

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

FACULTE DE TECHNOLOGIE  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

N° :



DOMAINE : SCIENCE ET TECHNIQUES  
FILIERE : Génie Civil  
OPTION : Matériaux

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

**Par : - HOUICHE Amel  
- SOUICI Souhila**

**Intitulé**

***Etude expérimentale d'un mortier et d'un béton à base  
de ciment CRS (Performance, Caractérisation)***

**Soutenu devant le jury composé de :**

**Dr: M. mazza**

Université de M'sila

Président

**Pr: M. beddar**

Université de M'sila

Rapporteur

**Mdm: M. belouadeh**

Université de M'sila

Examineur

**Année universitaire : 2016 /2017**

## REMERCEMENTS

*Nous tenons à remercier to d'abord notre créateur {Allah} pour nous avoir donné de la force à accomplir ce travail.*

*Spécialement nos chers parents pour qui ont toujours là pour nous.*

*Notre encadreur : Pr. Beddar Miloud pour leur aide et conseil.*

*Tous les membres du jury, pour l'honneur qu'ils nous font En acceptant d'examiner ce mémoire et pour leur Bienveillante attention.*

*Nous adressons nos remerciements à tous nos professeurs honorés depuis plus de 5 ans ... et plus particulièrement M. Zine El Abidine Rahmouni, que Dieu les préserve et de les sauvegardent.*

*L'équipe du laboratoire de l'usine LafargeHolcim m'sila.*

*Enfin, nous adressons nos sincères remerciements à tous Nos proches et amis qui nous ont toujours soutenues et Encouragées au cours de la réalisation de ce mémoire.*

*Amel et Souhila.*

# DEDICACE

*Je dédie ce modeste travail à mes chers parents dont le soutien et les encouragements ininterrompus ont permis à ce travail de voir le jour*

*Amer et aïcha*

*A l'esprit de ma grande mère (FATIMA)*

*Ma grande mer (ELREBEH)*

*Ma belle sœur : hassina*

*Mes chers frères : youcef, ahmed, younes, et mon petit **nabil***

*Mhammed, sa femme et sa petite fleur **(nada)***

*Que dieu la saine et la sauve*

*à le plus proche de mon cœur et lumière de ma vie **(ahmed alayani)**  
et sa famille*

*Mes chères cousines : sawsen, sara, selma, saher, siraj, et asoula*

*Hanane, sihem, nouara*

*Mes tantes : meriem, naima, salima*

*Aïda, fatiha*

*La femme de mon oncle et ses fille ( dhoha et hiba )*

*A toutes mes familles*

*a mes fidèle amies et mes perles : sahla, hafsa, djihed, nour el houda,  
sara, imen, khadidja et noura*

*a mes chères amis et camarades et spécialement : yacine , miloud*

*Amel*

## DÉDICACE

*Je suis très heureuse de pouvoir dédier cet humble travail aux être les plus chers à mon cœur :*

*A la lumière de mes jours, la source de mes efforts, la flamme de mon cœur, ma vie et mon bonheur, maman que j'adore.*

*A mon père que j'aime très fort. « Rabah et Fatima ».*

*A mon fiancé Hamza, qui était la source de mon courage et toute sa famille.*

*A mes frères « Lahcene, Tifou, Riad », ses femmes et ses enfants.*

*A mes sœurs « Rebeh et Mounira », ses maris et ses enfants.*

*A ma sœur Samira que Dieu la garde saine et la sauve.*

*A mes jumeaux Takwa et Younes, et les petits enfants Djouri, Razane, Abd Samad, mouad, Riham, Rimaz.*

*A ma grande mer Yamna, et toute ma famille.*

*Pour les lumières de ma vies, mes bonheurs mes sœurs, ces les plus chers amies*

*et ma deuxième familles que Dieu les sauve : Amel, Hafsa, Houda, Khadidja, Noura, Imane, Sara, Djihad, Souhila.*

*Pour toute mes camarades de groupe master deux de matériaux et spécialement Yacine et Mokhtar.*

*et je passe un grand salut à la chambre Z 137.*

**SOUHILA**

# SOMMAIRE

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introduction générale</b>                                  | 1  |
| <b>Structure de mémoire</b>                                   | 2  |
| <b>Chapitre I : Etude bibliographique.</b>                    |    |
| I.1 Introduction                                              | 3  |
| <b>I.2 le ciment</b>                                          | 3  |
| I.2.1 Définition                                              | 3  |
| I.2.2 Principe de fabrication ciment portland                 | 3  |
| I.2.3 Principales types des Ciments                           | 4  |
| I.2.4 Les constituants du ciment                              | 5  |
| I.2.5 Les réactions d'hydratation du ciment                   | 5  |
| I.2.5.1 Hydratation du silicate tricalcique $C_3S$            | 5  |
| I.2.5.2 HYDRATATION DU SILICATE BI CALCIQUE $C_2S$            | 6  |
| I.2.5.3 Hydratation de l'aluminate tricalcique $C_3A$         | 7  |
| I.2.5.4 Hydratation de l'aluminoferrite tétracalcique $C_4AF$ | 7  |
| I.2.6 CIMENT (CRS)                                            | 8  |
| I.2.6.1 DEFINITION DU CIMENT CRS                              | 8  |
| I.2.6.2 Caractéristiques chimiques et minéralogiques          | 8  |
| I.2.6.2 Caractéristiques chimiques et minéralogiques          | 8  |
| I.2.6.3 Caractéristiques physicomécaniques                    | 8  |
| I.2.6.4 Emplois habituel                                      | 8  |
| I.2.7 Ciment (CHF)                                            | 8  |
| I.2.7.1 Définition de Ciment au laitier (CHF)                 | 8  |
| I.2.7.2 Qualités demandées au laitier destiné à la cimenterie | 9  |
| I.2.7.3 Évolution de la résistance dans le temps              | 9  |
| I.3 Le mortier                                                | 9  |
| I.3.1 DEFINITION                                              | 9  |
| I.3.2 COMPOSITION DU MORTIER                                  | 9  |
| I.3.3 Les différents types de mortiers                        | 10 |
| I.3.4 Classification générale des mortiers                    | 10 |
| I.3.4.1 Selon leur domaine d'utilisation                      | 10 |
| I.3.4.2 Selon la nature du liant                              | 11 |
| I.4 LE BETON                                                  | 11 |
| I.4.1 DEFINITION                                              | 11 |
| I.4.2 Les constituants du béton (l'eau et les granulats)      | 11 |
| I.4.2.1 Les granulats                                         | 11 |
| I.4.2.2 LE SABLE                                              | 11 |
| I.4.2.3 L'eau                                                 | 12 |
| I.4.3 Composition du béton                                    | 13 |
| I.4.4 LE DURCISSEMENT DU BETON                                | 13 |
| I.4.4.1 LA REACTION D'HYDRATATION                             | 13 |
| I.4.5 Propriétés des bétons                                   | 13 |
| I.4.5.4 Propriétés du béton durci                             | 13 |
| I.4.6.1 Béton autoplaçant (BAP)                               | 14 |
| I.4.6.2 Béton de haute performance (BHP)                      | 15 |
| I.4.6.3 Béton de fibre Béton                                  | 15 |
| I.4.6.4 Béton a durcissement                                  | 15 |
| I.4.6.5 Béton léger                                           | 15 |
| I.4.6.6 Béton lourd                                           | 15 |
| I.4.6.7 Béton ordinaire                                       | 15 |
| I.4.7 Formulation du béton                                    | 15 |
| I.5 Les adjuvants                                             | 16 |
| I.5.1 Définition                                              | 16 |
| I.5.2 Classification et utilisation                           | 16 |

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| I.5.3 Quelques exemples d'utilisation                                                                       | 16 |
| I.6 Conclusion                                                                                              | 17 |
| <b>Chapitre II: Matériaux et essais</b>                                                                     |    |
| II.1 Introduction                                                                                           | 18 |
| II.2 Le sable (sable d'OUED MAITAR, sable concassé, sable normalisé)                                        | 18 |
| II.2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés                                                       | 18 |
| II.2.1.1 Sable de oued MAITAR                                                                               | 18 |
| II.2.1.2 Sable concassé                                                                                     | 23 |
| II.2.1.3 Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196-1                                                     | 27 |
| II.3 Graviers                                                                                               | 28 |
| II.3.1 Gravier concassé                                                                                     | 28 |
| II.3.1.1 Origine de gravier                                                                                 | 28 |
| II.3.1.2 Classes granulaires                                                                                | 28 |
| II.3.1.3 Caractéristiques physiques du gravier utilisé                                                      | 28 |
| II.3.2 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés                                                | 31 |
| II.3.2.1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573                                       | 31 |
| II.3.3 Caractéristiques chimiques des graviers utilisés                                                     | 33 |
| II.4 Le ciment                                                                                              | 33 |
| II.4.1 Les constituants des ciments CRS et CHF                                                              | 33 |
| II.4.2 Caractéristiques de ciment utilisé                                                                   | 33 |
| II.4.2.1 Caractéristiques chimique de ciment CRS et CHF                                                     | 33 |
| II.4.2.2 Caractéristiques minéralogiques de ciment CRS, CHF                                                 | 34 |
| II.4.2.3 Essais sur ciment hydraté (pâtes de ciment)                                                        | 34 |
| II.5 Conclusion                                                                                             | 38 |
| <b>Chapitre III : Parties Expérimentale</b>                                                                 |    |
| III.1 Introduction                                                                                          | 39 |
| III.2 Essais sur Mortier                                                                                    | 39 |
| III.2 Essais sur Mortier                                                                                    | 39 |
| III.2.1 Mortier normalisée                                                                                  | 39 |
| III.2.1.1 La résistance mécanique                                                                           | 39 |
| III.2.1.2 Mesure du Retrait et gonflement sur éprouvette de mortier normale                                 | 41 |
| III.3 Essais de béton                                                                                       | 43 |
| III.3.1 Béton ordinaire                                                                                     | 43 |
| III.3.1.1 Méthode utilisée                                                                                  | 43 |
| III.3.2 A l'état frais                                                                                      | 45 |
| III.3.2.1 Affaissement au Cône d'abrams                                                                     | 45 |
| III.3.3 A l'état durci                                                                                      | 45 |
| III.3.3.1 Résistance à la compression                                                                       | 45 |
| III.4 Conclusion                                                                                            | 46 |
| <b>Chapitre IV : Résultats et interprétation</b>                                                            |    |
| IV.1 Introduction                                                                                           | 47 |
| IV.2 Essais sur ciment                                                                                      | 47 |
| IV.3 L'effet de la finesse (SSB) sur ciment (CRS, CHF)                                                      | 47 |
| IV.2.1 La surface spécifique de Blaine (SSB)                                                                | 47 |
| IV.3.1 L'effet de la finesse (SSB) sur la densité de ciment (CRS, CHF)                                      | 47 |
| IV.3.2 L'effet de la finesse (SSB) sur la consistance de ciment (CRS, CHF)                                  | 48 |
| IV.3.3 L'effet de la finesse (SSB) sur l'expansion de ciment (CRS, CHF)                                     | 49 |
| IV.3.4 L'effet de la finesse (SSB) sur le temps de prise de ciment (CRS, CHF)                               | 50 |
| IV.4 Essais sur mortier                                                                                     | 51 |
| IV.4.1 L'effet de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de mortier avec un ciment (CRS, CHF)         | 51 |
| IV.4.1.1 La résistance à la flexion de mortier avec un ciment CRS                                           | 51 |
| IV.4.1.2 La résistance à la flexion de mortier avec CHF                                                     | 51 |
| IV.4.1.3 Comparaison entre la résistance à la flexion de mortier avec CRS et CHF à 28 jours                 | 52 |
| IV.4.2 L'effet de finesse (SSB) sur la résistance à la compression de mortier avec un ciment (CRS, CHF)     | 53 |
| IV.4.2.1 La résistance à la compression de mortier avec CRS                                                 | 53 |
| IV.4.2.2 La résistance à la compression de mortier avec CHF                                                 | 53 |
| IV.4.2.3 Comparaison entre la résistance à la compression de mortier avec les ciments CRS et CHF à 28 jours | 54 |
| IV.4.3 L'effet de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment (CRS, CHF)                              | 55 |
| IV.4.3.1 Le retrait de mortier de ciment CRS                                                                | 55 |

|                                                                                              |    |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| IV.4.3.2 Le retrait de mortier de ciment CHF                                                 | 55 |
| IV.4.3.3 Comparaison entre le retrait de mortier de ciment CRS et CHF à 28 jours             | 56 |
| IV.4.4 L'effet de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment (CRS, CHF)            | 56 |
| IV.4.4.1 Le gonflement de mortier de ciment CRS                                              | 57 |
| IV.4.4.2 Le gonflement de mortier de ciment CHF                                              | 57 |
| IV.4.4.3 Comparaison entre le gonflement de mortier de ciment CRS et CHF à 28 jours          | 58 |
| IV.4.5 L'effet de finesse (SSB) sur la chaleur d'hydratation de mortier de ciment (CRS, CHF) | 58 |
| IV.5 Essais sur béton                                                                        | 59 |
| IV.5.2 La résistance à la compression des différents mélanges de béton préparé               | 60 |
| IV.6 Conclusion                                                                              | 60 |
| <b>Conclusion générale</b>                                                                   | 62 |



## LISTE DES FIGURES

# Liste des figures

| N° figures                          | Chapitre 01 : Etude bibliographique                                                                   | N° pages |
|-------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Fig I-1                             | Fabrication du ciment.                                                                                | 4        |
| Fig I-2                             | Les constituants du ciment.                                                                           | 5        |
| Fig I-3                             | C-S-H fibreux avec Cristal de Portlandite (X)<br>entre des C-S-H (#), La porosité est repérée par (O) | 6        |
| Fig I-4                             | Microscopie Electronique à Balayage, ettringite<br>aciculaire (aiguille) dans un béton                | 7        |
| Fig I-5                             | Type de gravier                                                                                       | 12       |
| Chapitre 02: Matériaux et essais    |                                                                                                       |          |
| FigII.1                             | Les Tamis.                                                                                            | 24       |
| Fig II.2                            | La courbe granulométrique du sable (0/3)et(0/1).                                                      | 26       |
| Fig II.3                            | Sable Normalisé                                                                                       | 27       |
| Fig II.4                            | La courbe granulométrique des graviers concassés<br>(3/8-8/16-16/25).                                 | 31       |
| Fig II.5                            | Appareil de l'essai Los Angeles.                                                                      | 31       |
| Fig II.6                            | Appareil de Vicat ( Consistance % E/C)                                                                | 35       |
| Fig II.7                            | Appareil de vicat ( mesure de temps de prise DP& FP<br>)                                              | 36       |
| Fig II.8                            | les Aiguillé de chatelier                                                                             | 37       |
| Fig II.9                            | les Aiguillé et bain marie de chatelier                                                               | 38       |
| Chapitre 03 : parties expérimentale |                                                                                                       |          |
| Fig III-1                           | Malaxeur semi-automatique de (Laboratoire de<br>Lafargeholcim M'sila)                                 | 39       |



## LISTE DES FIGURES

|                   |                                                                                                       |           |
|-------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                   |                                                                                                       |           |
| <b>Fig III-2</b>  | <b>Eprouvette Prismatique (4x4x16) cm<sup>3</sup> (Laboratoire de Lafargeholcim M'sila)</b>           | <b>39</b> |
| <b>Fig III-3</b>  | <b>Table Vibrante<br/>(Laboratoire de Lafarge M'sila)</b>                                             | <b>40</b> |
| <b>Fig III-4</b>  | <b>La Chambre d'humidité<br/>( Laboratoire de lafargeholcim M'sila )</b>                              | <b>40</b> |
| <b>Fig III-5</b>  | <b>Bains d'eau ( laboratoire de Lafargeholcim M'sila )</b>                                            | <b>41</b> |
| <b>Fig III-6</b>  | <b>Machine de Compression<br/>(Laboratoire de Lafargeholcim M'sila )</b>                              | <b>41</b> |
| <b>Fig III-7</b>  | <b>Moules ( 4x4x16) cm<sup>3</sup> Équipés de plots de Retrait</b>                                    | <b>42</b> |
| <b>Fig III-8</b>  | <b>Comparateur de Retrait<br/>( Laboratoire de Lafargeholcim M'sila )</b>                             | <b>43</b> |
| <b>Fig III-9</b>  | <b>les moules 10*10*10 cm</b>                                                                         | <b>45</b> |
| <b>Fig III-10</b> | <b>la machine de compression</b>                                                                      | <b>46</b> |
|                   | <b>Chapitre 04 : résultats et interprétations</b>                                                     |           |
| <b>Fig IV.1</b>   | <b>L'influence de la finesse (SSB) sur la densité de ciment<br/>(CRS, CHF).</b>                       | <b>47</b> |
| <b>Fig IV.2</b>   | <b>Fig IV-2 : L'influence de la finesse (SSB) sur la consistance<br/>de ciment (CRS, CHF).</b>        | <b>48</b> |
| <b>Fig IV.3</b>   | <b>L'influence de la finesse (SSB) sur l'expansion de ciment<br/>(CRS, CHF).</b>                      | <b>49</b> |
| <b>Fig IV.4</b>   | <b>L'influence de la finesse (SSB) sur temps de prise de ciment<br/>CRS.</b>                          | <b>50</b> |
| <b>Fig IV.5</b>   | <b>L'influence de la finesse (SSB) sur temps de prise de ciment<br/>CHF.</b>                          | <b>50</b> |
| <b>Fig IV.6</b>   | <b>L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de<br/>mortier avec CRS.</b>           | <b>51</b> |
| <b>Fig IV.7</b>   | <b>L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de<br/>mortier avec CHF.</b>           | <b>51</b> |
| <b>Fig IV.8</b>   | <b>L'influence de finesse SSB sur la résistance à la flexion à 28<br/>j de mortier avec CRS, CHF.</b> | <b>52</b> |
| <b>Fig IV.9</b>   | <b>L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la<br/>compression de mortier avec CRS.</b>       | <b>53</b> |
| <b>Fig IV.10</b>  | <b>L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la<br/>compression de mortier avec CHF.</b>       | <b>53</b> |
| <b>Fig IV.11</b>  | <b>L'influence de finesse SSB sur la résistance à la</b>                                              | <b>54</b> |



## LISTE DES FIGURES

|                  |                                                                                                                        |           |
|------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
|                  | <b>compression à 28 j de mortier avec CRS, CHF.</b>                                                                    |           |
| <b>Fig IV.12</b> | <b>l'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CRS.</b>                                           | <b>55</b> |
| <b>Fig IV.13</b> | <b>l'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CHF.</b>                                           | <b>55</b> |
| <b>Fig IV.14</b> | <b>L'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CRS et CHF à 28j.</b>                              | <b>56</b> |
| <b>Fig IV.15</b> | <b>l'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment CRS.</b>                                        | <b>57</b> |
| <b>Fig IV.16</b> | <b>l'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment CHF.</b>                                        | <b>57</b> |
| <b>Fig IV.17</b> | <b>L'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de ciment CRS et CHF à 28 j.</b>                                     | <b>58</b> |
| <b>Fig IV.18</b> | <b>l'effet de finesse (SSB) sur la chaleur d'hydratation de mortier de ciment (CRS, CHF).</b>                          | <b>58</b> |
| <b>Fig IV.19</b> | <b>la masse volumique des bétons préparés en fonction de temps.</b>                                                    | <b>59</b> |
| <b>Fig IV.20</b> | <b>La résistance à la compression (MPa) de béton ordinaire et beton avec adjuvant on fonction de temps (28 jours).</b> | <b>60</b> |



## LISTE DES TABLEAUX

# liste des tableaux

| N° de tableaux                    | Chapitre 01 : étude bibliographique                                      | N° pages |
|-----------------------------------|--------------------------------------------------------------------------|----------|
| Tableau I-1                       | Principales catégories de ciment.                                        | 5        |
| Tableau I-2                       | synoptique d'utilisation des principaux adjuvants                        | 17       |
| Chapitre 02 : Matériaux et essais |                                                                          |          |
| Tableau II.1                      | Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.                           | 18       |
| Tableau II-2                      | Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.          | 18       |
| Tableau II-3                      | la porosité, la compacité et l'indice de vide.                           | 19       |
| Tableau II-4                      | Équivalent du sable de Boussaâda.                                        | 21       |
| Tableau II-5                      | Comparaison des résultats.                                               | 21       |
| Tableau II-6                      | Degré d'absorption d'eau du sable de Boussaâda                           | 22       |
| Tableau II-7                      | Analyse chimique du sable de BOUSAADA.                                   | 22       |
| Tableau II-8                      | Masse volumique absolue du sable de concassé.                            | 23       |
| Tableau II-9                      | Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.              | 23       |
| Tableau II-10                     | analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre) et sable concassé. | 25       |
| Tableau II-11                     | Caractéristiques physiques de sable normalisé.                           | 28       |
| Tableau II-12                     | Masses volumiques apparentes des graviers concassés.                     | 29       |
| Tableau II-13                     | Masse volumique absolue du gravier concassé.                             | 29       |
| Tableau II-14                     | Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.                                 | 30       |
| Tableau II-15                     | Degré d'absorption d'eau du gravier concassé.                            | 30       |
| Tableau II.16                     | Analyses granulométriques du gravier concassé (3/8),(8/16),(16/25).      | 30       |
| Tableau II.17                     | Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.                          | 32       |
| Tableau II.18                     | Classification des roche en fonction du coefficient (LA)                 | 32       |



## LISTE DES TABLEAUX

|                                                   |                                                                                            |           |
|---------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>Tableau II.19</b>                              | <b>Analyse chimique de la pierre concassée.</b>                                            | <b>33</b> |
| <b>Tableau II.20</b>                              | <b>Les constituants des ciments CRS, CHF.</b>                                              | <b>33</b> |
| <b>Tableau II.21</b>                              | <b>caractéristiques chimiques de ciment CRS,CHF.</b>                                       | <b>33</b> |
| <b>Tableau II.22</b>                              | <b>Caractéristiques minéralogiques de ciment CRS, CHF.</b>                                 | <b>34</b> |
| <b>Chapitre III : parties expérimentale</b>       |                                                                                            |           |
| <b>Tableau III-1</b>                              | <b>composition de mortier</b>                                                              | <b>39</b> |
| <b>Tableau III-2</b>                              | <b>composition de chaque béton</b>                                                         | <b>44</b> |
| <b>Tableau III-3</b>                              | <b>formulation de 9 éprouvettes pour chaque béton</b>                                      | <b>44</b> |
| <b>Chapitre IV : résultats et interprétations</b> |                                                                                            |           |
| <b>Tableau IV.1</b>                               | <b>les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durci des bétons préparés.</b> | <b>59</b> |

# introduction générale



### Introduction générale

**1. Introduction :** L'industrie cimentière met aujourd'hui à la disposition de l'utilisateur un grand nombre de ciments qui présentent des caractéristiques bien définies et adaptées à des domaines d'emploi déterminés.

La gamme étendue de résistance, de nature ou de vitesse de prise et de durcissement répond aux usages très divers qui sont faits du béton sur chantier ou en usine, dans le bâtiment ou les travaux publics. Impératifs climatiques, résistance à des agents agressifs, autant de paramètres qui doivent aider à choisir le ciment le plus approprié.

Pour faire ce choix, il importe de connaître les caractéristiques spécifiques des différentes catégories de ciment prévues par la normalisation.

Il convient de souligner que lorsqu'on parle de résistance de ciment, il s'agit de valeurs spécifiées dans la norme.

Les valeurs de résistance des bétons obtenues à partir de ces ciments peuvent être très différentes en plus ou en moins. C'est ainsi qu'on peut réaliser des bétons de hautes performances dépassant 100 Mpa de résistance à la compression à partir de CEM I 42,5 ou 52,5.

**2. L'objet :** ce travail consiste à élaborer un ciment CRS tout en modifiant la finesse de Clinker pour arriver à obtenir un ciment CRS performant, et comparer ces résultats avec un ciment de référence CHF.

Le travail était purement pratique qui est basé sur la préparation d'un ciment CRS avec 95% de clinker et 5% de gypse. Mais avant de mélanger ces deux composants, on a joué sur la finesse (de 3000 à 5500 g/cm<sup>2</sup>) qui représente un facteur essentiel pour la caractérisation de ce type de ciment.

D'autre part, un autre travail consiste à étudier la résistance mécanique (résistance à la compression) d'un béton ordinaire (avec et sans adjuvant) à base d'un ciment CRS.



### STRUCTURATION DU MEMOIRE :

Ce mémoire est divisé en quatre chapitres :

**Chapitre I** : représente une notion générale sur le ciment, le mortier, le béton, et les adjuvants.

**Chapitre II** : contient les propriétés des matériaux utilisés.

**Chapitre III** : présente les différents essais réalisés pour atteindre l'objectif de ce travail.

**Chapitre IV** : porte sur la discussion et l'interprétation des résultats.

Le travail termine par une conclusion et des références.

# Chapitre I

## Chapitre I : Etude bibliographique.

### I.1 Introduction :

Les matériaux cimentaires sont les matériaux les plus utilisés au monde. Ce sont essentiellement eux qui façonnent notre environnement. Voies de circulation, ouvrages d'art et d'assainissement, bâtiments de toute nature, édifices historiques, rien n'échappe à leur omniprésence.

Le ciment est un composant essentiel des matériaux cimentaires comme le béton et le mortier. Il assure une fonction mécanique, car il lie le squelette granulaire, mais il est aussi en grande partie responsable de la tenue à long terme du matériau béton. La conception d'un béton est extrêmement liée à l'environnement dans lequel va être exposé durant sa durée de vie .

### I.2 le ciment :

#### I.2.1 Définition :

Le ciment est un liant hydraulique, matériau inorganique finement broyé, lorsqu'il est mélangé avec de l'eau, il forme une pâte qui fait prise, durcit et conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau.[1]

Le ciment ordinaire anhydre est constitué de clinker Portland, de gypse et éventuellement d'additions telles que les cendres volantes, le laitier granulé de haut fourneau, la fumée de silice, pouzzolanes naturelles..., etc.

Une notation cimentière a été établie pour simplifier l'écriture des phases solides. Les équivalences sont les suivantes :

$\text{CaO} = \text{C}$  ;  $\text{SiO}_2 = \text{S}$  ;  $\text{Al}_2\text{O}_3 = \text{A}$  ;  $\text{Fe}_2\text{O}_3 = \text{F}$  ;  $\text{SO}_3 = \text{s}$  ;  $\text{H}_2\text{O} = \text{H}$ .

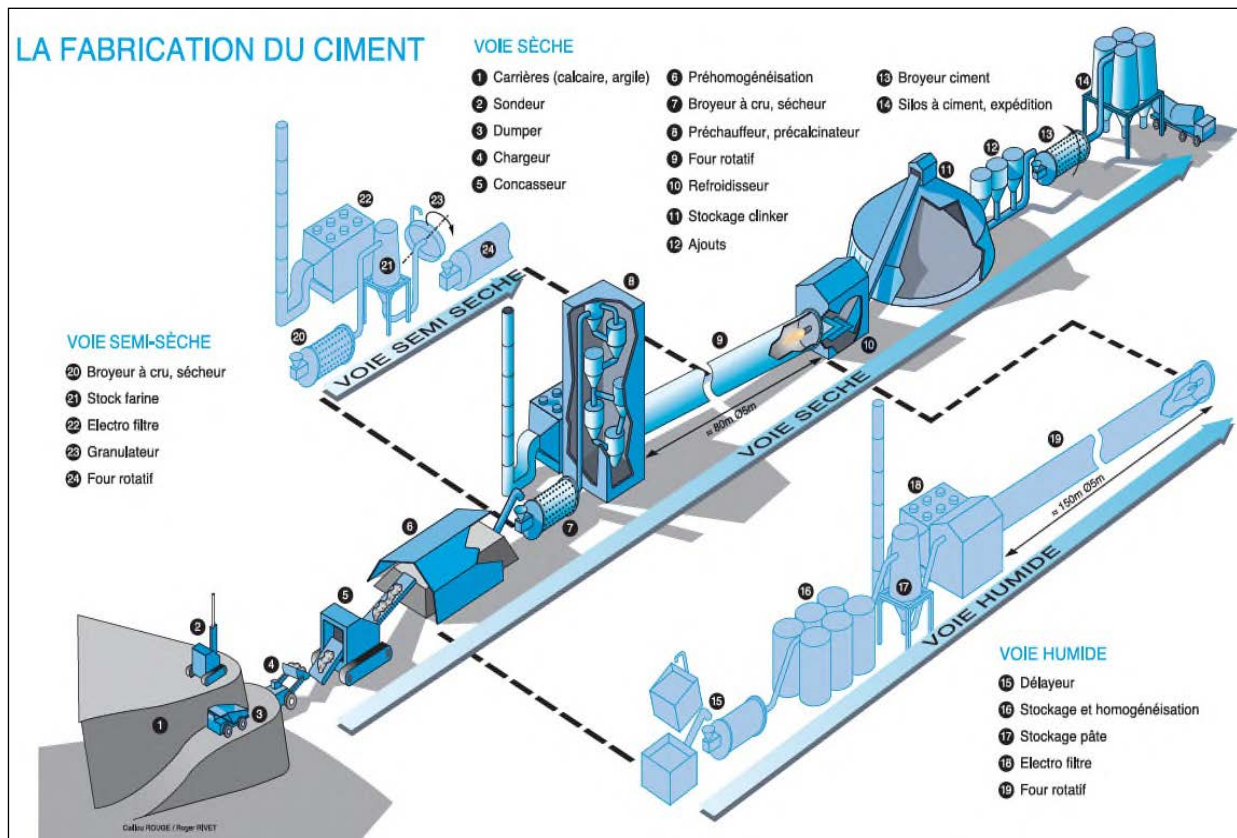
#### I.2.2 Principe de fabrication ciment portland:

La fabrication de ciment se réduit schématiquement (voir fig I.1) aux trois opérations suivantes:

- préparation du cru.
- cuisson.
- broyage et conditionnement.

Il existe 4 méthodes de fabrication du ciment :

- Fabrication du ciment par voie humide (la plus ancienne).
- Fabrication du ciment par voie semi-humide (en partant de la voie humide).
- Fabrication du ciment par voie sèche (la plus utilisée).
- Fabrication du ciment par voie semi-sèche (en partant de la voie sèche).



FigI.1 : Fabrication du ciment.

### I.2.3 Principalestypes des Ciments:

D'après la norme ENV 197-1 définit 5 types de ciment dont la composition doit être conforme au Tableau I-1.[1]

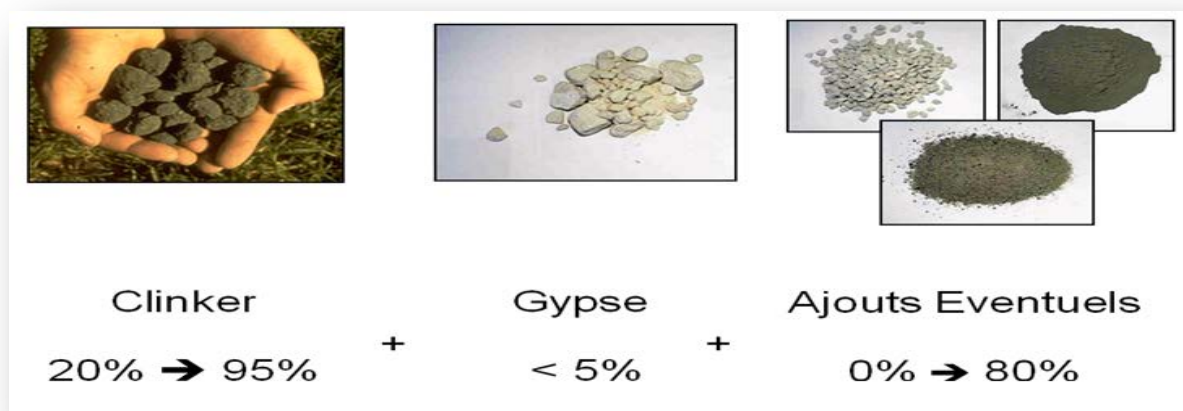
| Désignations            | Notation                     | Clinker        | Autres constituants | Constituants secondaires |
|-------------------------|------------------------------|----------------|---------------------|--------------------------|
| Ciment Portland         | CPA -CEM I                   | 95-100         | ----                | 0-5                      |
| Ciment Portland composé | CPJ-CEM II/A<br>CPJ-CEM II/B | 80-94<br>65-79 | 6-20<br>21-35       | --- ---                  |
| Ciment de haut fourneau | CHF-CEM III/A                | 35-64          | 36-65               | 0-5                      |
|                         | CHF-CEM III/B                | 20-34          | 66-80               | 0-5                      |
|                         | CLK -CEM III/C               | 5-19           | 81-95               | 0-5                      |
| Ciment pouzzolanique    | CPZ-CEM IV/A<br>CPZ IV/B     | 65-90<br>45-64 | 10-35<br>36-55      | 0-5<br>0-5               |

|                |             |       |       |     |
|----------------|-------------|-------|-------|-----|
| Ciment composé | CLC-CEM V/A | 40-64 | 18-30 | 0-5 |
|                | CLC-CEM V/B | 20-39 | 31-50 | 0-5 |

**Tableau I.1 :**Principales catégories de ciment.

Avec les notations abrégées correspondantes qui sont comme suit : CEM pour indiquer que le produit est un ciment. Un chiffre romain 1, 2, 3, 4 ou 5 pour indiquer le type de ciment. Pour le ciment 2 ; 3 ; 4 et 5 une lettre A, B, C pour indiquer la proportion des constituants. Le nombre indiquant la classe de résistance 32.5, 42.5, 52.5 suivi le cas échéant de la lettre R pour signaler une résistance élevée au jeune âge (2 jours). [1]

#### I.2.4 Les constituants du ciment :



**FigI.2:**Les constituants du ciment.

#### I.2.5 Les réactions d'hydratation du ciment :

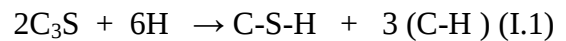
Lorsque le ciment entre en contact avec l'eau, une réaction exothermique instantanée se produit avec une forte libération de chaleur, cette période dite de pré-induction est de courte durée (10 – 20 minutes). Elle est suivie d'une période relative inactivée appelée période d'induction ou période dormante au cours de laquelle le dégagement de chaleur est faible, mais jamais nul.

La durée de cette période peut varier entre 2 et 8 heures.

La période d'induction est très importante quant à l'ouvrabilité des bétons et mortiers, car à sa fin s'amorce la prise du ciment avec un fort dégagement de chaleur qui correspond à la période d'accélération associée au début de prise et de durcissement du ciment. Pour comprendre les changements chimiques et physiques qui se produisent au cours de l'hydratation du ciment portland, il est essentiel d'étudier séparément les réactions des silicates et des aluminates.

##### I.2.5.1 Hydratation du silicate tricalcique $C_3S$ :

L'hydratation des silicates produit des gels de silicate de calcium hydraté et l'hydroxyde de calcium. La réaction du  $C_3S$  avec de l'eau est la suivante:



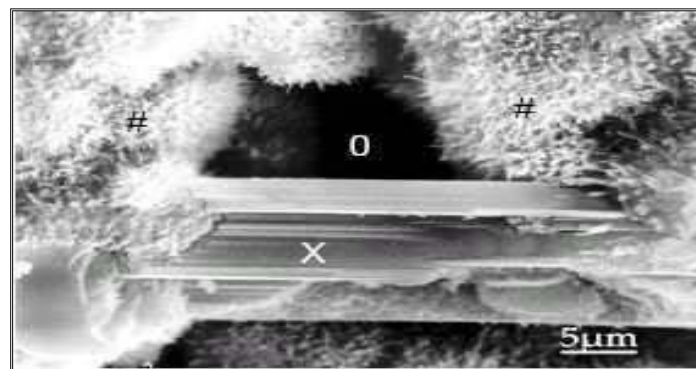
Où C-S-H représente le  $3CaO \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$  (Silicate de calcium hydraté) et (C-H) représente le  $Ca(OH)_2$  (Portlandite).

Les hydrates ainsi obtenus au cours de l'hydratation du  $C_3S$  sont :

- ✓ les silicates de calcium hydratés (C-S-H) qui occupent entre 60 et 70% du volume de solide d'une pâte de ciment complètement hydratée. Ils ont une structure en feuillets formées de cristaux très petits et mal cristallisés.
- ✓ La surface spécifique est très élevée (100 - 700 m<sup>2</sup>/g).
- ✓ La cohésion des feuillets de C-S-H est due aux forces de Van Der Waals entre leurs parties colloïdales.

L'autre composant principal dans l'hydratation des silicates tricalciques est l'hydroxyde de calcium C-H (ou Portlandite) qui occupe entre 20 à 25% du volume des solides de la pâte de ciment complètement hydratée.

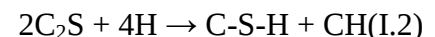
La portlandite a une morphologie hexagonale prismatique. Elle participe peu au développement de la résistance. En fait, la présence de la portlandite peut être un risque, parce qu'elle est fortement soluble et susceptible à l'attaque d'acide et de sulfate [2]



**Fig I.3 :** C-S-H fibreux avec Cristal de Portlandite (X) entre des C-S-H (#), La porosité est repérée par (O).

### I.2.5.2 Hydratation du silicate bi calcique $C_2S$ :

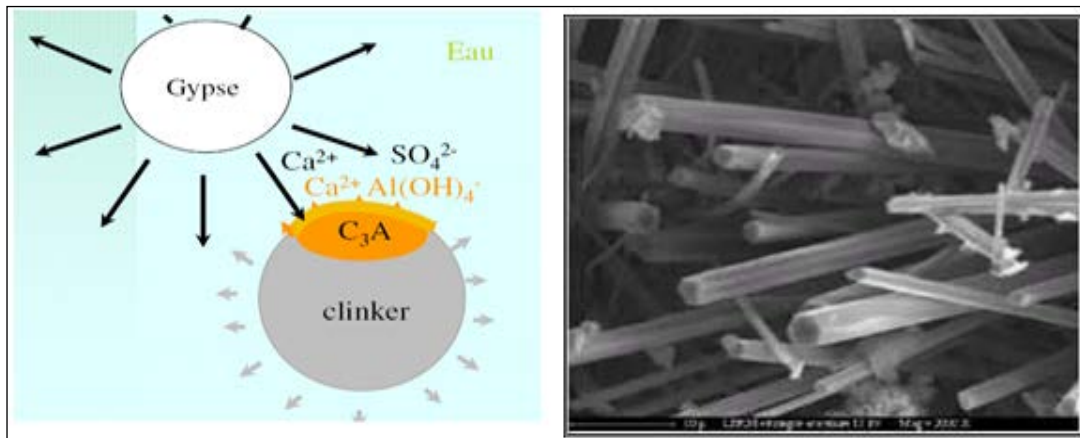
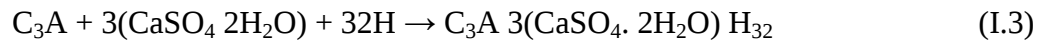
Une fois hydraté,  $C_2S$  donne aussi des C-S-H. La réaction est donnée par:



Les études calorimétriques ont montré des résultats semblables à ceux de l'hydratation de  $C_3S$  mais avec moins d'évolution de la chaleur. Selon des calculs de stœchiométrie, l'hydratation de  $C_3S$  produirait 61% de gel de C-S-H et 39% de CH alors que l'hydratation de  $C_2S$  produirait 82% de gel de C-S-H et seulement 18% de CH, donc une quantité plus élevée de  $C_2S$  dans le ciment aurait comme conséquence plus de résistance. Pour la résistance au jeune âge, cependant, plus de  $C_3S$  est nécessaire, parce que sa vitesse de réaction est plus élevée.

### I.2.5.3 Hydratation de l'aluminate tricalcique $C_3A$ :

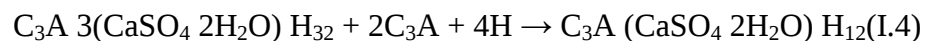
L'hydratation des aluminates est considérablement influencée par la présence du gypse ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ). En l'absence du gypse, la réaction de  $C_3A$  avec de l'eau est très violente et mène au raidissement immédiat de la pâte, connu sous le nom de prise rapide. En présence du gypse, les  $C_3A$  réagissent d'abord pour former le trisulfoaluminate hydraté (Ettringite) qui se cristallise en aiguilles à base Hexagonale. La réaction est donnée par:



**FigI.4 :** Microscopie Electronique à Balayage, ettringite aciculaire (aiguille) dans un béton.

Le gypse ajouté au clinker (3 à 5% en poids) n'est pas en teneur suffisante pour transformer tous les aluminates en éttringite.

Il apparaît donc secondairement un monosulfoaluminate qui se cristallise en plaquettes hexagonales [3]. La réaction est donnée par :



Les aluminates hydratés ainsi obtenus occupent 15 à 20% du volume de la pâte de ciment complètement hydratée [4].

### I.2.5.4 Hydratation de l'alumino ferrite tétracalcique $C_4AF$ :

Le  $C_4AF$  réagit avec le gypse avec un mode semblable que celui de  $C_3A$ , mais dans ce cas, la réaction est beaucoup plus lente.

Dans la première étape de la réaction, le  $C_4AF$  produit une forme élevée de sulfoaluminate de calcium qui réagit avec l'excès de  $C_4AF$  pour donner une basse forme de sulfoaluminate.

Ces sulfoaluminates occupent environ 15-20% du volume de solides dans la pâte.

La réaction du  $C_4AF$  dégage peu de chaleur et participe peu au développement de la résistance [4].

L'hydratation des aluminates est de grande importance pratique parce qu'ils affectent les propriétés de prise du ciment.

### **I.2.6 Ciment (CRS) :**

#### **I.2.6.1 Définition du ciment CRS :**

Le **Ciment CRS** (ciment résistant aux sulfates) est constitué de :

- 95% de clinker, des constituants secondaires (de 0 à 5%) peuvent être incorporés dans ce ciment
- Du sulfate de calcium sous forme de gypse est rajouté en tant que régulateur de prise. [4]

#### **I.2.6.2 Caractéristiques chimiques et minéralogiques :**

- ✓ La proportion de la magnésie ( MgO ) dans le ciment est inférieure ou égale à 5 %.
- ✓ La teneur en sulfates (SO<sub>3</sub>) est inférieure ou égale à 3,5 %.
- ✓ La perte au feu est inférieure ou égale à 3% .
- ✓ Le résidu insoluble est inférieur ou égal à 0.75%.
- ✓ La teneur en C3A est inférieure ou égale à 3%.
- ✓ La somme de (C4AF+2C3A) est inférieure ou égale à 20%.

#### **I.2.6.3 Caractéristiques physicomécaniques :**

- ✓ Expansion à chaud inférieur 10 mm sur pate.
- ✓ Surface spécifique de Blaine 3200 cm<sup>2</sup>/g .
- ✓ Résistance à la compression à :
  - 07 Jours 30Mpa
  - 28 jours 40Mpa
- ✓ Temps de prise en minutes.  
Début : 1h30 min  
  
Fin : (mesuré) 4h20 min.[4]

#### **I.2.6.4 Emplois habituel :**

- ✓ Il est utilisé comme ciment de base pour les travaux de génie civil en milieu agressif.
- ✓ Il est utilisé dans les travaux de béton nécessitant une faible chaleur d'hydratation. [4]

### **I.2.7 Ciment (CHF) :**

#### **I.2.7.1 Définition de Ciment au laitier (CHF) :**

Après les travaux de L. Vicat vers 1818 et de E. Langen en 1862, vint les travaux de G. Pressing qui a permis le lancement de la première fabrication industrielle du ciment au laitier en Allemagne en 1882. En 1900 le ciment au laitier fut utilisé pour la construction du métro à Paris.

Actuellement, l'introduction du laitier dans le cycle de fabrication du ciment par des teneurs variables, permet une réduction considérable du coût énergétique de la fabrication des ciments (réduction des combustibles de 30 à 40 %) [5], ainsi que l'obtention des ciments

présentant des caractéristiques physico-chimiques intéressantes telles que la résistance aux milieux agressives, et le faible retrait.

Cette utilisation du laitier se fait:

- Soit, en mélange avec le clinker, avant le broyage pour la fabrication des ciments Portland au laitier [6];
- Soit, en mélange avec du calcaire comme matière première pour la préparation du clinker par voie sèche, qui est souvent mélangé à son tour avec du laitier (d'après les travaux de Neville, 2000) [5];
- Soit, par broyage du laitier à une finesse appropriée pour être utilisé seul comme liant, en présence d'un catalyseur à base d'alcali ou de sulfate [5].

#### **I.2.7.2 Qualités demandées au laitier destiné à la cimenterie :**

**a)** Forte hydraulité, et donc taux de vitrification élevé ( $\geq 90\%$ , on emploie donc du laitier granulé ou bouleté) ; teneur en chaux aussi forte que possible, qui favorise la prise. Une teneur en alumine élevée est parfois recherchée parce qu'elle améliore la résistance initiale (en Allemagne, enfourné de la bauxite au haut-fourneau dans ce but) ; l'effet de la teneur en  $MgO$  est discuté et ne présente aucun risque de gonflement [6].

**b)** Bonne aptitude au broyage, on doit éviter l'emploi de laitier coulé froid qui donne des grains durs.

**c)** Teneur en eau inférieure à  $10\%$ , pour éviter ou limiter les frais de séchage avant broyage [6].

#### **I.2.7.3 Évolution de la résistance dans le temps :**

- le ciment CHF prend plus lentement au départ, ce qui nécessite de garder le béton humide assez longtemps, et de prendre des précautions quand il faut décoffrer rapidement. Des adjuvants, comme des chlorures, peuvent accélérer la prise.

- à long terme, la résistance du ciment CHF dépasse celle du CPA, d'où l'emploi du ciment au laitier vient quand la résistance finale doit être élevée.

### **I.3 Le mortier :**

#### **I.3.1 Définition :**

Le mortier est l'un des matériaux de construction que l'on utilise pour solidariser les éléments entre eux, assurer la stabilité de l'ouvrage, combler les interstices entre les blocs de construction. En général le mortier est le résultat d'un mélange de sable, d'un liant (ciment ou chaux) et d'eau dans des proportions données, différent selon les réalisations.[7]

#### **I.3.2 Composition du mortier :**

Le mortier est un des matériaux de construction, qui contient du ciment; de l'eau; du sable ; des adjuvants et éventuellement des additions. Ils peuvent être très différents les uns des autres selon la nature et les pourcentages des constituants, le malaxage, la mise en œuvre et la cure.

### I.3.3 Les différents types de mortiers :

➤ **Les mortiers de ciment :**

Les mortiers de ciments sont très résistants, prennent et durcissent rapidement. Le dosage du rapport entre le ciment et le sable est en général volumétrique de 1/3 et le rapport de l'eau sur ciment est environ 1/2. De plus, un dosage en ciment les rend pratiquement imperméables. En revanche, il est davantage sujet au retrait. [8]

➤ **Les mortiers de chaux :**

Les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciment. Les mortiers de chaux sont moins résistants par rapport aux mortiers de ciment. [8]

➤ **Mortiers bâtards :**

Ce sont les mortiers, dont le liant est le mélange de ciment et de chaux, dans les proportions égales, suivant leur domaine d'utilisation éventuelle, les compositions de chaux et ciment peuvent être variées. [10]

➤ **Les Mortier réfractaire :**

Il est fabriqué avec du ciment fondu, qui résiste à des températures élevées. Il est utilisé pour la construction des cheminées et barbecues. [10]

➤ **Les Mortier rapide :**

Il est fabriqué avec du ciment prompt, il est rapide et résistant pour les scellements. [10]

➤ **Les Mortier industriel :**

Ce sont des mortiers que l'on fabrique à partir de constituants secs, bien sélectionnés, conditionnés en sacs, contrôlés en usine et parfaitement réguliers. Pour utiliser ce type de mortier, il suffit de mettre la quantité d'eau nécessaire et malaxer pour ensuite les mettre en œuvre. Les fabricants de mortiers industriels proposent une gamme complète de produits répondant à tous les besoins:

- ✓ Mortiers pour enduits de couleur et d'aspect varié.
- ✓ Mortiers d'imperméabilisation.
- ✓ Mortier d'isolation thermique.
- ✓ Mortier de jointoiement.
- ✓ Mortier de ragréage.
- ✓ Mortier de scellement, mortier pour chapes.
- ✓ Mortier-colle pour carrelages, sur fond de plâtre ou de ciment.
- ✓ Mortier de réparation.

### I.3.4 Classification générale des mortiers : [11]

#### I.3.4.1 Selon leur domaine d'utilisation :

Généralement les mortiers varient selon leur domaine d'application, et ce dernier qui est très vaste et leurs domaines permet de citer les catégories suivantes:

- ✓ Mortier de pose.
- ✓ Mortier de joints.
- ✓ Mortier pour les crépis.

- ✓ Mortier pour le sol.
- ✓ Mortier pour les stucs.
- ✓ Pierres artificielles.
- ✓ Support pour les peintures murales.
- ✓ Mortier d'injection.
- ✓ Mortier de réparation pour pierres.

#### **I.3.4.2 Selon la nature du liant :**

On peut classer les mortiers selon la nature du liant en:

- ✓ Mortier de ciment portland.
- ✓ Mortier de chaux.
- ✓ Mortiers bâtards.
- ✓ Mortier à base de ciment de maçonnerie.

### **I.4 Le béton:**

#### **I.4.1 Définition :**

Le béton est un matériau obtenu en mélangeant les constituants, à savoir du ciment, de l'eau, des granulats grossiers et fins, avec ou sans ajout d'additions ou d'adjuvants. Les possibilités de variation des paramètres au sein de ce mélange de 5 constituants sont pratiquement illimitées, ce qui permet d'influencer de façon ciblée aussi bien les propriétés du béton frais que celles du béton durci.[12]

#### **I.4.2 Les constituants du béton (l'eau et les granulats):**

##### **I.4.2.1 Les granulats :**

Le granulats est constitué d'un ensemble de grains minéraux qui selon sa dimension (comprise entre 0 et 125 mm) se situe dans l'une des 7 familles suivantes :

Fillers ; sablons ; sables ; graves ; gravillons ; ballast ; enrochements.

Les granulats sont obtenus en exploitant des gisements de sables et de graviers d'origine alluvionnaire terrestre ou marine, en concassant des roches massives (calcaires ou éruptives) ou encore par le recyclage de produits tels que les matériaux de démolition.

Leur nature, leur forme et leurs caractéristiques varient en fonction des gisements et des techniques de production. La nature minérale des granulats est un critère fondamental pour son emploi, chaque roche possédant des caractéristiques spécifiques en termes de résistance mécanique, de tenue au gel et des propriétés physico-chimiques. Les granulats les plus usuels pour la fabrication des mortiers et des bétons sont élaborés à partir de roches d'origine alluvionnaire (granulats roulés ou semi-concassés) ou à partir de roches massives (granulats concassés).

#### **A- Différents types de granulats :**

Un granulats, en fonction de sa nature et de son origine, peut-être :

- **Naturel** : d'origine minérale, issus de roches meubles (alluvions) ou de roches massives, n'ayant subi aucune transformation autre que mécanique (tels que concassage, broyage, criblage, lavage).

- **Artificiel** : d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.
- **Recyclé** : obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments. [1]

Un sable ou un gravier utilisé en génie civil se caractérise notamment par sa courbe granulométrique. Elle donne la distribution de la taille des granulats en pourcents de la masse totale du tamisât. Elle est utile pour la composition de mélanges et permet de définir certains paramètres caractéristiques de distribution : diamètre du plus petit grain ( $D_{\min}$ ), du plus gros ( $D_{\max}$ ), etc. Le sable par exemple ne doit pas excéder 6 mm.



**Fig1.5** :Type de gravier.

#### I.4.2.2 Le Sable :

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur les bétons et du mortier. Il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs.

Il convient de se méfier de la présence de sables granitiques, de micas en paillettes, d'argiles, de sulfates...et dans le cas de sable concassé: des poussières, des plaquettes, des aiguilles.

En vue de son utilisation dans la confection du mortier, le sable doit être soumis à des essais de laboratoire, à savoir l'analyse granulométrique, l'essai de l'équivalent de sable, l'essai au bleu de méthylène et l'analyse chimique. [12]

#### I.4.2.3 L'eau :

Le rôle de l'eau est d'abord d'hydrater le ciment pour donner un matériau cohésif. Elle sert aussi de lubrifiant lors de gâchage des constituants. Ainsi ajuste-t-on sa quantité afin d'obtenir une pâte homogène et facilement « ouvrable ». De par ce rôle de lubrifiant, l'eau se trouve généralement en excès vis-à-vis de la réaction d'hydratation : On utilise couramment des quantités d'eau de l'ordre de 0.5 en rapport massique (E/C), alors que l'hydratation complète ne nécessiterait qu'un E/C d'environ 0.35 [13]. Ce rapport prend en compte : les proportions stoechiométriques des réactions d'hydratations, qui indiquent que la proportion massique d'eau liées aux hydrates correspond environ à 20% de la masse initial de ciment, et la quantité d'eau

nécessaire pour remplir l'espace inter feuillet des hydrates, soit environ 15% d'eau libre, sans laquelle la réaction d'hydratation est incomplète.

Au cours du durcissement et à des degrés divers suivant les conditions environnementales, l'espace occupé par cette eau non consommée fait place à de la porosité qui pénalise la résistance mécanique. Pour améliorer cette dernière, il est donc nécessaire de réduire la quantité d'eau introduite initialement dans la gâchée. C'est en suivant cette idée qu'ont été développés les bétons à « hautes performances ». Mais il reste à assurer une ouvrabilité suffisante, Pour cela, on fait recours à des adjuvants.

### **I.4.3 Composition du béton :**

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

### **I.4.4 Le durcissement du béton :**

#### **I.4.4.1 La réaction d'hydratation :**

Dès le contact de l'eau avec le ciment et l'adjuvant, plusieurs réactions chimiques ont lieu et ont pour conséquence la solidification progressive de la pâte de ciment [14], c'est l'ensemble de ces réactions que l'on définit comme l'hydratation. Les produits de ces réactions sont les C-S-H (hydrates de silicate de calcium) principalement à l'origine de la rigidification de la pâte de ciment, et la chaux appelée portlandite. Les réactions d'hydratation des constituants du ciment sont exothermiques, avec des vitesses d'hydratation différentes pour chaque constituant au cours du temps, les produits d'hydratation se forment en diminuant la porosité initiale. Cependant, la présence de gypse dans le ciment a pour conséquence de remplacer cette réaction par une autre plus lente. Les constituants mineurs du ciment ne contribuent que très peu à la solidification de la pâte mais possèdent d'autres propriétés utiles à une bonne hydratation du ciment.

### **I.4.5 Propriétés des bétons :**

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

**I.4.5.1 Le béton frais :** Mélange de matériaux solides en suspension dans l'eau, se trouve en état foisonné à la sortie des appareils de malaxage et en état compacté après sa mise en œuvre dans son coffrage.

**I.4.5.2 Le béton durci :** Solide dont les propriétés de résistance mécanique et de durabilité s'acquièrent au cours du déroulement de réactions physico-chimiques entre ses constituants d'une durée de quelques jours à quelques semaines.

#### **I.4.5.3 Propriétés du béton frais :**

La propriété essentielle du béton frais est son ouvrabilité qui est la facilité offerte à la mise en œuvre du béton pour le remplissage parfait du coffrage et l'enrobage complet du ferrailage, L'ouvrabilité doit être telle que le béton soit maniable et qu'il conserve son homogénéité, elle est caractérisée par une grandeur représentative de la consistance du béton frais , Dans le cas de béton ordinaire [15] elle est principalement influencée par :

- La nature et le dosage du liant.
- La forme des granulats.
- La granularité et la granulométrie.
- Le dosage en eau.

#### **A- Affaissement au cône d'Abrams:**

Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais où ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône.

Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance [16].

#### **B- La masse volumique du béton frais:**

on mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage après un arasement approprié.

#### **I.4.5.4 Propriétés du béton durci :**

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois. La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité. Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci.

#### **A- Résistance à la compression (NF EN-12390-3) [17]:**

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression unie axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydraté.

#### **B- Résistances à la traction par flexion (NF EN-12390-5) [18]:**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7x7x28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs.

#### **I.4.6 Différents types de bétons :**

##### **I.4.6.1 Béton autoplaçant (BAP):**

Développé dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon, le béton autoplaçant est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages les plus complexes, il ne doit pas subir de ségrégation et doit présenter des qualités comparables à celles d'un béton vibré classique [19].

**I.4.6.2 Béton de haute performance (BHP) :**

Bétons aux résistances mécaniques élevées au jeune âge et à 28 jours (Supérieure à 50 MPa), et un rapport pondéral (E/C) inférieur à 0,40. Leur propriété essentielle est leur grande résistance en compression qui dépasse largement le cas des bétons ordinaires. Ceci est obtenu grâce à leur faible porosité qui est diminuée en réduisant la quantité d'eau de gâchage par l'emploi d'adjuvants plastifiants et super plastifiants [19].

**I.4.6.3 Béton de fibre Béton :**

dans lequel sont incorporées des fibres, ce qui permet suivant l'ouvrage de supprimer le treillis soudé traditionnel [19].

**I.4.6.4 Béton a durcissement :**

rapide Bétons dont le développement des résistances mécaniques est accéléré, ces bétons permettent la réalisation des travaux sur des éléments d'ouvrages demandant une remise en service rapide, ainsi que le décoffrage prématuré ou la mise en précontrainte le plus rapidement en préfabrication [19].

**I.4.6.5 Béton léger :**

Les bétons légers comme ayant une masse volumique après séchage 2100 kg/m<sup>3</sup>. Parmi ces bétons on peut citer les bétons de granulats légers. Ils sont utilisés dans le domaine du confort thermique [19].

**I.4.6.6 Béton lourd :**

C'est un béton dont la masse volumique est supérieure à 2600 kg/m<sup>3</sup>, les résistances mécaniques du béton lourd sont comparables à celles des bétons classiques et même plus élevées compte tenu des faibles dosages en eau [19].

**I.4.6.7 Béton ordinaire :**

Mélange homogène composé exclusivement des constituants de base ciment, granulat, eau, avec un rapport (E/C) qui varie en fonction de la plasticité ainsi que de la résistance désirée. Le béton ordinaire est caractérisé par sa résistance à la compression qui se situe entre  $20 \text{ Mpa} \leq f_{c28} \leq 50 \text{ Mpa}$  [19].

**I.4.7 Formulation du béton :**

L'étude de la composition d'un béton consiste à définir le mélange optimal des différents composants (granulat, eau, ciment) afin de réaliser un béton dont les qualités soient celles recherchées (résistance, consistance). Il existe deux méthodes pour déterminer une formulation du béton :

- Les méthodes semi-empiriques (Bolomey, Faury, Vallette)
- Les méthodes graphiques (Dreux-Gorisse)

**I.5 Les adjuvants :**

**I.5.1 Définition :**

Les adjuvants sont des produit chimiques qui , incorporés dans les béton lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inferieures à 5% du poids de ciment , provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci .

Pour des raisons de commodité d'utilisation , la plus part des adjuvants se trouvent dans le commerce sous formes de liquides , certains adjuvants existent en poudre, afin de réduire leur cout de transport ( cas des chantiers à l'export ) . Dans ce cas il faut généralement les diluer avant l'emploi : la dispersion homogène d'une petite quantité de poudre dans un malaxeur de centrale à béton est en effet moins certaine que celle d'un liquide .

Un adjuvant n'est pas un palliatif, il n'a ni pour mission ni pour effet de faire un bon béton à partir d'un mauvais dosage ou d'un mise en œuvre défectueuse . Ce n'est pas un produit capable de se substituer aux règles de la bonne technique .[20]

**I.5.2 Classification et utilisation :**

Un adjuvant a, en générale, principale d'après laquelle il se trouve et défini, mais il peut présenter également certaines actions secondaires que Léon appelle généralement << effet secondaires >> .

Les normes européennes retiennent la classification suivante :

- Plastifiants réducteurs d'eau.
- Superplastifiants hautement réducteurs d'eau.
- Rétenteur d'eau.
- Entraîneurs d'air.
- Accélérateur de prise.
- Accélérateur de durcissement.
- Retardateurs de prise.
- Hydrofuges.

Certains adjuvants peuvent avoir plusieurs de ces fonction. En France, de fonction principale et de fonction secondaire, exemple : plastifiant réducteur d'eau ( ou superplastifiant hautement réducteur d'eau ) et retardateur .

Il existe également d'autres adjuvants tels que notamment : Les raidisseurs pour béton projeté , les adjuvants pour mortier stabilisé , les colorants, les inhibiteurs de corrosion, les générateur de gaz, etc. certains d'entre eux sont décrits et leurs caractéristiques définies dans les normes spécifiques.[20]

**I.5.3 Quelques exemples d'utilisation : [20]**

| Adjuvants         | Utilisation                                                                                              |
|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Superplastifiants | Nécessité d'une bonne ouvrabilité<br>Préfabrication<br>Béton à hautes résistances<br>Béton très ferrailé |

|                              |                                                                                                                                                                                                  |
|------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Plastifiants                 | Béton coulé sous l'eau ( délavage diminué )<br>Béton maigre : blancs . blocs manufacturés ..<br>Béton routier<br>Sable manque de fines<br>Béton très ferrailé .                                  |
| Accélérateurs                | Décoffrage rapide<br>Temps froid – préfabrication<br>Travaux d'étanchement. Cachetage, travaux a la mer ( entre deux marées )<br>Réparations rapides , pistes d'aérodromes, routes scellements . |
| Retardateurs                 | Temps chaud<br>Injection à grande profondeur<br>Voile d'étanchéité<br>Transport de béton sur longue distance<br>Coulage en continu                                                               |
| Entraîneurs d'air antigélifs | Routes, barrages, ponts –travaux maritimes, Ouvrages exposés au gel .                                                                                                                            |

**Tableau I.2 :** synoptique d'utilisation des principaux adjuvants.

### I.6 Conclusion :

Dans ce chapitre, on a présenté des notions générales sur les ciments, le mortier, le béton et les adjuvant. Le but de ces notions est d'enrichir ce mémoire par ces identification afin de montrer que ces matériaux sont, malgré que ce sont des matériaux classique, mais ils sont toujours sous l'étude expérimentale pour les améliorer et éliminer tous les inconvénients afin d'arriver à matériau résistant, durable et économique.

# Chapitre II

## Chapitre II: Matériaux et essais

### II.1 Introduction:

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

Les matériaux utilisés sont :

- ♦ Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR) ;
- ♦ Le sable concassé de carrière (COSIDAR) ;
- ♦ Le sable normalisé ;
- ♦ Le gravier de carrière située à 25Km de M'sila, en allant vers B.B.A (COSIDER) ;
- ♦ Le ciment CRS, CHF de la cimenterie Lafarge Holsim de Hammam Dalaa ;
- ♦ L'eau potable du laboratoire ;
- ♦ Adjuvants ( superplastifiant tompo 12).

### II.2 Le sable(sable de OUED MAITAR, sable concassé, sable normalisé):

#### II.2.1 Caractéristiques physiques des sables utilisés:

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

##### II.2.1.1 Sable de oued MAITAR :

###### A- Masse volumique (absolue) : NF P 18-555

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

###### ❖ Mode opératoire :

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

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

Sachant que le volume ( $V_e$ ) d'eau versé est 300 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :  $V_1 = V - 300$  (ml). La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:

$$\rho = \frac{M}{V_1} \quad (\text{II-1})$$

Avec :  $M = 300$  g.

## ❖ Résultats obtenus :

| N° d'essai | M (g) | $V_e (cm^3)$ | $V_1 (cm^3)$ | $\rho (g/cm^3)$ | $\rho_{moy} (g/cm^3)$ |
|------------|-------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| 1          | 300   | 300          | 119.5        | 2.510           | 2.51                  |
| 2          | 300   | 300          | 120          | 2.50            |                       |
| 3          | 300   | 300          | 119          | 2.52            |                       |

Tableau II.1 : Masse volumique absolue du sable de Boussaâda.

**B- Masse volumique apparente à l'état lâche : NF P 18-554**

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

## ❖ Mode opératoire :

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

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r} \quad (II.2)$$

| N° d'essai | $M_1$ (g) | $M_2$ (g) | $\rho_{app} (g/cm^3)$ | $\rho_{app\ moye} (g/cm^3)$ |
|------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------------|
| 01         | 114.21    | 1523      | 1.56                  | 1.563                       |
| 02         | 114.21    | 1528      | 1.57                  |                             |
| 03         | 114.21    | 1523      | 1.56                  |                             |

Tableau II .2 : Masse volumique apparente du sable de Boussaâda à l'état lâche.

➤ **Porosité : (NF P 18-554)**

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

$$P (\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{masse volumique absolue}) \times 100$$

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100 \quad (II-3)$$

On distingue :

Pour le sable de BOUSAADA :

- État lâche :  $\rho_L = 37.73\%$

➤ **Compacité :**

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = (100 - P) \quad (II-4)$$

On distingue :

Pour le sable de BOUSAADA :

- État lâche :  $C_L = 62.27\%$ .

➤ **L'indice des vides :**

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

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P) \quad (II-5)$$

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de BOUSAADA :

- État lâche :  $e = 0.61$

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

| Porosité P% | Compacité C% | Indice des vides e |
|-------------|--------------|--------------------|
| 37.73       | 62.27        | 0.61               |

**Tableau II.3 :** la porosité, la compacité et l'indice de vide.

**C- Équivalent de sable : NF P 18-598**

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

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100 \quad (\text{II.6})$$

❖ **Mode opératoire :**

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
  - Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
  - A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
  - Laisser reposer pendant **10** minutes.
  - Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20cm** de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
  - Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la venteau-dessus de l'éprouvette, Rincer ensuite les parois de celle-ci.
  - Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2<sup>ème</sup> repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

**1- Équivalent de sable visuel (ESV):**

- Après **20** minutes de dépôt de sable, lire la hauteur  $h_1$  du niveau supérieure du floculant jusqu'au fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec la règle la hauteur  $h_2$  comprise entre le niveau supérieur de la partiesédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = \frac{h_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (\text{II-7})$$

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

**2- Équivalent de sable visuel (ESP):**

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

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

$$ESP = \frac{h'_2}{h_1} \times 100 [\%] \quad (\text{II.8})$$

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

| N°<br>d'essai | $h_1$ (cm) | $h_2$ (cm) | ESV (%) | $h'_2$ (cm) | ESP (%) |
|---------------|------------|------------|---------|-------------|---------|
| 01            | 11.2       | 9.7        | 86.6    | 8.5         | 75.89   |
| 02            | 12         | 10.2       | 85      | 8.7         | 72.5    |
| 03            | 11.3       | 9.9        | 87.6    | 9           | 79.64   |

**Tableau II.4 :** Équivalent du sable de Boussaâda.

(ESV)<sub>moy</sub> = 86.4 %

(ESP)<sub>moy</sub> = 76.01%

Donc:  $85\% \leq \text{ESV}$

$70\% \leq \text{ESP}$

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

**Tableau II.5:** Comparaison des résultats.

**Pour le sable de BOUSAADA :** Sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualités.

➤ **Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555**

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

$$A = \left( \frac{M_2 - M_1}{M_1} \right) \times 100 [\%] \quad (\text{II.9})$$

Où :

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

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

**Tableau II.6 :** Degré d'absorption d'eau du sable de Boussaâda.

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

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

#### Observation :

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

#### ➤ Les Caractéristiques chimiques du sable de BOUSAADA :

La composition chimique du sable de dune (OUED MAITRE) est établie en mars 2005, à la cimenterie de ACC (M'sila).

| CONSTITUANTS       |                                |               |
|--------------------|--------------------------------|---------------|
| Élément            | Symbole                        | Teneur en (%) |
| Silice             | SiO <sub>2</sub>               | 94.95         |
| Chaux              | CaO                            | 1.12          |
| Oxyde de fer       | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.90          |
| Alumine            | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 0.44          |
| Oxyde de magnésium | MgO                            | 0.53          |
| Sulfate            | SO <sub>3</sub>                | 0.22          |
| Perte au feu       | P.A.F                          | 1.24          |

**Tableau II-7 :** Analyse chimique du sable de BOUSAADA.**Commentaire :**

Le sable de **BOUSAADA** est un sable à haute teneur en silice.

**II.2.1.2Sable concassé :****A- Masse volumique absolue:****❖ Mode opératoire :**

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

**❖ Résultats obtenus :**

| $N^{\circ} d'essai$ | $M (g)$ | $V_e (cm^3)$ | $V_1 (cm^3)$ | $\rho (g/cm^3)$ | $\rho_{moy} (g/cm^3)$ |
|---------------------|---------|--------------|--------------|-----------------|-----------------------|
| 1                   | 300     | 300          | 125          | 2.4             | 2.446                 |
| 2                   | 300     | 300          | 123          | 2.439           |                       |
| 3                   | 300     | 300          | 120          | 2.5             |                       |

**Tableau II.8 :** Masse volumique absolue du sable de concassé.**B- Masse volumique apparente:****❖ Mode opératoire**

Le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique apparente du sable de OUED MAITAR .

| $N^{\circ} d'essai$ | $M_1 (g)$ | $M_2 (g)$ | $\rho_{app} (g/cm^3)$ | $\rho_{app\ moye} (g/cm^3)$ |
|---------------------|-----------|-----------|-----------------------|-----------------------------|
| 01                  | 114.21    | 1271      | 1.285                 | 1.282                       |
| 02                  | 114.21    | 1263.5    | 1.277                 |                             |
| 03                  | 114.21    | 1269.2    | 1.283                 |                             |

**Tableau II .9:** Masse volumique apparente du sable concassé à l'état lâche.**C- Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

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

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

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



**FigII.1 : Les Tamis.**

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

❖ **Mode opératoire :**

- Prélever (1,5 kg) de matériau (sable sec).
- Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement de haut en bas : 5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125 et éventuellement 0,08mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumuler du tamis 2 ( $R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$ ).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots$

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :

$$T = 100 - R_c$$

Où :

\*T: Tamisât en %

\* $R_c$  : Refus cumulés en %

| Tamis | TAMISATS EN (%) |           |         |
|-------|-----------------|-----------|---------|
|       | Sable 0/0.5     | Sable 0/3 | Mélange |
| 8     | 100             | 100       | 100     |
| 6,3   | 100             | 100       | 100     |
| 5     | 100             | 100       | 100     |
| 4     | 100             | 98.28     | 98.71   |
| 3.15  | 100             | 87.3      | 90.45   |
| 2.5   | 99.97           | 76.32     | 82.18   |
| 2     | 99.95           | 67.04     | 82.18   |
| 1.25  | 99.92           | 49.6      | 62.07   |
| 1     | 99.9            | 42.9      | 57.02   |
| 0.63  | 99.71           | 33.5      | 49.89   |
| 0.5   | 99.13           | 29.86     | 47.03   |
| 0.315 | 89.98           | 26.06     | 41.9    |
| 0.25  | 80.83           | 22.26     | 36.77   |
| 0.125 | 18.88           | 17.23     | 17,64   |
| 0.08  | 6.31            | 14.99     | 12.84   |
| 0.063 | 5.6             | 15.7      | 13.2    |

**Tableau II.10:** analyse granulométrique du sable d'oued (Oued Maitre) et sable concassé.

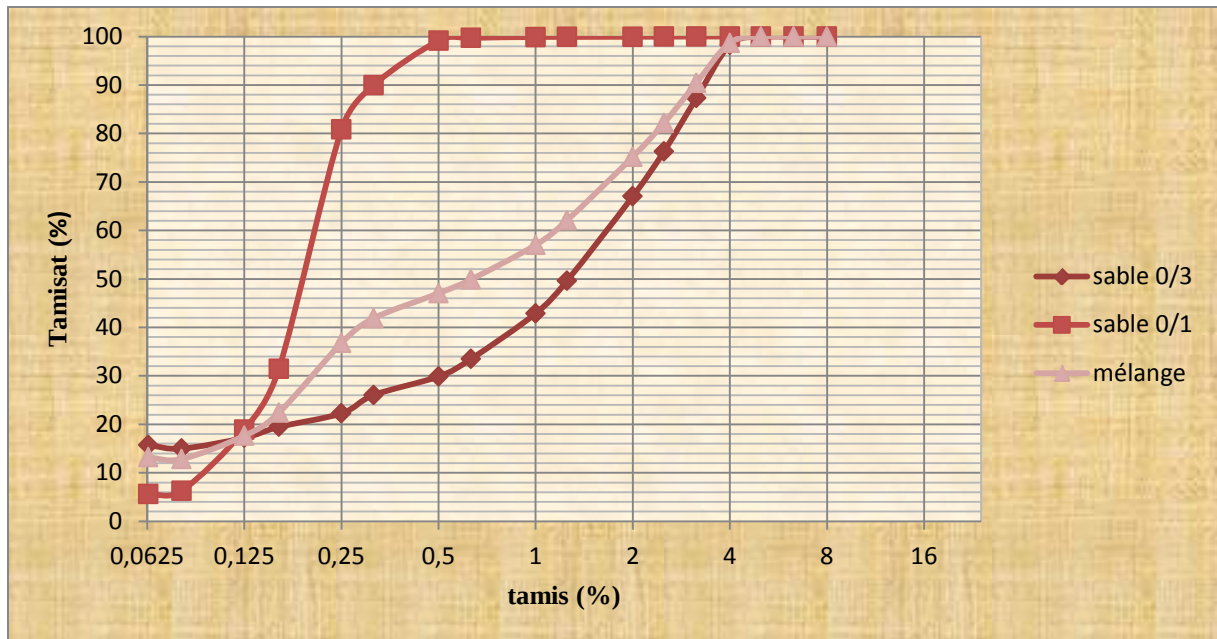


Fig II.2 : La courbe granulométrique du sable (0/3) et (0/0.5).

### Commentaire :

D'après la courbe granulométrique du sable 0/3 et 0/0.5, il est clair que le sable 0/3 est un gros sable, alors que le sable 0/0.5 est un sable très fin. Pour avoir un sable performant acceptable, il était nécessaire de reconstituer un sable avec 75 % de sable concassé 0/3 et 25 % de sable fin 0/0.5.

### ❖ Module de finesse :

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles :

**[0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5 (mm)] sur 100** et calculé par la relation suivante :

$$M_f = \frac{\sum R_c}{100} \quad (\text{II.10})$$

Où :  $R_c$  : Refus cumulé.

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

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

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

✚ Pour le sable S 0/0.5 :  $Mf = 0.8$   $\longrightarrow$  le sable 0/0.5 est un sable très fin.

✚ Pour le sable S0/3 :  $M_f = 3.06$   $\longrightarrow$  le sable 0/3 est un sable gros.

### II.2.1.3 Sable normalisé CEN certifié conforme EN 196-1 :

#### A- Caractéristiques :

Le sable normalisé CEN (sable normalisé ISO) est un sable naturel, siliceux notamment dans ses fractions les plus fines. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie. Il est séché, criblé et préparé dans un atelier moderne offrant toutes garanties de qualité et de régularité.

Le sable est conditionné en sachets de polyéthylène contenant chacun  $1\,350 \pm 5$  g.

Les livraisons se font à l'unité carton de 16 sachets pesant 21.6 kg et sur palette de 2 à 54 cartons, protégés par une housse en polyéthylène (transport routier) ou en carton renforcé (transport maritime).

Contrôle résistance mécanique :

#### B- Utilisation :

Le Sable normalisé pour contrôle de la résistance mécanique des ciments et autres liants hydrauliques: Les méthodes d'essais des ciments visant à mesurer leur résistance mécanique nécessitent l'utilisation de sables normalisés de référence.

#### C- Conformité :

La conformité à la norme est contrôlée par le L.E.M.V.P. (Laboratoire d'Essais des Matériaux de la Ville de Paris), 4 Avenue du Colonel Henri Rol-Tanguy - 75014 PARIS

Le certificat de conformité à la norme Européenne est délivré par l'AFNOR (Association Française de Normalisation), 11 Rue Francis de Pressensé – 93571 La Plaine Saint Denis Cédex.



Fig II.3: Sable Normalisé.

❖ **Caractéristiques physiques de sable normalisé :**

| Caractéristiques                               |          | Sable |
|------------------------------------------------|----------|-------|
| Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> ) |          | 1,70  |
| Masse volumique absolue (g/c m <sup>3</sup> )  |          | 2,63  |
| Équivalent de sable                            | E.S.V(%) | 94    |
|                                                | E.S (%)  | 93    |
| Teneur en eau(%)                               |          | -     |

**Tableau II.11 :** Caractéristiques physiques de sable normalisé.**II.3 Gravier :****II.3.1 Gravier concassé :****II.3.1.1 Origine de gravier:**

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

**II.3.1.2Classes granulaires:**

Les fractions du gravier sont :

- Fraction **3/8**.
- Fraction **8/16**.
- Fraction **16/25**.

➤ **Résistance à la compression de la roche d'origine:**

La roche d'origine, est un calcaire compact de résistance à la compression, égale à **610 g /Cm<sup>2</sup>**.

**II.3.1.3Caractéristiques physiques du gravier utilisé:****A- Masse volumique apparente:**❖ **Mode opératoire**

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

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V \quad (II-11)$$

| Fraction       | Essais | M <sub>1</sub> (kg) | M <sub>2</sub> (kg) | $\rho_{app}$ (kg/l) | $\rho_{app}$ moyen (kg/l) |
|----------------|--------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------------|
| 3/8<br>V=7 L   | 1      | 2.92                | 11.63               | 1.244               | 1.246                     |
|                | 2      |                     | 11.65               | 1.247               |                           |
|                | 3      |                     | 11.66               | 1.248               |                           |
| 8/16<br>V=10 L | 1      | 3.49                | 16.78               | 1.329               | 1.321                     |
|                | 2      |                     | 16.66               | 1.317               |                           |
|                | 3      |                     | 16.67               | 1.318               |                           |
|                | 1      |                     | 28.217              | 1.410               |                           |

|        |   |       |        |       |       |
|--------|---|-------|--------|-------|-------|
| V=20 L | 2 | 7.292 | 28.337 | 1.052 | 1.172 |
|        | 3 |       | 28.357 | 1.053 |       |

**Tableau II.12:** Masses volumiques apparentes des graviers concassés.**B- Masse volumique absolue :****❖ Mode opératoire :**

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

$$\rho_{abs} = M / (v_2 - v_1) \quad (II-12)$$

| Gravier | N° d'essai | M <sub>1</sub> (g) | Ve (cm <sup>3</sup> ) | V(cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{abs}$<br>(g/cm <sup>3</sup> ) | $\rho_{moy}$ (g/cm <sup>3</sup> ) |
|---------|------------|--------------------|-----------------------|---------------------|--------------------------------------|-----------------------------------|
| 3/8     | 01         | 300                | 300                   | 410                 | 2.72                                 | 2.69                              |
|         | 02         | 300                | 300                   | 412                 | 2.67                                 |                                   |
|         | 03         | 300                | 300                   | 411                 | 2.70                                 |                                   |
| 8/16    | 01         | 300                | 300                   | 416                 | 2.58                                 | 2.59                              |
|         | 02         | 300                | 300                   | 416                 | 2.58                                 |                                   |
|         | 03         | 300                | 300                   | 415                 | 2.60                                 |                                   |
| 16/25   | 01         | 300                | 300                   | 413                 | 2.65                                 | 2.62                              |
|         | 02         | 300                | 300                   | 415                 | 2.60                                 |                                   |
|         | 03         | 300                | 300                   | 415                 | 2.60                                 |                                   |

**Tableau II.13:** Masse volumique absolue du gravier concassé.**C- Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554**

Le mode opératoire est semblée celui effectuée pour le sable.

On calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = \left[ 1 - \frac{\rho_{app}}{\rho_{abs}} \right] \times 100 \quad (II-13)$$

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P \quad (II-14)$$

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

$$e = \frac{P}{(100 - P)} \quad (II-15)$$

| <b>fraction de gravier</b> | <b>Porosité (%)</b> | <b>Compacité (%)</b> | <b>l'indice de vide</b> |
|----------------------------|---------------------|----------------------|-------------------------|
| <b>3/8</b>                 | 51.64               | 48.36                | 0.936                   |
| <b>8/16</b>                | 44.32               | 55.68                | 0.795                   |
| <b>16/25</b>               | 52                  | 48                   | 1.08                    |

**Tableau II.14** : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides.**D- Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554**

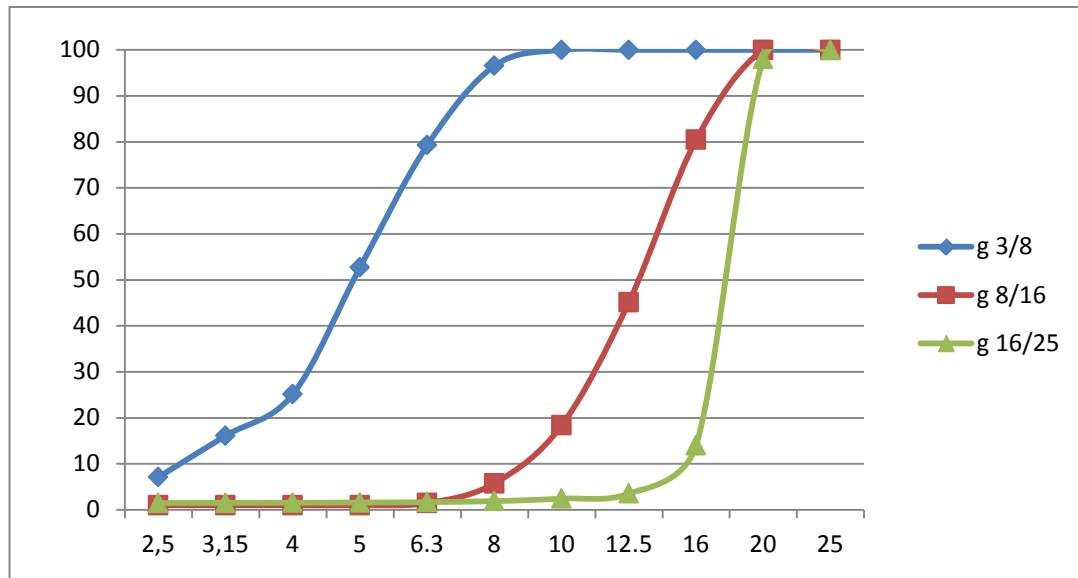
| <b>Graviers</b> | <b>N° d'essai</b> | <b><math>M_1(g)</math></b> | <b><math>M_2(g)</math></b> | <b>A (%)</b> | <b><math>A_{moy} (%)</math></b> |
|-----------------|-------------------|----------------------------|----------------------------|--------------|---------------------------------|
| <b>3/8</b>      | <b>01</b>         | 1000                       | 985                        | 1.52         | 1.42                            |
|                 | <b>02</b>         | 1000                       | 983                        | 1.73         |                                 |
|                 | <b>03</b>         | 1000                       | 990                        | 1.01         |                                 |
| <b>8/16</b>     | <b>01</b>         | 1500                       | 1475                       | 1.69         | 1.35                            |
|                 | <b>02</b>         | 1500                       | 1485                       | 1.01         |                                 |
|                 | <b>03</b>         | 1500                       | 1480                       | 1.35         |                                 |
| <b>16/25</b>    | <b>01</b>         | 1500                       | 1480                       | 1.35         | 1.21                            |
|                 | <b>02</b>         | 1500                       | 1484                       | 1.08         |                                 |
|                 | <b>03</b>         | 1500                       | 1482                       | 1.21         |                                 |

**Tableau II-15** : Degré d'absorption d'eau du gravier concassé.**E- Analyse granulométrique :**

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravier, sont regroupés dans le tableau ci dessous :

| <b>Tamis</b> | <b>Tamisât en (%)</b> |              |               |
|--------------|-----------------------|--------------|---------------|
|              | <b>G3/8</b>           | <b>G8/16</b> | <b>G16/25</b> |
| 25           | 100                   | 100          | 100           |
| 20           | 100                   | 100          | 98            |
| 16           | 100                   | 80.46        | 14.03         |
| 12.5         | 100                   | 45.14        | 3.55          |
| 10           | 100                   | 18.38        | 2.44          |
| 8            | 96.55                 | 5.77         | 1.9           |
| 6.3          | 79.3                  | 1.47         | 1.68          |
| 5            | 52.72                 | 1.01         | 1.59          |
| 4            | 25.13                 | 0.99         | 1.54          |
| 3.15         | 16.12                 | 0.99         | 1.53          |
| 2.5          | 7.12                  | 0.99         | 1.48          |
| 0.063        | 3.01                  | 0.99         | 1.28          |

**Tableau II.16** : Analyses granulométriques du gravier concassé (3/8),(8/16),(16/25).



**Fig II.4 :** La courbe granulométrique des graviers concassés (3/8-8/16-16/25).

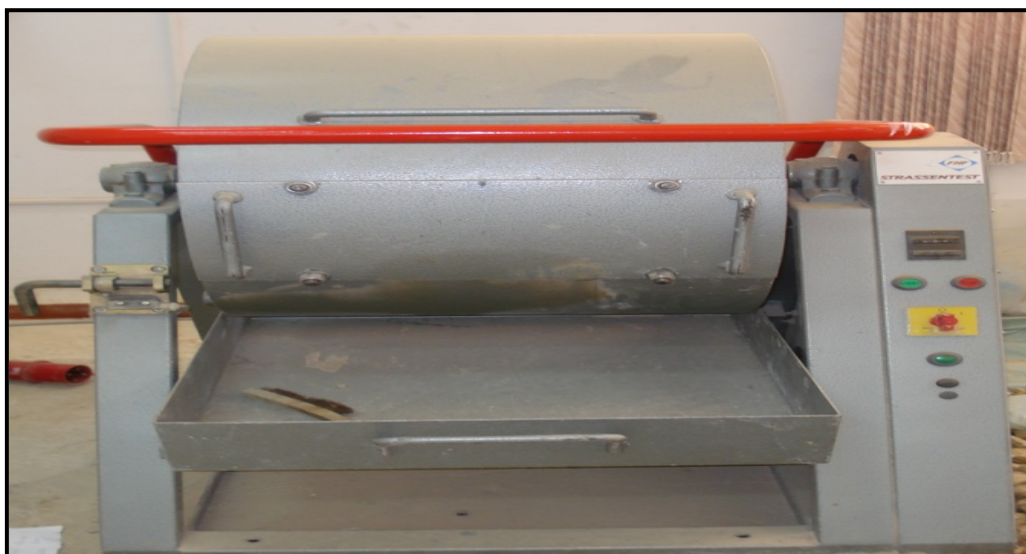
### II.3.2 Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés:

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

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

#### II.3.2.1 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.

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



**FigII.5:** Appareil de l'essai Los Angeles.

❖ **Principe de l'essai:**

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

❖ **Formulation:**

Si  $M$  est la masse du matériau soumis à l'essai et  $m$  la masse des éléments inférieurs à **1.6 mm** produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles ( $L_A$ ) :  $L_A = (m/M) \cdot 100$

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

| <i><b>Fraction de Gravier</b></i> | <i><b>Nombre de boules</b></i> | <b>M (Kg)</b> | <b>m (Kg)</b> | <b>Coef <math>L_A</math> %</b> |
|-----------------------------------|--------------------------------|---------------|---------------|--------------------------------|
| <b>Gravier 3/8</b>                | 7                              | 5             | 1.050         | 21%                            |
| <b>Gravier 8/16</b>               | 11                             | 5             | 0.942         | 19%                            |
| <b>Gravier 16/25</b>              | 12                             | 5             | 0.889         | 18%                            |

**Tableau II.17:** Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

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

| <b>Coefficient <math>L_A</math></b> | <b>Nature de la roche</b> |
|-------------------------------------|---------------------------|
| <b>&lt; 20</b>                      | Très dure                 |
| <b>20 à 25</b>                      | Dure                      |
| <b>25 à 30</b>                      | Assez dure                |
| <b>30 à 40</b>                      | Mis dure                  |
| <b>40 à 50</b>                      | Tendre                    |
| <b>&gt; 50</b>                      | Très tendre               |

**Tableau II.18 :** Classification des roches en fonction du coefficient ( $L_A$ ).

**Commentaire :**

- ✓ Le gravier (3/8) : c'est un gravier dure ( $L_A=21\%$ ) / ( $L_A$  entre 20 à 25),
- ✓ Le gravier (8/16) : c'est un gravier très dure ( $L_A=19\%$ ) / ( $L_A < 20$ ),
- ✓ Le gravier (16/25): c'est un gravier très dure ( $L_A=18\%$ ) / ( $L_A < 20$ ).

**II.3.3 Caractéristiques chimiques des graviers utilisés :**

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars 2004, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (Tableau II.19)

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

Tableau II.19. : Analyse chimique de la pierre concassée.

**II.4 Le ciment :**

On a utilisé le ciment CRS, CHF de la cimenterie Lafargeholcim de Hammam dalaa

**II.4.1 Les constituants des ciments CRS et CHF :**

| Type de ciment | Clinker% | Gypse% | Laitier% |
|----------------|----------|--------|----------|
| CRS            | 95       | 5      | 0        |
| CHF            | 35       | 5      | 60       |

Tableau II.20: Les constituants des ciments CRS, CHF.

**II.4.2 Caractéristiques de ciment utilisé :****II.4.2.1 Caractéristiques chimique de ciment CRS et CHF :**

|                                  |                                | CRS   | CHF   |
|----------------------------------|--------------------------------|-------|-------|
| Analyses<br>chimiques<br>Par XRF | SiO <sub>2</sub>               | 21.92 | 28.56 |
|                                  | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.09  | 9.56  |
|                                  | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | 4.78  | 3.52  |
|                                  | CaO                            | 62.72 | 50.12 |
|                                  | MgO                            | 1.58  | 4.95  |
|                                  | SO <sub>3</sub>                | 2.30  | 2.56  |
|                                  | K <sub>2</sub> O               | 0.54  | 0.77  |
|                                  | Na <sub>2</sub> O              | 0.00  | 0.21  |
|                                  | Cl                             | 0.016 | 0.056 |
|                                  | Paf                            | 2.56  | 1.08  |
|                                  | Résidus<br>insolubles          | 0.60  | /     |

Tableau II.21: caractéristiques chimiques de ciment CRS, CHF.

## II.4.2.2 Caractéristiques minéralogiques de ciment CRS, CHF:

|                         |              | CRS   | CHF   |
|-------------------------|--------------|-------|-------|
| Analyses minéralogiques | Alite_Sum    | 50.82 | 24.71 |
|                         | Belite_beta  | 0.81  | 4.98  |
|                         | Alum_cubic   | 0.85  | 1.41  |
|                         | Ferrite      | 0.08  | 5.41  |
|                         | Lime         | 3.93  | 0.22  |
|                         | Portlandite  | 0.15  | 0.16  |
|                         | fCaO_XRD     | 0.13  | 0.37  |
|                         | Periclase    | 0.08  | 0.98  |
|                         | Quartz       | 0.5   | 0     |
|                         | Arcanite     | 0.03  | 0.17  |
|                         | Langbeinite  | 0.22  | 0.11  |
|                         | Aphthitalite | 1.02  | 0.02  |
|                         | Hémi-hydrate | 0.04  | 0.04  |
|                         | Anhydrite    | 0.45  | 0.03  |
|                         | Calcite      | 0.38  | 0.54  |
|                         | Dolomite     | 0.93  | 0.22  |

Tableau II.22: Caractéristiques minéralogiques de ciment CRS, CHF.

## II.4.2.3 Essais sur ciment hydraté (pâtes de ciment) :

## A- Essai De Consistance (Norme EN 196-3) :

L'essai consiste à déterminer la quantité d'eau de gâchage optimale qui définit une consistance dite normalisée elle est fonction du rapport E/C.

L'essai a été réalisé avec l'appareil de Vicat selon la norme EN 196-3 .

## ❖ Objectif de l'essai :

a consistance de la pâte de ciment est une caractéristique qui évolue au cours du temps.

## ❖ Principe de l'essai :

La consistance est évaluée en mesurant l'enfoncement d'une aiguille cylindrique de  $\varnothing = 10$  mm sous l'effet d'une charge constante (300g).

L'enfoncement est d'autant plus rapide et important que la consistance est plus fluide.

## ❖ Conduite de l'essai :

- Verser la quantité d'eau dans la cuve du malaxeur .La température dans la salle doit être de  $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$  et une humidité relative supérieure ou égale à 50%.
- Verser 500 g de ciment au centre de la cuve en un temps compris entre 5 et 10 secondes.

La fin du versement correspond au temps 0

- Mettre immédiatement le malaxeur en marche à vitesse lente pendant 90 s

- Arrêt du malaxage pendant 15 s, faire le raclage de la pâte
- Remettre le malaxeur en marche pendant 90s à vitesse lente
- Introduire la pâte immédiatement dans le moule tronconique de hauteur 40mm et de

diamètre 70 et 80 mm posé sur une plaque en verre huilée sans tassement ni vibration excessives

- Enlever l'excès de la pâte par un mouvement de va et vient avec une truelle maintenue perpendiculairement à la surface du moule.

- Placer l'ensemble sur la platine de l'appareil de Vicat.
- La sonde de diamètre  $\varnothing = 10$  mm est amenée à la surface de la pâte et lâchée sans

vitesse initiale. La sonde s'enfonce dans la pâte. Quand elle s'immobilise; ou au plus tard 30s après l'avoir relâchée,

- Mesurer la distance  $d$  entre l'extrémité de la sonde et le fond du moule, cette distance  $d$  caractérise la consistance.

Si  $d = 6\text{mm} \pm 2$ ; c'est la consistance normalisée Si  $d$  est différente de cette valeur, on refait l'essai avec un nouveau rapport E/C jusqu'à l'obtention de la valeur recherchée.

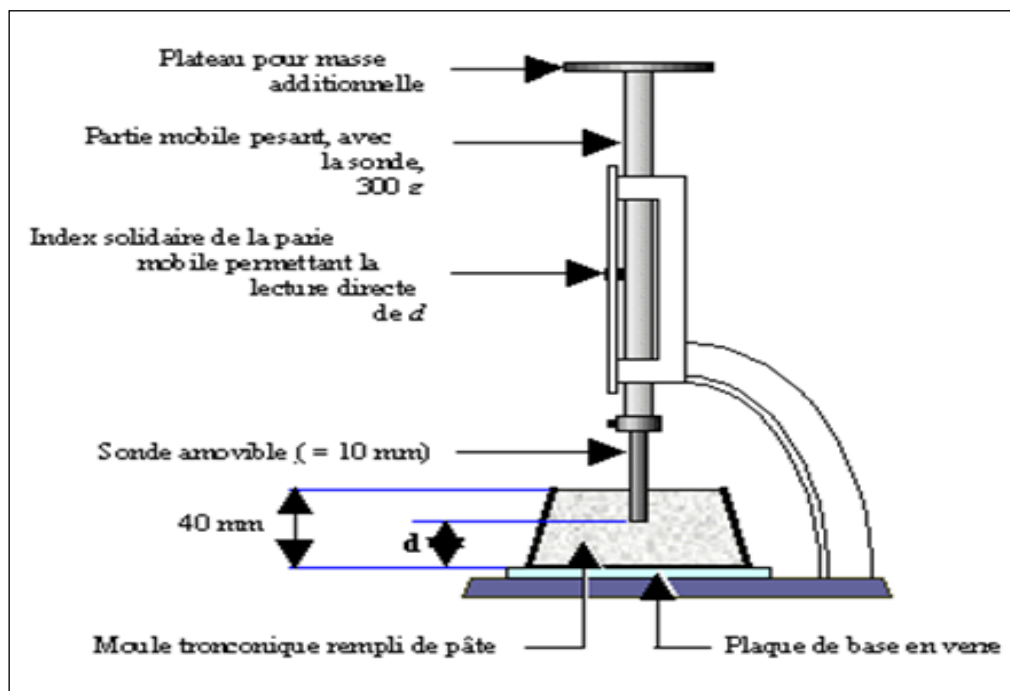


Fig II.6 :Appareil de Vicat ( Consistance % E/C).

## B- Essais de prise

### ❖ Objectif de l'essai :

Il consiste à déterminer le début et la fin de prise des pâtes pures des ciments étudiées conformément à la norme (EN 196-3).

❖ **Principe de l'essai :**

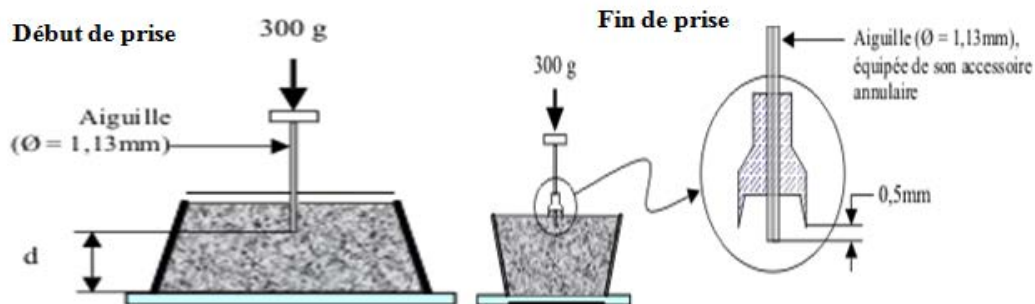
L'essai consiste à suivre l'évolution de la viscosité de la pâte en utilisant l'appareil de Vicat manuel ou automatique.



**Prisomètre (Vicat automatique)**



**Vicat Manuel**



**Fig II.7 :**Appareil de vicat ( mesure de temps de prise DP& FP ).

Le vicat manuel équipée d'une aiguille de 1.13mm de diamètre ; sous l'effet d'une charge de 300g l'aiguille s'enfonce à une distance  $d$  du fond du moule.

✓ Si  $d = 6\text{mm} \pm 3$  : On dit que c'est le début de prise, le temps est mesuré à partir du temps 0 du début de malaxage.

✓ Si l'enfoncement de l'aiguille dans la pâte vaut  $d = 0.5\text{mm}$  : On dit que c'est la fin de prise, alors la pâte devient un bloc rigide.

❖ **Equipement utilisé :**

Une armoire climatique maintenue à  $20^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$  et une humidité relative supérieure à 90% et l'appareil de Vicat équipé d'une aiguille de 1.13mm.

❖ **Conduite de l'essai ( Norme EN 196-3) :**

Il s'agit de confectionner une pâte de ciment normalisée comme suivant :  
Le temps zéro est celui ou le ciment a fini d'être ajouté à l'eau dans la cuve du malaxeur  
L'aiguille est amenée à la surface de l'échantillon et relâchée sans vitesse initiale.

Lorsqu'elle s'immobilise (ou après 30s d'attente).

On relève la distance  $d$  séparant l'extrémité de l'aiguille à la plaque de base.

On recommence l'opération à intervalle de temps convenablement espacés jusqu'à ce que ( $d=6\text{mm}\pm 3\text{ mm}$ ) cet instant mesuré à 5 mn près correspond au temps de début de prise.

On continue l'opération on faisant tourner le moule sur l'autre face le temps de fin de prise correspond à l'enfoncement de l'aiguille dans la pâte que de 0.5mm pour la première fois.

### C- Essai de stabilité :

#### ❖ Objectif de l'essai :

L'essai consiste à mesurer l'augmentation de volume provoquée lors de la réaction d'hydratation par la présence de l'oxyde de calcium ou de magnésium contenu dans les ciments étudiés

#### ❖ Principe de l'essai :

L'essai consiste à faire accélérer la réaction d'hydratation par un traitement thermique de la pâte pour pouvoir observer une expansion éventuelle des cinq types de ciment testé.

#### ❖ Conduite de l'essai :

La pâte de consistance normalisée est introduite dans les deux moules en laiton. Conservation des moules pendant 24h dans l'armoire humide .

Au bout de ce temps on mesure à 0.5mm près l'écartement **A** des pointes des aiguilles Le moule est entreposé dans la bouilloire pendant  $3\text{h} \pm 5\text{mn}$  à une température d'ébullition. Soit **B** l'écartement au bout de ce temps des pointes des aiguilles et soit **C** l'écartement après refroidissement à  $20^\circ\text{C}$  La stabilité est caractérisée par la valeur  $C-A$ .

Stabilité =  $C-A$

Expansion =  $B-A$

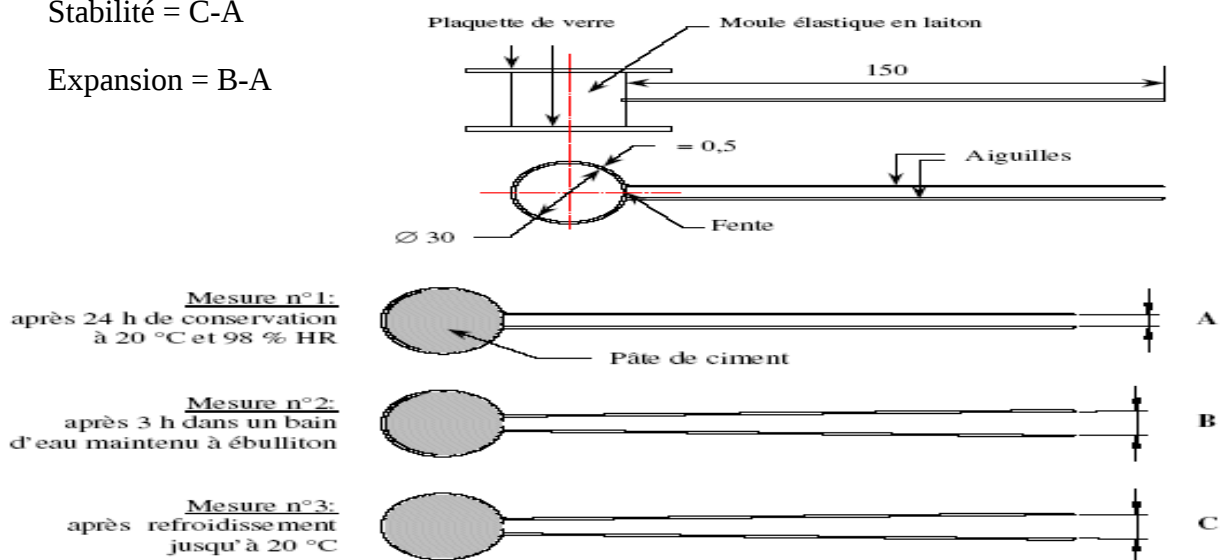
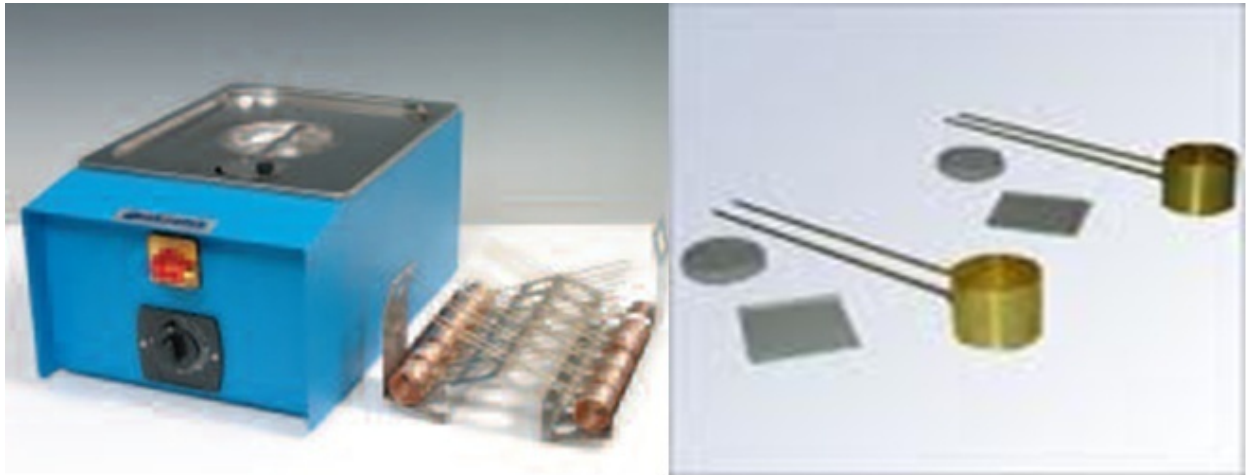


Fig II.8 : les Aiguillé de chatelier.



**Fig II.9 :**les Aiguillé et bain marie de Chatelier.

### II.5 Conclusion:

Dans ce chapitre, les différents caractéristiques des matériaux utilisés ont été présentés. Les courbes granulométriques de toutes les classes granulaires ont été établies. Tous les essais ont été élaborés selon les normes européennes de ciment, de sable et de graviers.

Les essais préliminaires sur les matériaux utilisés montrent bien qu'ils sont conformes aux normes.

# Chapitre III

## Chapitre III : Partie expérimentale

### III-1 Introduction :

Dans ce chapitre, les modes d'opérateurs des différents essais sur le mortier et le béton ont été présentés. Tous les essais ont été réalisés d'après les normes algériennes ainsi que les normes française ( NF P15-433 , NF P18-406 , NA 427, NF P18-412 , NA 2832) et les normes européennes (comme EN 196-1... etc).

Le but de ce travail est d'élaborer des éprouvettes de mortier (4x4x16 cm<sup>3</sup>), et de béton (10x10x10 cm<sup>3</sup>) afin d'évaluer l'effet de la finesse du ciment élaborer (CRS) sur le comportement du mortier et le béton et voir la finesse optimale pour confirmer que le ciment élaboré est un ciment de haut performance. En plus de ça, d'évaluer le comportement de béton élaborer avec le ciment préparé avec la finesse optimal, et voir l'effet de la superplastifiant sur la résistance de béton.

### I.2 Essais sur Mortier :

#### I.2.1 Mortier normalisée :

##### I.2.1.1 La résistance mécanique :

##### A- La Composition :

- ✓ Ciment (CRS, CHF)
- ✓ Sable normalisée
- ✓ L'eau

| Type de ciment | Ciment 450 g |         |           | L'eau (ml) | Sable normalisée(g) |
|----------------|--------------|---------|-----------|------------|---------------------|
|                | Clinker %    | Gypse % | Laitier % |            |                     |
| CRS            | 95           | 5       | 0         | 225        | 1350                |
| CHF            | 35           | 5       | 60        | 225        | 1350                |

**Tableau III.1:** composition des mortiers.

##### B- Préparation des éprouvettes :

Pour réaliser les essais mécaniques, des éprouvettes prismatiques de dimensions 4x4x16 cm ont été confectionnés selon la norme EN 196-1, en utilisant un malaxeur semi-automatique. Une vitesse minimale est choisie qui est jugée suffisante pour obtenir un mélange homogène. Les moules choisis pour la confection des éprouvettes de mortier après être remplis, sont vibrés par une table vibrante (Figure Fig III.3). Les moules sont placés dans une chambre d'une température 20°C±2°C et une humidité de 90% (Fig III.4) pour 24 heures avant le démoulage.

Après le moulage, les éprouvettes prismatiques sont conservées dans des bains saturés en chaux afin d'éviter la migration d'hydroxyde de calcium dans l'eau de température de 20°C±2°C ( Fig III.5 )



**Fig III.1** : Malaxeur semi-automatique de (Laboratoire de Lafargeholcim M'sila)



**Fig III.2** : Eprouvettes prismatiques (4x4x16) cm<sup>3</sup>, Laboratoire de Lafargeholcim M'sila



**Fig III.3** : Table Vibrante (Laboratoire de Lafarge M'sila).



**Fig III.4** : La Chambre d'humidité (Laboratoire de lafargeholcim M'sila ).



**Fig III. 5:** Bains d'eau (laboratoire de Lafargeholcim M'sila ).

Avant d'effectuer les essais, les éprouvettes sont exposées à l'air libre pendant 20 minutes pour qu'elles acquièrent l'état normal d'humidité.

Les essais sont d'abord effectués en flexion sur une presse permettant d'appliquer des charges jusqu'à 10KN asservie en chargement de  $50\text{N/s} \pm 10\text{ N/s}$ .

Les essais de compression sont effectués par une presse de type Perrier d'une charge de 200KN asservie en chargement de  $2400\text{N/s} \pm 200\text{N/s}$ . (Voir Fig I-A-6)

Les deux morceaux obtenus après rupture des éprouvettes par flexion sont testés à la compression à l'âge de 2,7 et 28 jours.



**Fig III.6 :** Machine de Compression  
(Laboratoire de Lafargeholcim M'sila ).

**III.2.1.2 Mesure du Retrait et gonflement sur éprouvette de mortier normal :****A- Objectif de l'essai :**

L'essai consiste à suivre l'évolution des changements dimensionnels d'une éprouvette de mortier normal conservé à l'air pour le retrait et à l'eau pour le gonflement.

Donc le retrait est une réduction de longueur d'un échantillon provoqué par la dessiccation, le gonflement est une augmentation de longueur d'un échantillon provoqué par l'immersion dans l'eau. Trois prismes ( $4 \times 4 \times 16 \text{ cm}^3$ ) sont préparés pour chaque essai de retrait et de gonflement.

**B- Principe de l'essai :**

Après le démoulage de l'éprouvette de dimension ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$ , on procède immédiatement à la mesure de sa longueur à 3, 7 et 28 jours.

**C- Équipement nécessaire utilisé :**

Il est décrit dans la Norme NF P15-433.

Une salle maintenue à une température de  $20 \pm 2^\circ\text{C}$  Un malaxeur normalisé.

Des moules équipés de plots de retrait en laiton. (Fig III.7)



**Fig III.7 :** Moules ( $4 \times 4 \times 16$ )  $\text{cm}^3$  Équipés de plots de Retrait.

Les plots sont vissés au centre de chaque face carré du moule au moment de la mise en place du mortier, puis désolidarisés du moule avant le démoulage.

Un dilatomètre équipé d'un comparateur permettant de réaliser des mesures avec une précision inférieure ou égale à  $5 \mu\text{m}$ .

Une tige de 160mm de longueur en invar (insensible aux variations de température pendant la manipulation) pour permettre de régler le zéro du dilatomètre.



**Fig III.8 : Comparateur de Retrait**  
(Laboratoire de Lafargeholcim M'sila ).

#### **D- Conduite de L'essai : [NF P 15-433]**

Pour chacune des trois éprouvettes de longueur relative est calculée par différence entre la mesure initiale au démoulage et la mesure finale aux échéances spécifiées.

Cette variation de longueur relative, exprimée en micromètres par mètre, est définie par la formule suivante :

$$dL/L \cdot 1000$$

Ou :

dL est la variation de longueur exprimée en micromètres

L est la longueur de base prise égale à 160 mm.

Le retrait ou le gonflement, à l'âge déterminé, est égale à la moyenne arithmétique, arrondie à la dizaine la plus proche, des valeurs mesurées sur chacune des trois éprouvette.

### **III.3 Essais de béton :**

#### **III.3.1 Béton ordinaire :**

**III.3.1.1 Méthode utilisée :** La méthode de DREUX- GORISSE a été utilisée dans la formulation du béton élaboré à base de ciment CRS préparé à la cimenterie de LAFARGE-HOLCIMM.

#### **A- Formulation pour 1 m<sup>3</sup> :**

Les 2 formulations pour chaque béton sont représentées dans le tableau (III.2)

**Poids Pour 1 m<sup>3</sup>**

|                   | <b>Béton sons adjuvant</b> | <b>Béton avec adjuvant</b> |
|-------------------|----------------------------|----------------------------|
| <b>composants</b> | <b>Poids (kg)</b>          | <b>Poids (kg)</b>          |
| <b>G 16/25</b>    | <b>324</b>                 | <b>324</b>                 |
| <b>G 8/16</b>     | <b>464</b>                 | <b>464</b>                 |

|                        |                |                |
|------------------------|----------------|----------------|
| <b>G 3/8</b>           | <b>183</b>     | <b>183</b>     |
| <b>Sable concassée</b> | <b>582</b>     | <b>582</b>     |
| <b>Sable boussaada</b> | <b>171</b>     | <b>171</b>     |
| <b>Ciment (crs)</b>    | <b>400</b>     | <b>400</b>     |
| <b>Eau</b>             | <b>195</b>     | <b>195</b>     |
| <b>Adjuvant</b>        | <b>0</b>       | <b>5,56</b>    |
| <b>Totale</b>          | <b>2319,00</b> | <b>2324,56</b> |

Tableau (III.2) : composition de chaque béton.

**B- Formulation pour 9 éprouvettes cubiques (10\*10\*10) :**

- Formulation d'un béton sans adjuvant
- Formulation d'un béton avec adjuvant

$$(0,1 \times 0,1 \times 0,1 \times 9) \times 2.20 = 0.0198$$

Avec :

2.20 : coefficient de correction. Le tableau (III.3)

| Composant       | Pour 9 éprouvettes  |                     |
|-----------------|---------------------|---------------------|
|                 | Béton sans adjuvant | Béton avec adjuvant |
| G 16/25         | 2.369               | 2.369               |
| G 8/16          | 3.378               | 3.378               |
| G 3/8           | 1.332               | 1.332               |
| Sable concassé  | 4.300               | 4.300               |
| Sable boussaada | 1.323               | 1.323               |
| Ciment (crs)    | 2.571               | 2.571               |
| Eau             | 3,861               | 3,861               |
| Adjuvant        | 0                   | 0.110               |

Tableau (III.3) : formulation de 9 éprouvettes pour chaque béton.

❖ Remarque :

En a utilisé La quantité d'eau dans le béton son adjuvant après la correction



**Fig III.9 :**les moules 10\*10\*10 cm.

### **III.3.2 à l'état frais :**

#### **III.3.2.1 Affaissement au Cône d'abrams :**

**A- Principe de l'essai:** Cet essai consiste à mesurer la hauteur d'affaissement d'un volume tronconique de béton frais. Ce dernier est compacté dans un moule ayant la forme d'un tronc de cône. Lorsque le cône est soulevé verticalement, l'affaissement du béton permet de mesurer sa consistance.

Résultat obtenue :

- **Béton sans adjuvant :** AF = 7 cm
- **Béton avec adjuvant :** AF = 12 cm

### **III.3.3 à l'état durci :**

#### **III.3.3.1 Résistance à la compression :**

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisée et d'élancement 2 (10\*10\*10 cm; norme NFP18-406, NA427) .La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 1500 kn conforme à la norme NF P 18-412 (NA 2832).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacées pendant 24 heures. Après démoulage, Des éprouvettes 10x10x10 cm<sup>3</sup> sont conservées dans l'eau à une température de 20 à 23°C jusqu'à 28 jours. Des essais d'écrasement ont été réalisés aux âges de 7, 14 et 28 jours.

La résistance est calculée selon la formule classique de l'RDM :

$$f_c = \frac{F}{AC}$$

$f_c$  : résistance en compression, exprimée en mégapascal (Newton par millimètres carrés)

$F$  : charge maximale, exprimée en Newtons

$AC$  : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée, calculée à partir de la dimension nominale de l'éprouvette.

La résistance à la compression doit être exprimée à **MPa ( $N/mm^2$ )** près.



**Fig III.10** : la machine de compression.

#### **III.4 Conclusion :**

Dans ce chapitre, on a présenté les modes opératoires réalisés sur le mortier et le béton. La méthode de formulation a été développée et le calcul de la proportion des constituants a été fait. L'essai au cône d'Abrams nous a permis de déterminer la consistance des bétons étudiés. Les essais à la compression et à la flexion ont été élaborés afin d'évaluer les résistances de mortier et béton avec ce ciment élaboré.

# Chapitre IV

## Chapitre IV : Résultats et interprétation

### IV.1 Introduction :

Dans ce chapitre, on va essayer de discuter les résultats obtenus d'après les essais réalisés au niveau de la cimenterie de Lafarge à Hammam Dalàa et laboratoire du département de génie civil de l'université de MouhamedBoudief de M'sila.

### IV.2 Essais sur ciment :

#### IV.2.1 La surface spécifique de Blaine (SSB) :

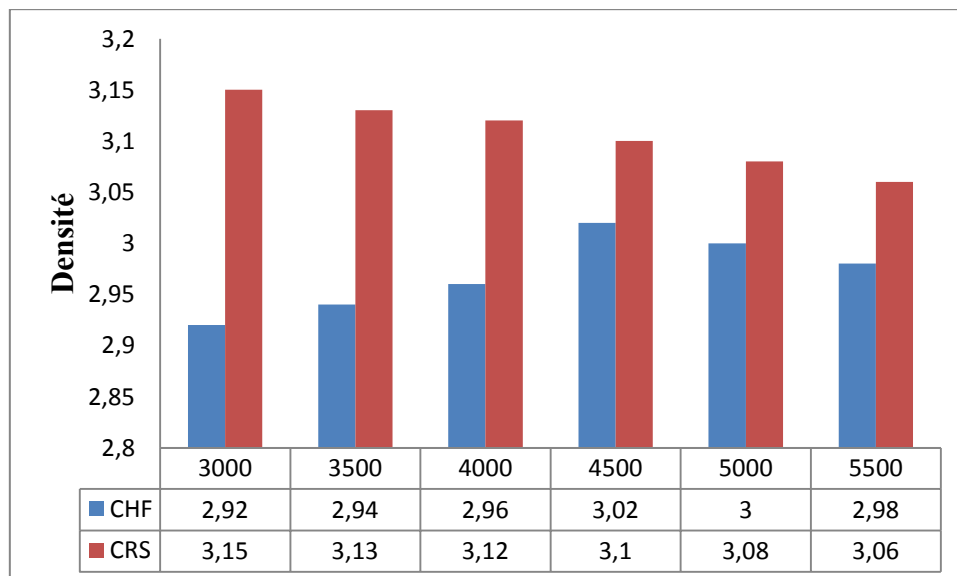
**Ciment = clinker 95% +gypse 5%.**

Les essais a pour but d'avoir l'effet de Blaine sur les caractéristiques de ciment élaboré. On a commencé par un ciment avec 95% de clinker + 5% de gypse. Avant de mélanger les deux composants, on a testé la finesse de clinker puis on a ajouté le gypse (5%). Après le mélange, la finesse du ciment élaboré a été calculée. Le coefficient de Blaine a été varié de 3000 à 5500 g.(pour avoir une finesse optimale).

### IV.3 L'effet de la finesse (SSB) sur ciment (CRS,CHF) :

#### IV.3.1 L'effet de la finesse (SSB) sur la densité de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats de la figure (IV-1) présentent l'effet de la finesse (SSB) sur la densité du ciment élaboré (CRS, CHF).



**Fig IV.1 :** L'influence de la finesse (SSB) sur la densité de ciment (CRS, CHF).

**Commentaire :**

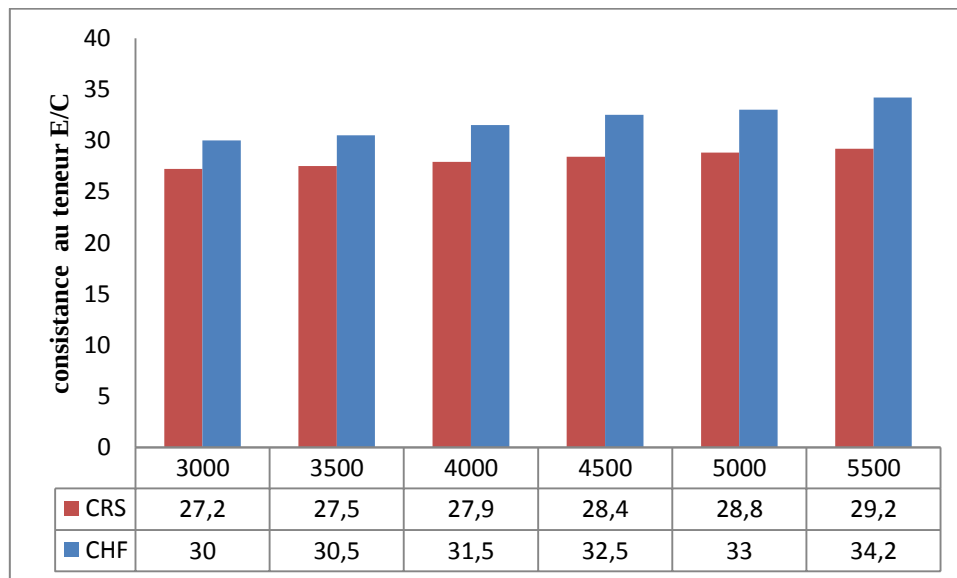
Des essais sur l'effet de finesse sur la densité de ciment élaborés, ont été réalisés au niveau de laboratoire de Lafarge-holcim. Les résultats obtenus qui montrent la variation de la densité en fonction de la variation de la finesse, ont été présentés dans la (Fig IV-1).

D'après ces résultats, on a constaté que le ciment élaboré CRS est plus dense par rapport au ciment de référence CHF, mais cette densité diminue avec la l'augmentation de la finesse, elle est de 3.15 pour une finesse de 3000 cm<sup>2</sup>/g et se diminue à 3,06 avec une finesse de 5500 cm<sup>2</sup>/g.

Cette différence entre les deux type de ciment est expliquée par le fait que le laitier est difficile à broyer et implicitement rend le ciment CHF moins dense.

**IV.3.2L'effet de la finesse (SSB) sur la consistance de ciment (CRS, CHF) :**

Les résultats expérimentaux obtenus (figure IV-2) présentent l'effet de la finesse (SSB) sur la consistance normale du ciment élaboré (CRS, CHF).



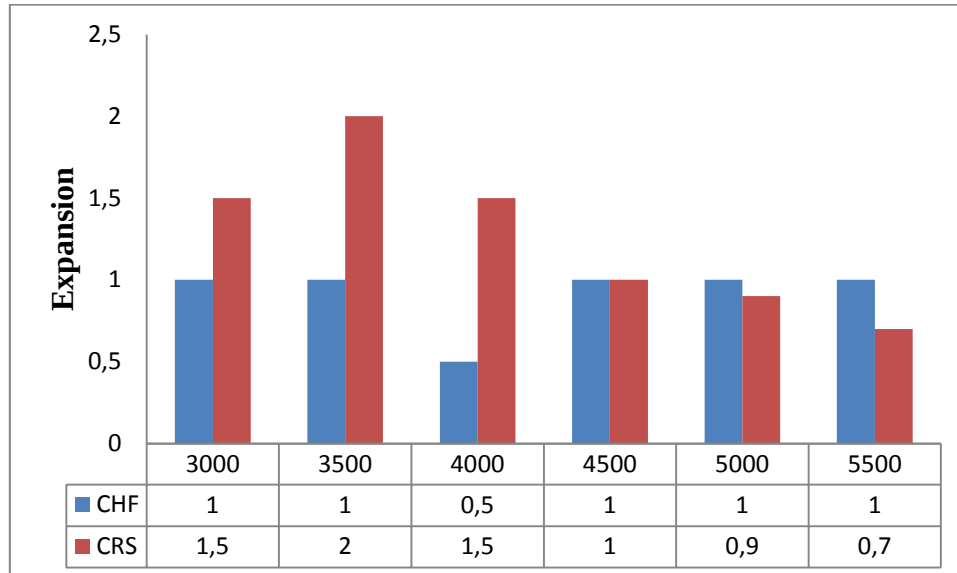
**Fig IV-2 :** L'influence de la finesse (SSB) sur la consistance de ciment (CRS,CHF).

**Commentaire :**

Les résultats montrent que la consistance de ciment augmente avec l'augmentation de la finesse. Elle est de 27,2% avec une finesse de 5500cm<sup>2</sup>/g. Pour expliquer ceci, on peut que dans un ciment plus fin, il y a plus de C<sub>3</sub>A disponible pour l'hydratation initiale. La teneur en eau d'une pâte de ciment de consistance normale est d'autant plus grande que le ciment est plus fin.

### IV.3.3 L'effet de la finesse (SSB) sur l'expansion de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats du (Fig IV-3) représentent l'influence de la finesse (SSB) sur l'expansion de ciment (CRS, CHF).



**Fig IV.3 :** L'influence de la finesse (SSB) sur l'expansion de ciment (CRS, CHF).

#### Commentaire :

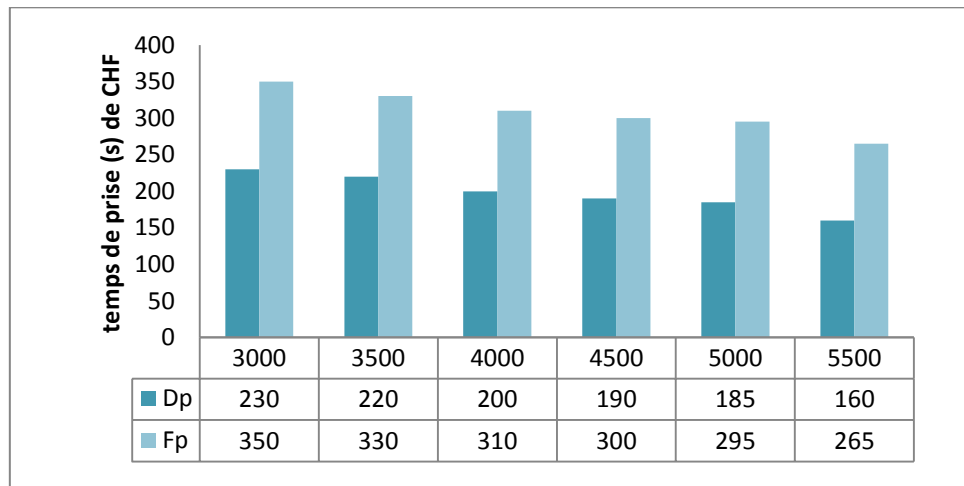
La stabilité du ciment est exprimée par son aptitude à développer une expansion en volume lors de sa mise en œuvre, l'expansion provient essentiellement et il est reliée à la présence de chaux libre (FcaO) dans le ciment ou de périclase (MgO) cristallisée.

Les résultats du (Fig IV.3) représentent l'influence de la finesse sur l'expansion de ciment élaboré (CRS) et le ciment de référence (CHF).

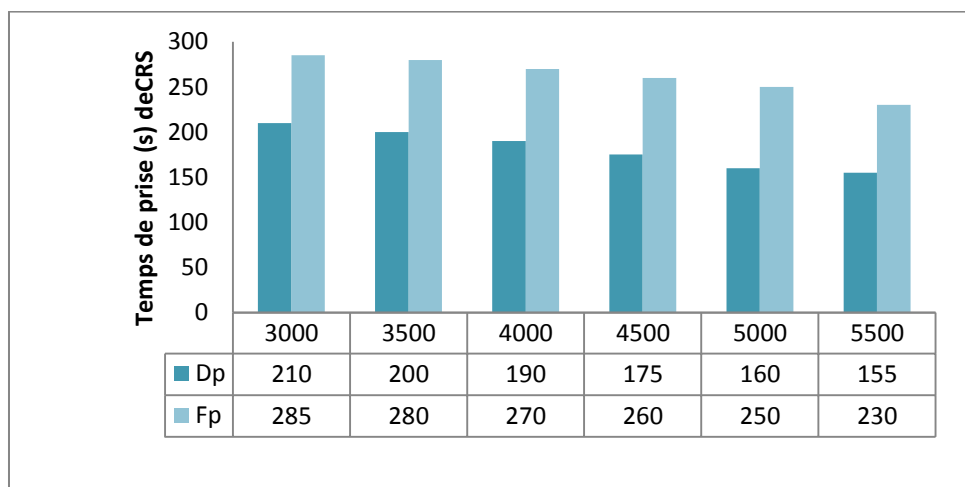
D'après ces histogrammes, on constate que la finesse influe d'une façon remarquable sur le phénomène d'expansion tout en sachant que le ciment avec une expansion non tolérante indique que ce ciment est de mauvaise qualité. Ceci veut dire une finesse de 4500  $\text{cm}^2/\text{g}$ . représente une valeur significative pour avoir un ciment (CRS) équivalent à (CHF) au point de vue ce phénomène.

#### IV.3.4 L'effet de la finesse (SSB) sur le temps de prise de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats obtenus dans les figures (IV-4), (IV-5) représentent l'influence de la surface spécifique de Blaine sur le temps (débet, fin) de prise de ciment (CRS, CHF).



**Fig (IV.4) :** L'influence de la finesse (SSB) sur temps de prise de ciment CRS.



**Fig (IV.5) :** L'influence de la finesse (SSB) sur temps de prise de ciment CHF.

#### Commentaire :

Les essais réalisés avec l'appareil Vicat décrivent bien le passage d'un état fluide à un état rigide. Les résultats obtenus sont représentés la (Fig IV.4) pour le ciment résistant au sulfate et la (Fig IV.5) pour le ciment de haut fourneau

D'après ces résultats, on constate que les deux ciments se comportent de la même manière. Une légère diminution est observée le deux types de ciments.

#### IV.4 Essais sur mortier :

Pour étudier l'effet de la finesse (SSB) sur les propriétés mécaniques des mortiers à base de ciment élaboré, 36 éprouvettes prismatiques (4\*4\*16) ont été confectionnées et testés après 2j, 7j et 28j de conservations dans l'eau.

##### IV.4.1 L'effet de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de mortier avec unciment (CRS, CHF) :

###### IV.4.1.1 La résistance à la flexion de mortier avec un ciment CRS :

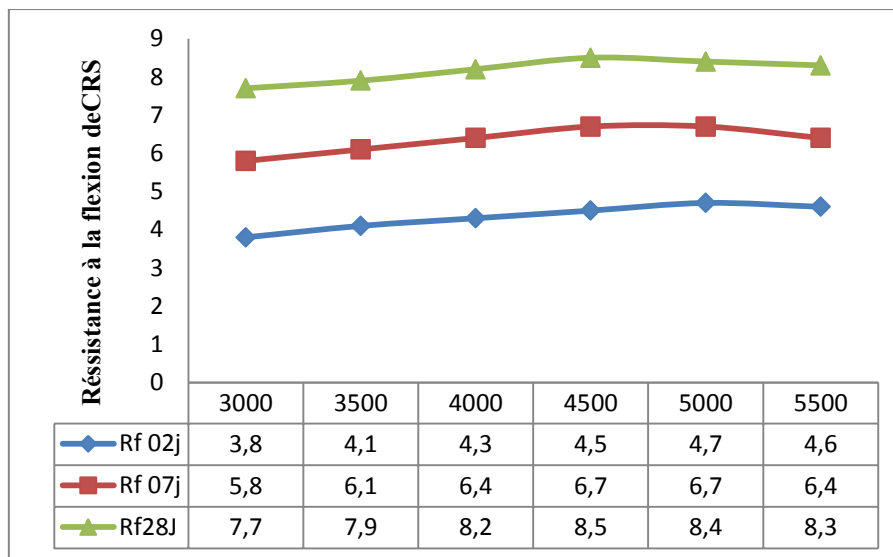


Fig IV-6 : L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de mortier avec CRS.

###### IV.4.1.2 La résistance à la flexion de mortier avec CHF :

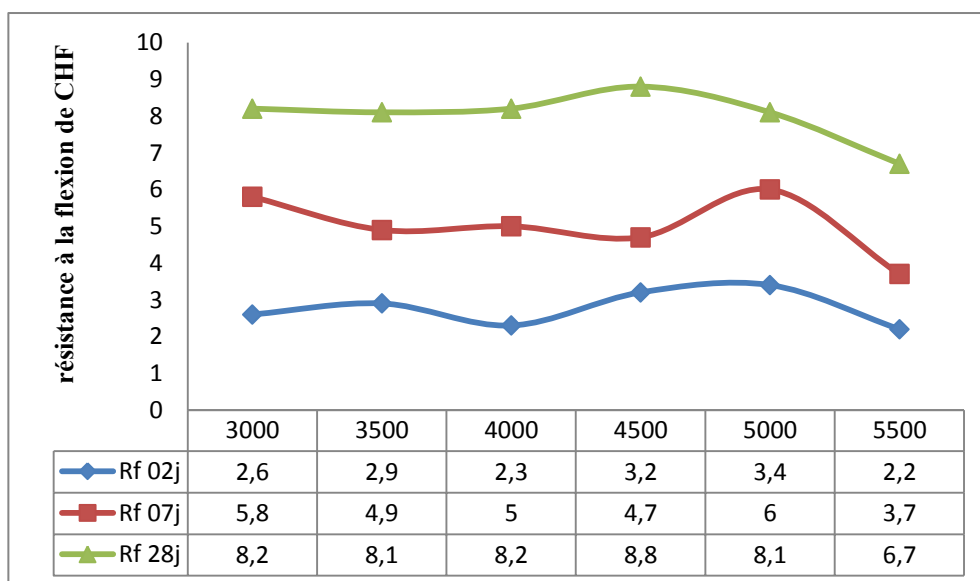
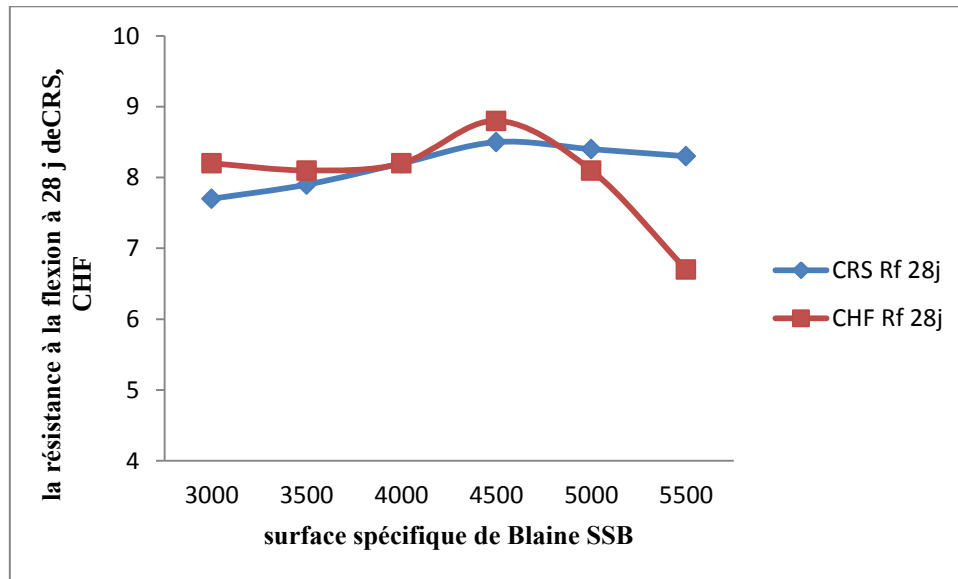


Fig IV-7 : L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la flexion de mortier avec CHF.

#### IV.4.1.3 Comparaison entre la résistance à la flexion de mortier avec CRS et CHF à 28 jours :



**Fig IV.8 :** L'influence de finesse SSB sur la résistance à la flexion à 28 j de mortier avec CRS, CHF.

#### Commentaire :

36 éprouvettes prismatiques de mortiers à base de ciment (CRS) et (CHF) ont été testées en flexion, en utilisant la méthode de trois points.

Les résultats obtenus sont représentés dans la (Fig IV.6) pour les mortiers avec (CRS) et (Fig IV.7) pour les mortiers avec (CHF), En fonction de la finesse.

D'après ces résultats, on constate que les deux types de mortier se comportent de la même façon dans l'intervalle 3000 à 4500cm<sup>2</sup>/g. La meilleure résistance à la flexion pour mortiers ont été constatés avec la finesse de 4500 cm<sup>2</sup>/g. mais au-delà de finesse une légère diminution à la résistance de flexion de mortier à base de (CRS), ont été observée, tandis que cette résistance de mortiers à base de (CHF) diminue d'une façon significative.

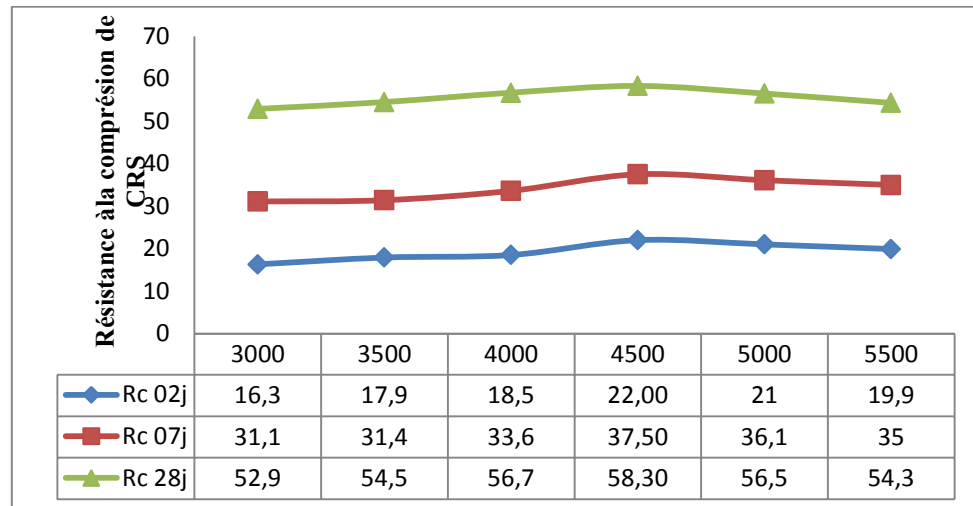
La (Fig IV.8) explique bien qu'avec 4500cm<sup>2</sup>/g. les deux types de ciment ont presque la même résistance à 28 jours (8,8 et 8.5 MPa pour CRS et CHF respectivement). Cette résistance reste presque constante dans les valeurs de finesse supérieures à 4500cm<sup>2</sup>/g.

Alors que le CHF subit à une chute à la résistance après 5000cm<sup>2</sup>/g.

#### IV.4.2.L'effet de finesse (SSB) sur la résistance à la compression de mortier avec un ciment (CRS, CHF) :

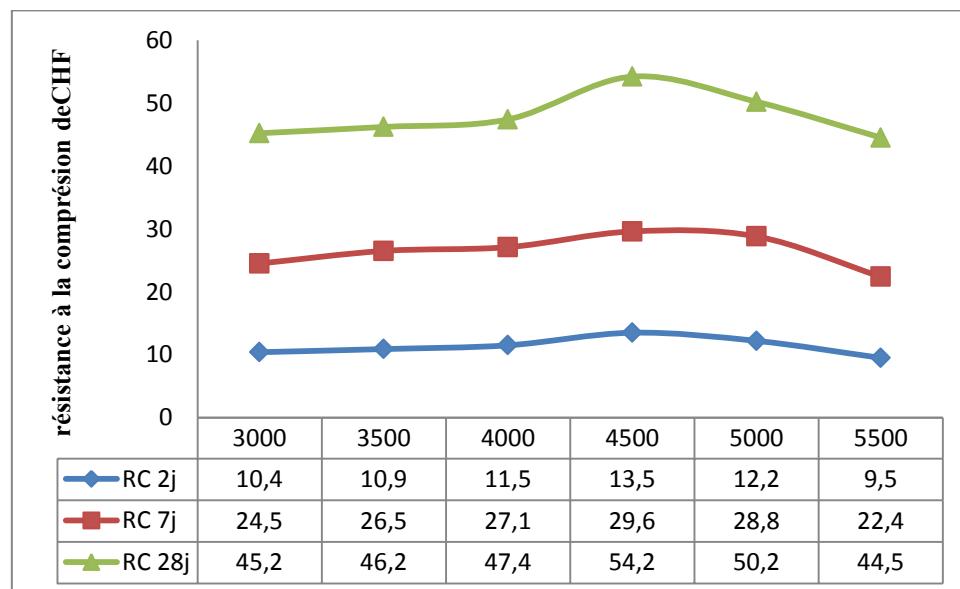
Les résultats obtenus après l'écrasement des demi-éprouvettes (déjà testées en flexion) ont été représentés dans les (Fig IV.9)et (Fig IV.10).

##### IV.4.2.1 La résistance à la compression de mortier avec CRS :



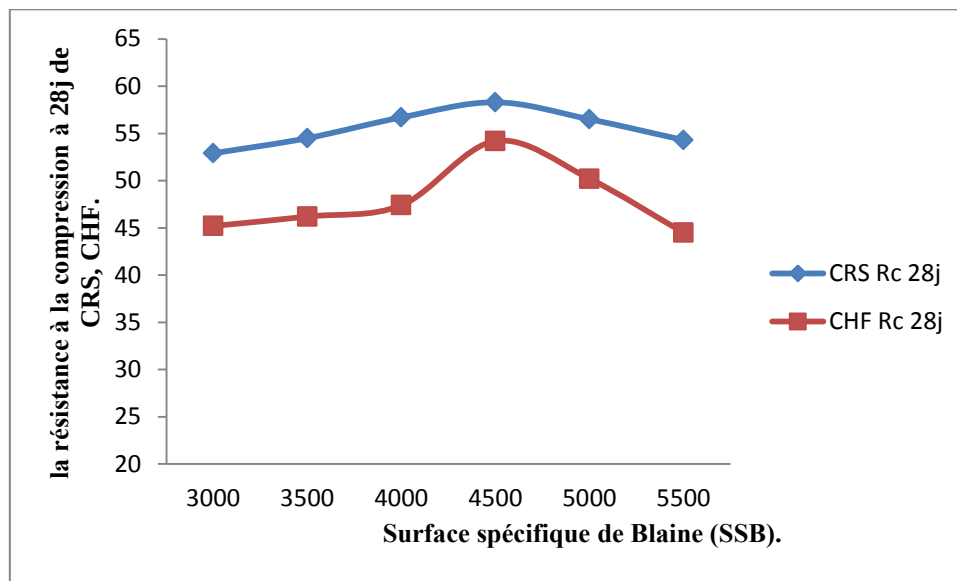
**Fig IV.9 :** L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la compression de mortier avec CRS.

##### IV.4.2.2 La résistance à la compression de mortier avec CHF :



**Fig IV.10 :** L'influence de finesse (SSB) sur la résistance à la compression de mortier avec CHF.

#### IV.4.2.3 Comparaison entre la résistance à la compression de mortier avec les ciments CRS et CHF à 28 jours :



**Fig IV.11 :** L'influence de finesse SSB sur la résistance à la compression à 28 j de mortier avec CRS, CHF.

#### Commentaire :

Les résultats obtenus, pour la résistance à la compression de mortier avec CRS représenté par la (Fig IV.9). Les courbes dans cette Figure montrent le comportement de la résistance à la compression des mortiers à base de ciment CRS en fonction de la finesse de ciment. La meilleure valeur observée à 28j est avec une finesse de 4500cm<sup>2</sup>/g.

La résistance à la compression est de 58,30 MPa à 4500cm<sup>2</sup>/g qui représente une valeur significative.

Après cette finesse la résistance à la compression tend à décroître d'une façon non-significative à 5500cm<sup>2</sup>/g, la résistance  $f_{c28}$  reste de l'ordre de 54,03 MPa.

Pour la résistance à la compression de mortier avec CHF représenté par la (Fig IV.10). D'après les courbes de cette Figure, on constate que la résistance à la compression de mortier à base de CHF se comporte de la même façon que celle de mortier à base de CRS.

La résistance  $f_{c28}$  de mortier CHF avec une finesse de 4500cm<sup>2</sup>/g est égale à 54,2 MPa. Au-delà de cette finesse la résistance diminue d'une façon remarquable jusqu'à atteindre 44,5 à finesse de 5500.

La résistance de ces deux types de mortier a été mesurée à 7 et 28j. La figure IV.11, représente la résistance à 28j de deux mortiers. Ces courbes ont pratiquement une allure compactable avec des valeurs de résistance sensiblement proches. Les deux mortiers ont une meilleure résistance avec une finesse 4500cm<sup>2</sup>/g.

#### IV.4.3L'effet de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats expérimentaux obtenus dans les figures (IV.12), (IV.13) représentent l'influence de la surface spécifique de Blaine (SSB) sur le retrait de ciment (CRS, CHF).

##### IV.4.3.1 Le retrait de mortier de ciment CRS :

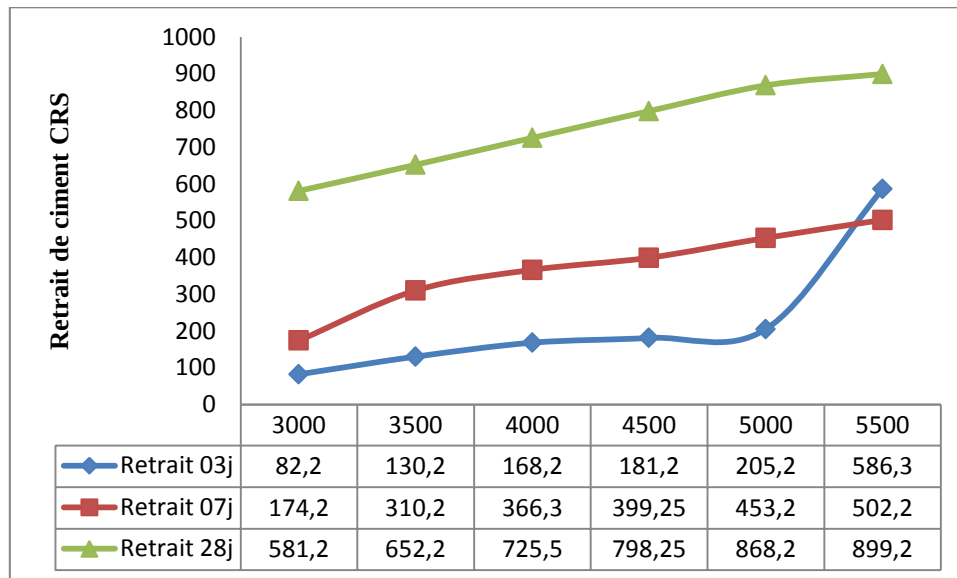


Fig IV.12 : l'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CRS.

##### IV.4.3.2 Le retrait de mortier de ciment CHF :

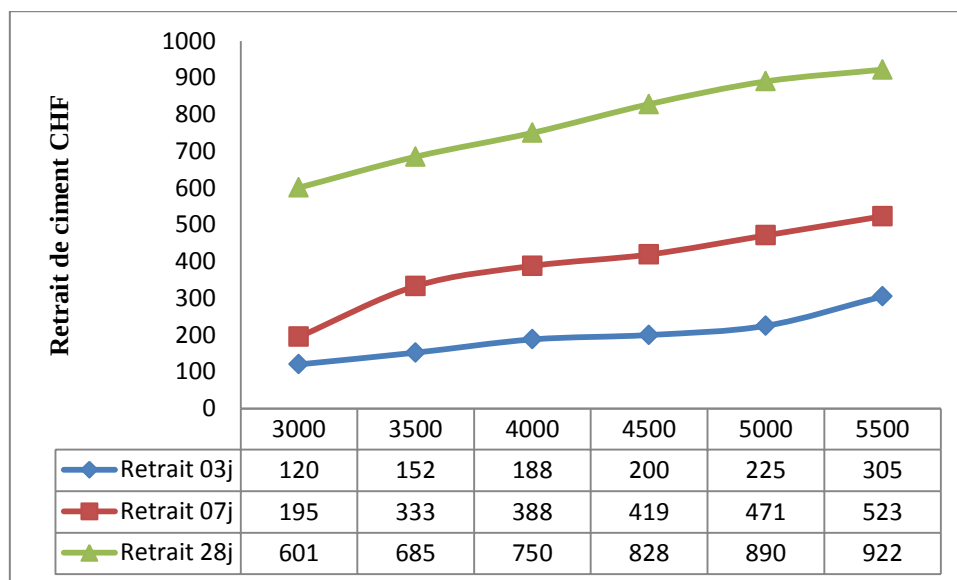
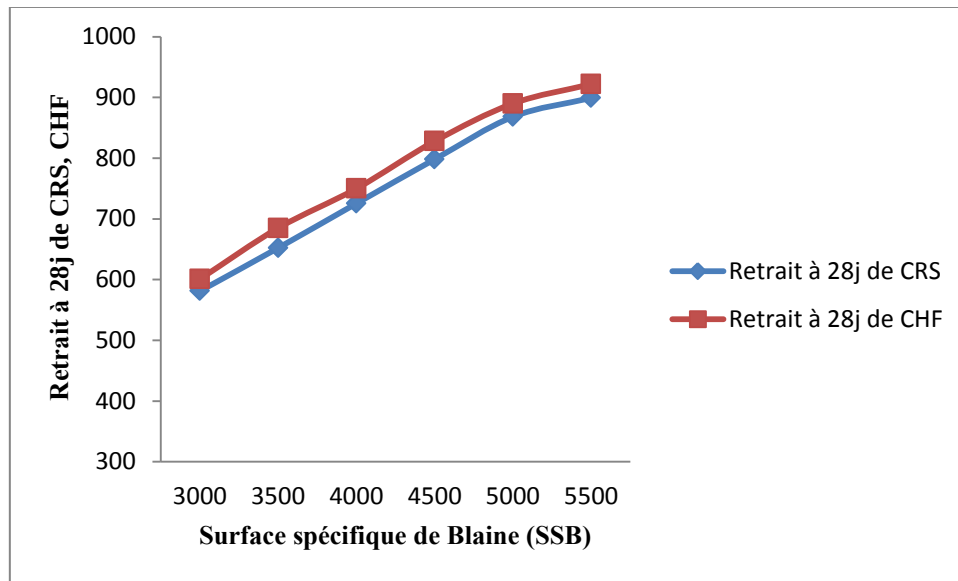


Fig IV.13 : l'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CHF.

#### IV.4.3.3 Comparaison entre le retrait de mortier de ciment CRS et CHF à 28 jours :



**Fig IV.14 :** L'influence de finesse (SSB) sur le retrait de mortier de ciment CRS et CHF à 28j.

#### Commentaire :

Les mesures de retrait dans l'air sont effectuées selon la norme NF P15-433 sur éprouvettes des mortiers gâchées à maniabilité constante. Les résultats des mortiers à base de CRS sont présentés par la figure IV.12.

D'après ces courbes, on constate que les retraits dans l'air sont rapides au départ avec une finesse de 3000cm<sup>2</sup>/g (~900µm/m à jours 28), puis ralentissent avec l'augmentation de la finesse de CRS pour atteindre des valeurs à l'ordre de 588µm/m à une finesse de 500µm/m. Les résultats obtenus avec les mortiers à base de CHF sont représentés par la figure IV.13. L'allure des trois courbes à l'âge de 2j, 7j et 28j ; montre que le retrait diminue en augmentant la finesse, ce qui rapporte un avantage pour ce type de ciment.

#### IV.4.4L'effet de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats expérimentaux obtenus dans les figures (4-14), (4-15) représentent l'influence de la surface spécifique de Blaine (SSB) sur le gonflement de ciment (CRS, CHF).

## IV.4.4.1 Le gonflement de mortier de ciment CRS :

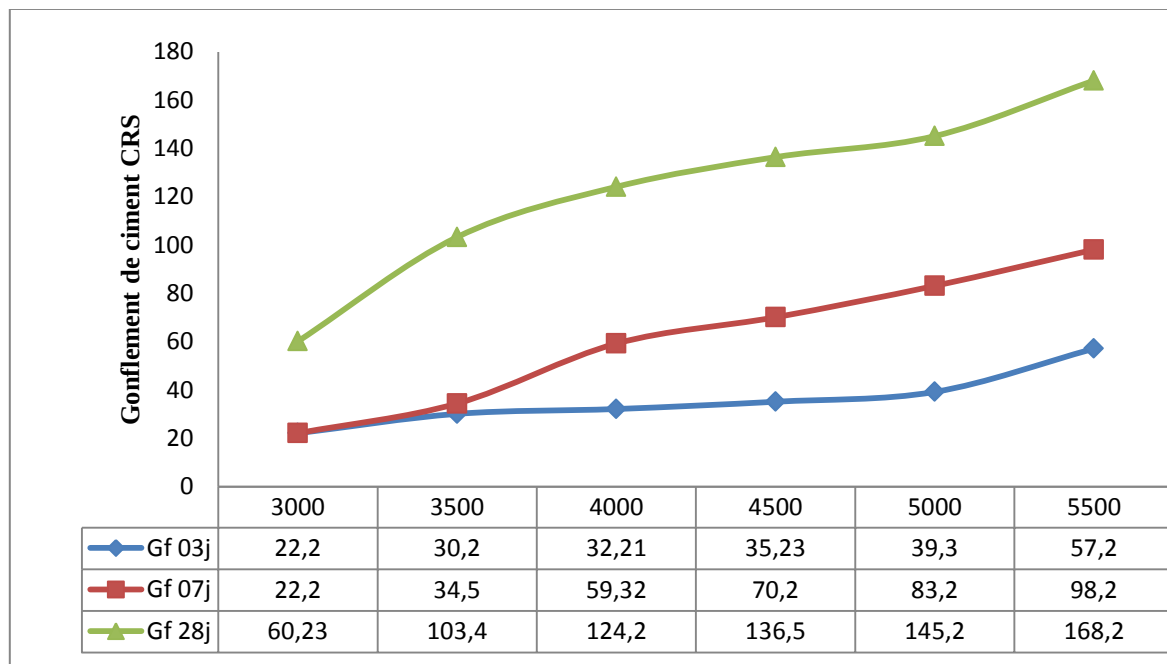


Fig IV.15 : l'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment CRS.

## IV.4.4.2 Le gonflement de mortier de ciment CHF :

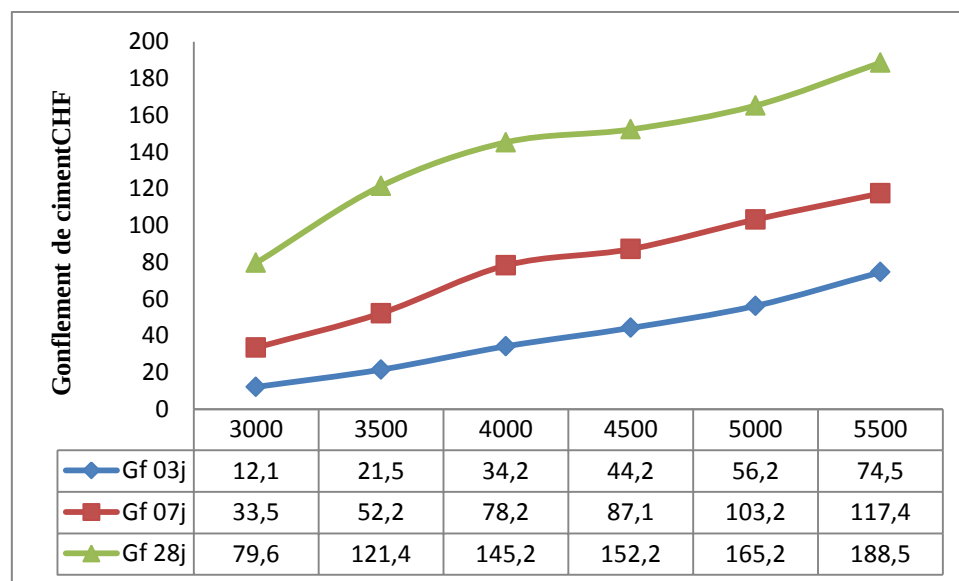


Fig IV.16 : l'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de mortier de ciment CHF.

## IV.4.4.3 Comparaison entre le gonflement de mortier de ciment CRS et CHF à 28 jours :

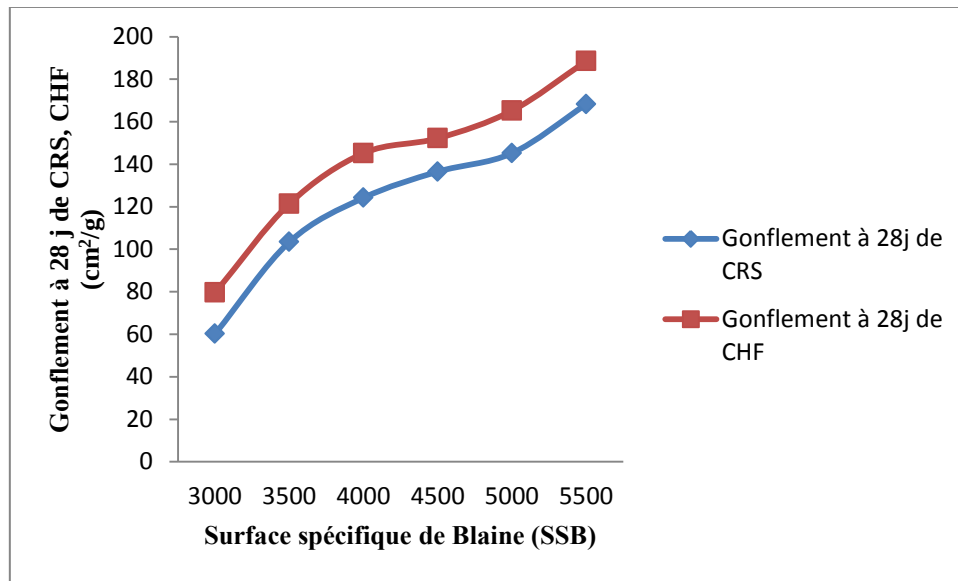


Fig IV.17 : L'influence de finesse (SSB) sur le gonflement de ciment CRS et CHF à 28 j.

## Commentaire :

Les résultats sont représentés par les deux courbes dans la Figure IV.17 . Une augmentation significative dans le phénomène de gonflement en augmentant la finesse est observée. Dans l'ensemble, il en résulte que les mortiers à base de ciment CRS se comportent de la même manière que le ciment de référence CHF.

## IV.4.5 L'effet de finesse (SSB) sur la chaleur d'hydratation de mortier de ciment (CRS, CHF) :

Les résultats expérimentaux obtenus dans la figure (IV-18) représentent l'influence de la surface spécifique de Blaine (SSB) sur la chaleur d'hydratation de mortier de ciment (CRS, CHF).

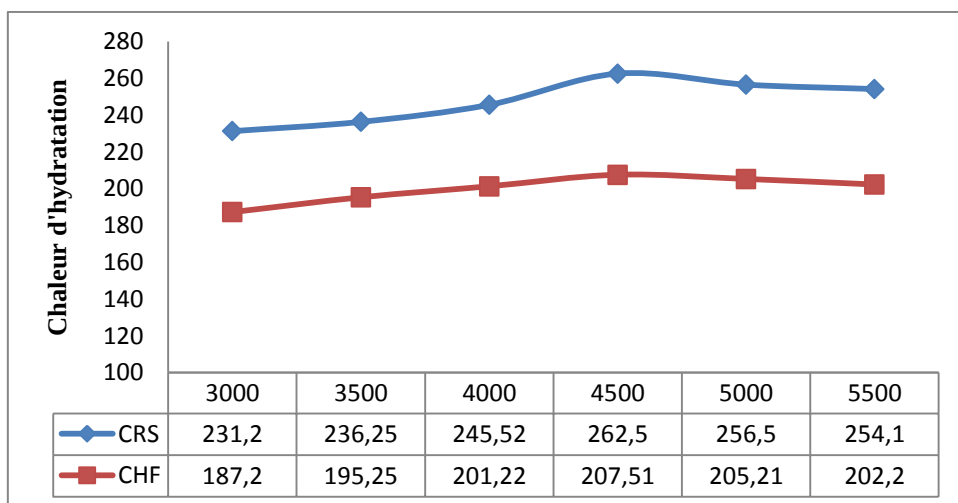


Fig IV.18 : l'effet de finesse (SSB) sur la chaleur d'hydratation de mortier de ciment (CRS, CHF).

**Commentaire :**

Les résultats expérimentaux obtenus (Fig IV.) présentent influence de la finesse sur la chaleur d'hydratation des échantillons de mortier normalisé.

✓ On remarque que le dégagement de chaleur d'hydratation augmente proportionnellement avec l'augmentation de la finesse de mouture des ciments.

✓ La chaleur d'hydratation augmente avec l'augmentation de surface spécifique de ciment pour chaque type de ciment.

✓ Le ciment CRS présente une chaleur d'hydratation plus élevée à celle du ciment CHF.

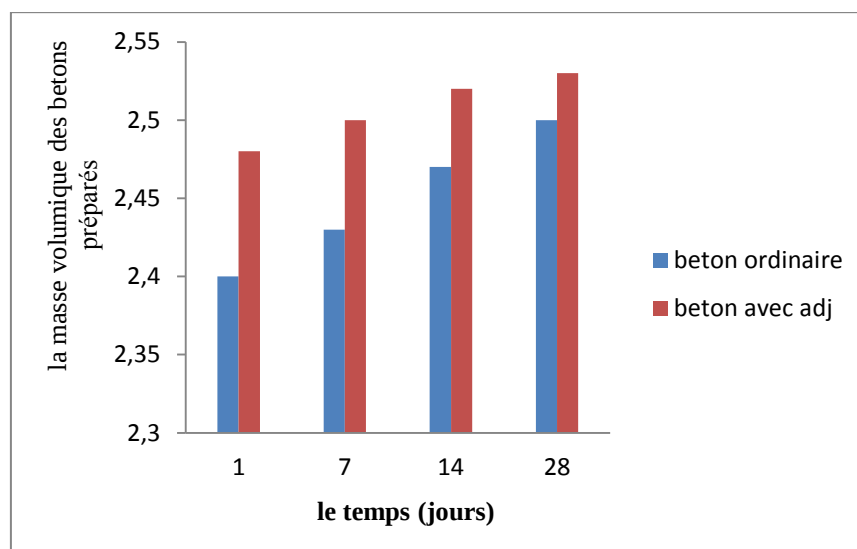
**IV.5 Essais sur béton :**

Pour étudier l'influence de l'adjuvant SikaViscocrete Tempo 12 « super plastifiant /Haut Réducteur d'eau polyvalent pour un béton prêts à l'emploi » sur un béton ordinaire 18 éprouvettes de  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$  ont été testées à 7j, 14j et 28 jours.

**IV.5.1 La masse volumique des différents mélanges de béton :**

|                     | La masse volumique à l'état durci ( $\text{kg/cm}^3$ ) Conservation dans l'eau |      |      |      |
|---------------------|--------------------------------------------------------------------------------|------|------|------|
| Les jours           | 1J                                                                             | 7J   | 14J  | 28J  |
| Béton ordinaire     | 2.40                                                                           | 2.43 | 2.47 | 2.5  |
| Béton avec adjuvant | 2.48                                                                           | 2.5  | 2.52 | 2.53 |

**Tableau IV.1 :** les résultats des mesures de la masse volumique à l'état durci des bétons préparés.



**Fig IV.19 :** la masse volumique des bétons préparés en fonction de temps.

**Commentaire :**

Les résultats obtenus sont représentés par la (Fig IV.19) et rapportés dans le (tableau IV.1).

Ces résultats montrent qu'une légère augmentation est observée dans la masse de béton avec adjuvant.

Ceci est peut-être attribué à la présence de l'adjuvant qui serve à réduire la compacité et implicitement augmenter la masse volumique de béton adjuvanté par rapport au béton témoin.

#### IV.5.2 La résistance à la compression des différents mélanges de béton préparé :

Les résultats obtenus dans la figure (IV.19) représentent la résistance mécanique à la compression des bétons (sans et avec ajout) en fonction du temps (28 jours).

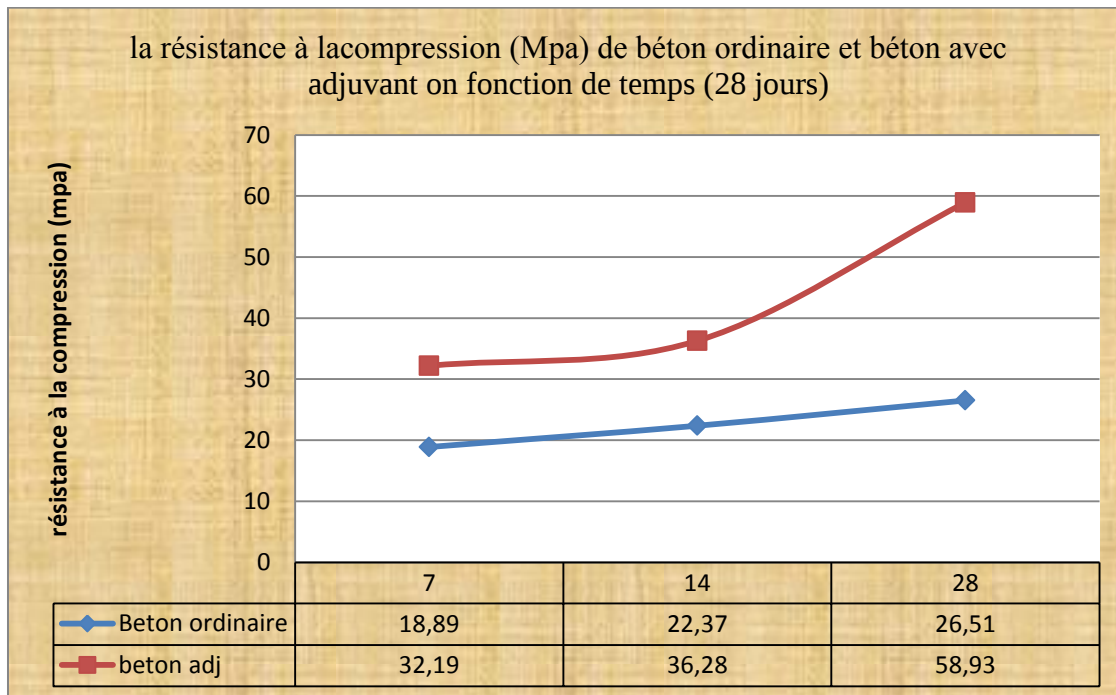


Fig IV.20

#### Commentaire :

Les résistances de béton témoin élaboré avec le ciment CRS ainsi que les résistances de béton adjuvanté sont calculées après avoir été testé à 7j, 14j, et 28j et présentées par la (Fig IV.20).

Ces deux courbes ont pratiquement une comparabilité avec des valeurs de résistance sensiblement proches dans les deux semaines (7j et 14j).

Au-delà de 14j, la résistance de béton adjuvanté augmente de façon significative par rapport au béton témoin. Elle est égale à 58,93 MPa pour le béton adjuvanté, alors qu'elle est égale à 26,51 MPa pour le béton témoin. Une résistance en raison de leur plus performance peut-être justifier que ce type de ciment est classé comme un ciment maçonner.

#### IV.6 Conclusion :

Dans ce chapitre on a discuté et interprété les résultats obtenus d'après les essais réalisés. L'influence de surface spécifique de Blaine (SSB) sur les caractéristiques physiques et mécaniques d'une pâte, d'un mortier à base de ciment CRS et ciment de référence CHF a été évalué expérimentalement. L'effet de l'adjuvant SikaViscocrete Tempo 12 « super plastifiant

/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour un béton prêts à l'emploi » a été évalué pratiquement sur un béton confectionné à base de ciment CRS .

**conclusion générale**

## CONCLUSION GENERALE

---

### CONCLUSION GENERALE

Cette étude a permis d'évaluer expérimentalement l'effet de la finesse (surface spécifique) des ciments CRS élaboré à base des matériaux locaux dans la cimenterie de Lafarge-Holcim, CHF) sur les propriétés des matériaux cimentaires à savoir le mortier et le béton. Les résultats obtenus ont été comparés avec celles obtenus de ciment CHF (comme ciment de référence) déjà commercialisé comme un ciment résistant aux sulfates.

Ce travail est une contribution à l'amélioration des caractéristiques mécaniques et physiques d'un ciment CRS élaboré en cherchant une finesse optimale afin d'avoir un ciment qui répond aux exigences techniques des consommateurs.

Les résultats obtenus dans cette étude nous ont permis d'aboutir aux conclusions suivantes :

- ❖ La densité de ciment élaboré diminue en fonction de l'augmentation de la surface spécifique
- ❖ L'augmentation de la finesse des ciments composés influe sensiblement sur la demande en eau de consistance normale ;
- ❖ Le temps de début et de fin de prise diminue proportionnellement avec l'augmentation de la finesse des ciments élaborés ;
- ❖ L'augmentation de l'expansion peut être expliquée par la présence d'impuretés ainsi que d'autres éléments tels que la chaux libre et le MgO qui sont préjudiciables au ciment ;
- ❖ L'augmentation du retrait et du gonflement sont proportionnelle à l'augmentation de la surface spécifique de ciment ;
- ❖ L'augmentation du retrait en fonction de la finesse, est due à une porosité capillaire élevée ;
- ❖ Le dégagement de la chaleur d'hydratation augmente proportionnellement avec l'augmentation de la finesse de mouture des ciments.
- ❖ L'augmentation de la résistance mécanique avec l'augmentation de la finesse jusqu'à une valeur optimale de 4500 cm<sup>2</sup>/g.

Enfin, les ciments élaborés doivent être finement broyés (SSB supérieure à 4000 jusqu'à 4500 cm<sup>2</sup>/g) comme des valeurs optimales.

D'autre part, on a étudié l'influence de l'adjuvant Sika Viscocrete Tempo 12 « super plastifiant /Haut Réducteur d'eau polyvalent pour un béton prêts à l'emploi » sur la résistance mécanique de béton ordinaire à base d'un ciment CRS élaboré. Les résultats obtenus montrent que l'utilisation de l'adjuvant Sika Viscocrete Tempo 12 augmente la résistance mécanique de béton ordinaire jusqu'à 58.93 Mpa comme une valeur optimale à 28 jours.



# Référence bibliographique

- [1]- Dr. peter lunk et all, guide pratique du béton, 6<sup>ème</sup> édition (français. Edition soumise), janvier 2015.
- [2]- Kiran Pokkuluri « Effect of admixtures, chlorides, and moisture on dielectric properties of Portland cement concrete in the low microwave frequency range» - Master thesis – Virginia University – 210p - October 1998.
- [3]-Y. Older , « Hydration, setting and hardening of Portland cement », dans Lea's - Chemistry of Cement and Concrete, chap.6, Arnold, 4th éd- 1998.
- [4]- downloade (414 kb ), thèse-univ-biskra.dz/1105/6/chapitre% 2004 , pdf.
- [5]- L. Zeghichi. Etude des bétons basiques à base des différents granulats. Thèse de doctorat en génie civil. Université de Biskra, 2006. 168 pages.
- [6]- M. Burteaux. Laitiers de haut fourneau. Technique de l'ingénieur, M 7 425. 1995. pp.1- 9.
- [7]- **BOUALI Khaled** « Elaboration et caractérisation thermomécanique des mortiers à base d'ajouts de déchets de briques réfractaires », **mémoire de magister** (spécialité: Génie des Matériaux) Option Physique et Mécanique des Matériaux **UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA-BOUMERDES 2013/2014.**
- [8]- cours MDC, licence université de m'sila
- [9]- CIM BETON, les bétons : formulation, fabrication et mise en oeuvre, Tome2, 137p janvier 2013,
- [10]- **GCI712** « Durabilité ET réparation du béton », département Génie civil, Université de Sherbrooke-Canada, Avril **2009.**
- [11]- P. Sylver, science des matériaux, université pierre et marie curie 2005, 2006.
- [12]- Fiches techniques : Les constituants des bétons et des mortiers (TOME 1) , Ciments et bétons (Centre d'information sur le ciment et ses applications ).
- [13]- W. H. Duda, Cement data book, 3rd edition ; French & European Pubns Ed, ISBN 0828802041, décembre 1985.
- [14]- G. H. Tattersall : The rheology of fresh concrete. pitman books limited, 1983.



## REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

---

- [15]- Dreux. G : Nouveau guide du béton. Edition Eyrolles, Paris 1979, 201p.
- [16]- Groupe Eyrolles : Cône d'Abrams, Edition Eyrolles, 2010.
- [17]- EN-12390-3 : Résistance à la compression des éprouvettes.
- [18]- EN-12390-5 : Résistance à la flexion sur éprouvettes.
- [19]- Baron .J et Sauterey . R : Le béton hydraulique Connaissances et Pratique, Presses, 1982.
- [20]- Jean festa, georges Dreux, nouveau guide de béton et ses constituants, 8<sup>ème</sup> édition, 3<sup>ème</sup> tirage 2007, eyrolles .

**annexe**

## SIKA® VISCOCRETE® TEMPO 12

Superplastifiant/Haut Réducteur d'eau polyvalent pour bétons prêts à l'emploi.



Conforme à la norme NF EN 934-2 Tab. 1, 3.1 et 3.2.

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Présentation</b>                  | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération non chloré à base de copolymère polycarboxylate-polyacrylate.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Domaines d'application</b>        | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet la fabrication de bétons plastiques à autoplacants transportés sur de longues distances et pompés.</li> <li>■ Dans les bétons autoplacants, SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 améliore la stabilité, limite la ségrégation du béton et rend les formules moins susceptibles aux variations d'eau et des constituants.</li> <li>■ SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 permet de réduire significativement le rapport E/C ce qui améliore la durabilité du béton durci (diminution de la perméabilité, augmentation des résistances mécaniques, diminution du retrait).</li> </ul> |
| <b>Caractères généraux</b>           | <p>SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est un superplastifiant puissant qui confère aux bétons les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ longue rhéologie (&gt;2h),</li> <li>■ robustesse à la ségrégation,</li> <li>■ qualité de parement.</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Caractéristiques</b>              |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Aspect</b>                        | Liquide brun clair                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |
| <b>Conditionnement</b>               | <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fûts de 230 kg</li> <li>■ CP de 1000 L</li> <li>■ Vrac</li> </ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Stockage</b>                      | <p>A l'abri du gel.</p> <p>En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>Conservation</b>                  | 12 mois dans son emballage d'origine intact                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
| <b>Données techniques</b>            |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |
| <b>densité</b>                       | 1,060 ± 0,020                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>pH</b>                            | 5,5 ± 1,0                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |
| <b>Teneur en Na<sub>2</sub>O Eq.</b> | ≤ 1 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
| <b>Extrait sec</b>                   | <p>29,5% ± 1,4% (méthode halogène selon NF 085)</p> <p>29,5% ± 1,4% (NF EN 480-8)</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |

|                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
|--------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Teneur en ions Cl<sup>-</sup></b> | ≤ 0,1 %                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |
| <b>Conditions d'application</b>      |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| <b>Dosage</b>                        | <b>Plage de dosage</b> : 0,1 à 5,0% du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |
| <b>Mise en œuvre</b>                 | SIKA VISCOCRETE TEMPO 12 est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
| <b>Précautions d'emploi</b>          | En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.<br>Consulter la fiche de données de sécurité sur Internet <a href="http://www.sika.fr">www.sika.fr</a>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |
| <b>Mentions légales</b>              | Produit réservé à un usage strictement professionnel<br>Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.<br>«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA® a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la notice correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.» |



SIKA® France S.A.  
84, rue Edouard Vaillant – BP 104  
93351 Le Bourget Cedex  
France

Tel. : 01 49 92 80 00  
Fax : 01 49 92 80 21  
[www.sika.fr](http://www.sika.fr)

Organisme de certification :  
AFNOR CERTIFICATION  
11, avenue Francis de Pressensé  
93571 Saint-Denis La Plaine cedex  
France

### ملخص :

هذا العمل التجريبي يهدف لدراسة اثر النعومة للاسمنت CRS ( مقاوم للسيلفات) مهياً في مصنع لافارج هولسيم بحمام الضلعة.

الهدف هو زيادة النعومة في مجال واسع(.....) و ملاحظة سلوك الملاط و الخرسانة المهيأة من الاسمنت CRS و الاسمنت المرجعي CHF من خلال النتائج المحصل عليها فان النعومة الاحسن هي 4500 سم<sup>2</sup>/غ قد تم معاينتها في كل الخصائص الفيزيائية و الميكانيكية المقيمة و هي النعومة التي تعطي لنا اسمنت ذات خاصية جيدة.

**الكلمات المفتاحية :** النعومة . الاسمنت . المقاومة . الانكماش .

### Résumé :

Ce travail expérimental consiste à étudier l'effet de la finesse d'un ciment CRS dans la cimenterie de lafarge-holcime de h.dalaa.

Le but est bien augmenter la finesse dans un intervalle étendu () et voire le comportement de mortier et béton confectionnés avec le ciment CRS et le ciment de référence CHF, d'après les résultats, une finesse optimale de 4500cm<sup>2</sup>/g a été constaté dans tous les propriétés physique et mécaniques évalués comme une valeur qui donne un ciment performant.

**Mots clés :** Finesse, ciment, résistance, retrait.

### Abstract :

This experimental work consists to study the effect of finessess of cement CRS elaborated in lafarge-holcim plant in H.dalaa.

The goal is well augment the finessess in wide interval () and to see the behaviour of mortars ; and concrete elaborated with CRS cement and CHF as reference.

According to results ; the optimale finessess of 4500 cm<sup>2</sup>/g has been observed in all the evaluated physical and mechanical properties as a evalue wich give a performant cement.

**Key words :** finessess ; ciment ; strength, shrinkage.