | 50 |
| III.6.4 Essai ultrasonique.....                                 | 51 |
| III.7 Matériaux utilisées.....                                  | 52 |
| III.7.1 Ciment.....   | 52 |
| III.7.1.2 caractéristiques physiques et mécaniques de CPJ ..... | 52 |

|             |   |    |
|-------------|---|----|
| III.7.1.3   | <i>Composition chimique et minéralogique de CPJ</i>     | 52 |
| III.7.1.4   | <i>les caractéristiques du ciment CRS</i>               | 53 |
| III.7.1.4.1 | <i>caractéristique physique et mécanique</i>            | 53 |
| III.7.4.1.2 | <i>caractéristique chimique et minéralogique</i>        | 53 |
| III.7.2     | <i>granulats</i>  | 54 |
| III.7.2.1   | <i>le sable</i>   | 54 |
| III.7.2.1.1 | <i>propriété physico-chimiques du sable</i>             | 54 |
| III.7.2.1.2 | <i>granulométrie du sable</i>                           | 55 |
| III.7.2.1.3 | <i>Caractéristiques chimique du sable utilise</i>       | 55 |
| III.7.2.2   | <i>le gravier</i>                                       | 56 |
| A.          | <i>la masse spécifique</i>                              | 56 |
| B.          | <i>la masse volumique apparente</i>                     | 56 |
| C.          | <i>la porosité, compacité et l'indice de vide</i>       | 56 |
| D.          | <i>Coefficient d'absorption d'eau du gravier</i>        | 57 |
| E.          | <i>Teneur en eau</i>                                    | 57 |
| F.          | <i>Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé</i>   | 57 |
| G.          | <i>l'analyse granulométrique du gravier utilisé</i>     | 58 |
| H.          | <i>Caractéristiques chimiques des graviers utilisés</i> | 58 |
| III.7.3     | <i>l'eau de gâchage</i>                                 | 59 |
| III.7.3.1   | <i>Caractéristique chimique de l'eau utilisée</i>       | 59 |
| III.7.4     | <i>les adjuvants</i>                                    | 59 |
| III.7.4.1   | <i>Le medaflow 40 HR</i>                                | 59 |
| III.7.5     | <i>les ajouts cimentaires</i>                           | 61 |
| III.7.5.1   | <i>la fumée de silice</i>                               | 61 |
| III.7.5.2   | <i>laitier de haut fourneau</i>                         | 62 |
| III.7.6     | <i>Le milieu agressif</i>                               | 62 |
| III.7.6.1   | <i>caractéristique</i>                                  | 62 |

#### **Chapitre IV : Techniques Expérimentale**

|         |   |    |
|---------|---|----|
| IV.1    | <i>introduction</i>   | 64 |
| IV.2    | <i>revue bibliographique des techniques de formulation de BHP</i> | 64 |
| IV.2.1. | <i>méthode suggérée par la comité ACI 363 sur les BHP</i>         | 64 |
| IV.2.2. | <i>Méthode des coulis du LCPC</i>                                 | 65 |
| IV.2.3  | <i>méthode simplifiée de mehta et AitCIN</i>                      | 65 |

|  |    |
|--|----|
| <i>IV.2.4 Méthode de formulation de l'université de Sherbrooke</i> .....                             | 66 |
| <i>IV.3 La composition de notre BHP avec fumée de silice</i> .....                                   | 68 |
| <i>IV.3.1 La composition d'un m<sup>3</sup> de béton (BHP) avec fumée de silice</i> .....            | 69 |
| <i>IV.4 La composition de notre BHP avec laitier</i> .....   | 70 |
| <i>IV.4.1 La composition d'un m<sup>3</sup> de béton (BHP) avec laitier</i> .....                    | 71 |
| <i>IV.5 La composition de notre BHP avec fumée de silice et laitier</i> .....                        | 72 |
| <i>IV.5.1 La composition d'un m<sup>3</sup> de béton (BHP) avec fumée de silice et laitier</i> ..... | 72 |
| <i>IV.6 Préparation de mélange</i> .....   | 75 |
| <i>IV.6.1 confection des éprouvettes</i> .....   | 75 |

**Chapitre V : Résultat et interprétation**

|  |    |
|--|----|
| <i>V.1 introduction</i> .....  | 76 |
| <i>V.2 présentation des résultats</i> .....  | 76 |
| <i>V.2.1 Résultats des essais à l'état frais</i> .....   | 76 |
| <i>V.2.2 Résultats des essais à l'état durci</i> .....   | 77 |
| <i>V.3 Résultats et interprétations</i> .....  | 83 |
| <i>V.3.1 optimisation du squelette granulaire (les ajouts cimentaires)</i> .....                                 | 83 |
| <i>V.3.2 optimisation du dosage en fumée de silice</i> .....   | 85 |
| <i>V.3.3 optimisation du dosage en laitier</i> .....   | 88 |
| <i>V.3.4 optimisation du dosage en laitier+fumée de silice</i> .....   | 92 |
| <i>V.3.5 comparaison entre optimisation de dosage en fumée de silice et dosage fumée de silice+laitier</i> ..... | 96 |
| <i>V.4 Conclusion finale</i> .....   | 97 |
| <i>V.5 Perspectives</i> .....  | 98 |

#### V.4 Conclusion finale :

Notre travail de recherche à améliorer les propriétés physiques est mécanique ; ainsi que la durabilité des bétons à hautes performances, par la réduction du rapport eau sur ciment, par l'utilisation conjointe d'un super plastifiant et des ajouts minéraux (fumée de silice et laitier granulé broyé).

Est d'autre part cherché un béton moins couteux.

Dans notre travail, une étude expérimentale a été élaborée pour analyser les caractéristiques physiques et mécaniques des bétons à haute performance avec des différents pourcentages des ajouts minéraux (fumée de silice et laitier broyé et le mélange entre les deux), ainsi que leurs performances vis-à-vis de l'attaque des agents agressifs.

Les résultats de ce travail peuvent mener aux conclusions suivantes :

- L'incorporation des ajouts cimentaire (fumée de silice, laitier) et super-plastifiant augmente l'affaissement au cône D'Abrams malgré que le rapport ( $E/L=0,3$ ) est faible.
- La fabrication des BHP doit être basé sur une étude précise, dans les choix des constituants, la détermination du rapport  $E/L$ , le dosage de super-plastifiant, et l'optimisation du squelette granulaire.
- On peut fabriquer un béton à haute performance à partir des matériaux locaux, et atteindre des résistances à la compression à 28j jusqu'au 79MPa.
- L'utilisation de l'ajout laitier granulé broyé avec un pourcentage de 25% du poids de ciment donne une résistance très élevé qui dépassent 69 MPa.
- Utilisation un dosage optimal de mélange des ajouts cimentaires avec un pourcentage de (5%fumée de silice+10%laitier) donne une résistance à la *compression presque équivalente à celle de 8% de fumée de silice sec*
- La dégradation du béton par l'action de sulfate, est due principalement à l'action combinée des ions sulfates et des cations  $Mg^{2+}$  avec la portlandite, les sulfates réagissent avec les aluminates du ciment, donnent, donnent des composés *expansifs tel que l'ettringite dont la cristallisation provoque la fissuration du béton*, L'utilisation des ajouts actifs est ciment de fort quantité de  $C_3S$  faible quantité de  $C_2S$  réduire l'action chimique et physique cette dégradation.