



**Ministère de l'enseignement supérieure Et de  
la recherche scientifique  
Université Mohamed Boudiaf - M'sila  
Faculté de technologie**



**Département de GENIE CIVIL**

**MEMOIRE**

**Présenté pour l'obtention du diplôme de  
MASTER**

**FILIERE : Génie Civil**

**SPECIALITE : Matériaux.**

**THEME**

**Influence de sable mixte sur les propriétés du micro  
béton au ciment blanc**

**Dirigé par :**

**Mr. MAZA Mekki**

**Présenté par :**

**Blizak Ahmed Khalil**

**Promotion : 2015/2016.**

## *Dédicaces*

*Que ce travail témoigne de mes respects :*

*A mes parents :*

*Grâce à leurs tendres encouragements et leurs grands sacrifices, ils ont pu créer le climat affectueux et propice à la poursuite de mes études.*

*Aucune dédicace ne pourrait exprimer mon respect, ma considération et mes profonds sentiments envers eux.*

*Je prie le bon Dieu de les bénir, de veiller sur eux, en espérant qu'ils seront toujours fiers de moi.*

*A mes frères*

*Ils vont trouver ici l'expression de mes sentiments de respect et de reconnaissance pour le soutien qu'ils n'ont cessé de me porter.*

*A tous mes professeurs :*

*Leur générosité et leur soutien m'oblige de leurs témoigner mon profond respect et ma loyale considération.*

*A tous mes amis et mes collègues :*

*Ils vont trouver ici le témoignage d'une fidélité et d'une amitié infinie.*

## *Remerciement*

*Tout d'abord qu'il me soit permis de remercier et d'exprimer ma gratitude envers Dieu de m'avoir donné le courage et la patience durant toutes ces années d'études. Ce travail a été réalisé au sein du laboratoire de génie civile pôle universitaire de M'sila. J'adresse mes vifs remerciements à notre encadreur : Mr MAZA Mekki professeur à l'université du M'sila, de ma voir fait profiter de ces grandes compétences et ces conseils judicieux et de nous avoir dirigés avec efficacité et grande patience. J'associe à ces remerciements tous les membres du laboratoire de génie civil. Que toutes les personnes ayant contribué de près ou de loin, directement ou indirectement à l'aboutissement de ce travail et à l'impression de ce mémoire, trouvent ici le témoignage de mes profondes reconnaissances, je les remercie vivement pour leur aide précieuse et pour avoir mis à ma disposition leur expérience.*

# Sommaire

Remerciements et Dédicaces

Table des matières

Liste des tableaux

Liste des figures

Résumé

**Introduction générale ..... 2**

## CHAPITRE I : Généralité sur les matériaux

**Introduction ..... 5**

I.1 Les granulats ..... 6

I.1.1 Définition ..... 6

I.1.2 Caractéristiques ..... 6

I.1.3 Classification des granulats ..... 11

I.1.4 Type des granulats ..... 12

I.1.5 Production des granulats ..... 13

I.2 Le ciment Blanc ..... 18

I.2.1 Introduction ..... 18

I.2.2 Performances et caractéristiques normalisées ..... 19

I.2.3 Propriétés physiques et mécaniques ..... 20

I.2.4 Propriétés chimiques ..... 21

I.3 Adjuvants ..... 23

I.3.1 Introduction ..... 23

I.3.2 Différentes familles d'adjuvants ..... 23

I.3.3 Familles d'adjuvants à effets spécifiques ..... 25

I.4 Pigments de coloration ..... 26

I.4.1 Définition ..... 26

I.4.2	Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents.....	26
I.4.3	Différentes variétés de pigments.....	26
I.4.4	Paramètres intervenant dans la coloration.....	27
I.4.5	Choix et définition des teintes.....	27
I.4.6	Mise en œuvre des pigments.....	28
I.5	L'eau de gâchage.....	29
I.5.1	Convenances.....	29
I.5.2	Les catégories de l'eau de gâchage.....	29
I.5.3	Les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent.....	30
I.5.4	Importance du rapport eau/ciment (E/C).....	30
I.6	Le béton.....	31
I.6.1	Définition.....	31
I.6.2	Types de bétons.....	31
I.6.3	Propriétés du béton.....	33
I.6.4	Différents types de béton.....	36

## **CHAPITRE II : Caractéristique des matériaux**

<b>Introduction.....</b>	<b>38</b>	
II.1	Caractéristiques du sable utilisés.....	38
II.1.1	Analyse granulométrique.....	38
II.1.2	Module de finesse.....	43
II.1.3	Masse volumique absolue.....	43
II.1.4	La masse volumique apparente à l'état lâche.....	45
II.1.5	Masse volumique apparente à l'état compact.....	47
II.1.6	Porosité.....	48
II.1.7	Compacité.....	48
II.1.8	L'indice des vides.....	48
II.1.9	Equivalent de sable.....	49
II.2	Caractéristique du gravie utilisé.....	52

II.2.1	Analyse granulométrique.....	52
II.2.2	Masse volumique apparent .....	53
II.2.3	Masse volumique absolue.....	54
II.2.4	Porosité, compacité et l'indice des vides.....	54
II.2.5	Degré d'absorption d'eau .....	55
II.2.6	Teneur en eau du gravier .....	55
II.2.7	Coefficient Los Angeles .....	55
II.3	Le ciment .....	56
II.3.1	Analyse chimique du ciment.....	56
II.3.2	Propriété physique.....	57
II.3.3	Temps de prise .....	57
II.3.4	Résistance à la compression .....	57
II.3.5	Composition minéralogique du clinker .....	57
II.3.6	La masse volumique.....	58
II.4	Adjuvant .....	58
II.4.1	Description du produit.....	58
II.4.2	PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES.....	59
II.4.3	DOSAGE .....	59
II.4.4	CARACTERISTIQUES.....	59
II.5	Eau de gâchage.....	59
II.5.1	Caractéristique chimique de l'eau utilisée.....	59
II.6	Méthode de formulation du micro béton .....	60
II.6.1	Calcul de la composition du micro béton.....	61
II.7	Conclusion .....	64

### **CHAPITRE III : Résultats et discussions**

<b>Introduction.....</b>	<b>66</b>
III.1 Détermination de la composition du micro béton.....	66
III.2 Essais et procédures.....	67

III.2.1	Détermination de la composition .....	67
III.2.2	Détermination de la Masse Volumique .....	67
III.2.3	Détermination de la fluidité .....	68
III.2.4	Détermination de la capacité d'absorption .....	69
III.2.5	Détermination de la résistance du micro béton durci .....	70
III.3	Discussions des résultats .....	73
III.3.1	Masse volumique .....	73
III.3.2	Fluidité.....	75
III.3.3	Absorption d'eau.....	77
III.3.4	Essais des résistances mécaniques .....	77
<b>Conclusion générale et perspective .....</b>		<b>81</b>
Références bibliographiques		
Annexe		

## Liste des tableaux

<b>Tableau I.1</b> : Classification des granulats	<b>11</b>
<b>Tableau I.2</b> : Composition Chimique du Clinker Blanc et Gris	<b>17</b>
<b>Tableau I.3</b> : Types, classes et domaines d'application de ciment blanc	<b>19</b>
<b>Tableau I.4</b> : Résistances à la compression en MPA	<b>19</b>
<b>Tableau I.5</b> : Temps de prise en min	<b>20</b>
<b>Tableau I.6</b> : Teinte Blanche de ciment blanc	<b>20</b>
<b>Tableau I.7</b> : Propriétés chimiques du ciment portland blanc	<b>21</b>
<b>Tableau I.8</b> : Types de béton en fonction de leur destination	<b>29</b>
<b>Tableau I.9</b> : Types de béton en fonction de leur masse volumique	<b>30</b>
<b>Tableau I.10</b> : Types de béton en fonction de D max	<b>30</b>
<b>Tableau I.11</b> : Types de béton en fonction de leur consistance	<b>30</b>
<b>Tableau II.1</b> : Analyse granulométrique de sable de dune	<b>38</b>
<b>Tableau II.2</b> : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 50% ; SC 50%)	<b>38</b>
<b>Tableau II.3</b> : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 60% ; SC 40%)	<b>39</b>
<b>Tableau II.4</b> : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 40% ; SC 60%)	<b>39</b>
<b>Tableau II.5</b> : Module de finesse des sables mixtes	<b>40</b>
<b>Tableau II.6</b> : Résultats de la masse volumique absolue des sables mixte.	<b>41</b>
<b>Tableau II.7</b> : Masse volumique apparente de sable mixte	<b>43</b>
<b>Tableau II.8</b> : Résultats de la masse volumique apparente des sables mixte à l'état compact	<b>44</b>
<b>Tableau II.9</b> : Porosité, compacité, l'indice des vides des sables mixte à l'état lâche	<b>45</b>
<b>Tableau II.10</b> : Porosité, compacité, l'indice des vides des sables mixte à l'état compact.	<b>45</b>
<b>Tableau II.11</b> : Résultats de l'équivalent des sables mixte.	<b>48</b>
<b>Tableau II.12</b> : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable	<b>48</b>

<b>Tableau II.13</b> : Résultat de analyse granulométrique de gravie 3/8	<b>49</b>
<b>Tableau II.14</b> : Résultat de la masse volumique apparente de gravie 3/8	<b>50</b>
<b>Tableau II.15</b> : Résultat de la masse volumique absolue de gravie 3/8	<b>50</b>
<b>Tableau II.16</b> : porosité, compacité et l'indice des vides de gravie 3/8	<b>51</b>
<b>Tableau II.17</b> : Résultat de degré d'absorption d'eau de gravie 3/8	<b>51</b>
<b>Tableau II.18</b> : Teneur en eau du gravier 3/8	<b>51</b>
<b>Tableau II.19</b> : Analyse chimique de ciment blanc MALAKI	<b>53</b>
<b>Tableau II.20</b> : Propriété physique de ciment blanc malaki	<b>53</b>
<b>Tableau II.21</b> : Début et fin de prise de ciment blanc MALAKI	<b>53</b>
<b>Tableau II.22</b> : Résistance à la compression de ciment blanc MALAKI	<b>53</b>
<b>Tableau II.23</b> : Composition minéralogique de clinker	<b>53</b>
<b>Tableau II.24</b> : la masse volumique apparent et absolue de ciment blanc MALAKI	<b>54</b>
<b>Tableau II.25</b> : Caractéristiques Chimique D'eau.	<b>55</b>
<b>Tableau II.26</b> : valeurs des coefficients A et A'.	<b>57</b>
<b>Tableau II.27</b> : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton	<b>58</b>
<b>Tableau II.28</b> : Valeur de coefficient $\alpha$	<b>59</b>
<b>Tableau III .1</b> : Symbole et composants des types des micro-bétons	<b>62</b>
<b>Tableau III .2</b> : Composition des micros béton	<b>63</b>
<b>Tableau III.3</b> : La masse volumique des micros bétons	<b>64</b>
<b>Tableau III.4</b> : Fluidité des micros bétons	<b>65</b>
<b>Tableau III .5</b> : Capacité d'absorption des micros bétons	<b>66</b>
<b>Tableau III .6</b> : Résistance à la compression et traction par flexion des micros bétons	<b>68</b>

<b>Liste des figures</b>	
<b>Figure I.1</b> : les différents types des granulats	<b>5</b>
<b>Figure I.2</b> : Appareille de los Angeles	<b>6</b>
<b>Figure I.3</b> : Essai de l'équivalent de sable	<b>10</b>
<b>Figure I.4</b> : Ciment blanc Malaki	<b>18</b>
<b>Figure I.5</b> : Béton coloré	<b>24</b>
<b>Figure I.6</b> : pigment solide	<b>26</b>
<b>Figure I.7</b> : pigment liquide	<b>27</b>
<b>Figure I.8</b> : Essai d'affaissement au cône d'Abrams	<b>31</b>
<b>Figure I.9</b> : Béton frais	<b>32</b>
<b>Figure I.10</b> : Essai de traction par flexion	<b>34</b>
<b>Figure II.1</b> : Tamis de l'analyse granulométrique	<b>37</b>
<b>Figure II.2</b> : Courbe granulométrique de sable mixte	<b>40</b>
<b>Figure II.3</b> : Essai de la masse volumique absolue	<b>42</b>
<b>Figure II.4</b> : Essai de la masse volumique apparent	<b>43</b>
<b>Figure II.5</b> : Essai de l'équivalent de sable	<b>47</b>
<b>Figure II.6</b> : courbe granulométrique du gravie 3/8	<b>49</b>
<b>Figure II.7</b> : Le tambour Los Angeles et les boulets	<b>52</b>
<b>Figure III.1</b> : Essai de traction par flexion	<b>68</b>
<b>Figure III.2</b> : Masse volumique du micro béton en fonction de temps	<b>69</b>
<b>Figure III.3</b> : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de sable concassée	<b>69</b>
<b>Figure III.4</b> : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de rapport E/C	<b>70</b>
<b>Figure III.5</b> : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de la porosité	<b>70</b>
<b>Figure III.6</b> : E/C en fonction de sable concassé	<b>71</b>
<b>Figure III.7</b> : E/C en fonction de la porosité	<b>71</b>
<b>Figure III.8</b> : Réduction d'eau en fonction la porosité	<b>72</b>
<b>Figure III.9</b> : l'absorption d'eau à 28 jours en fonction de sable concassé	<b>72</b>
<b>Figure III.10</b> : Résistance à la compression en fonction de temps	<b>73</b>
<b>Figure III.11</b> : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de la porosité	<b>73</b>
<b>Figure III.12</b> : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de rapport E/C	<b>74</b>

<b>Figure III.13</b> : Résistance à la compression à 28 jours en fonction de sable concassé	<b>74</b>
<b>Figure III.14</b> : Résistance à la traction par flexion à 28 jours en fonction de sable concassé	<b>75</b>

**Résumé :**

Dans le domaine de construction, la recherche actuelles 'est orientée à la valorisation des matériaux en générale, est en particulier les matériaux locaux, afin de combattre à la fois la flambée des prix que connaît le mode et en même temps assuré l'équilibre de la nature par la résolution du problème de de pollution qui permet à la survie de plusieurs espèces qui constituent les maillons important pour l'équilibre de la nature.

L'objectif de notre travail consiste à améliorer la granulométrie du sable de dune par ajouts de sable concassé, pour améliorer la compacité et réduire la porosité et améliorer la fluidité et la résistance mécanique du micro béton par l'incorporation d'adjuvant.

Les résultats tirés de ce travail de recherche confirment que le taux de 50% de sable concassé qui obtient la meilleure résistance mécanique, le taux de 60% de sable concassé donne meilleure compacité et diminue plus de porosité, 2% de super plastifiant donne bonne fluidité et augmenté la résistance mécanique.

**Mots clés :** sable concassé, adjuvant, fluidité, résistance mécanique

## ملخص:

ركزت الأبحاث الحالية في مجال البناء على تقييم المواد بشكل عام والمواد المحلية خاصة لمكافحة ارتفاع الأسعار على حد سواء التي شهدت في العالم وفي الوقت نفسه تحقيق التوازن في الطبيعة بما في ذلك إيجاد حلول لمشاكل التلوث من أجل بقاء العديد من الأنواع التي تكون الروابط الرئيسية لتوازن الطبيعة

الهدف في عملنا يركز على تحسين قياس نسبة الحبيبات رمل الكثبان وذلك بإضافة رمل المقلع وذلك لتحسين التراص والتقليل من المسامات في الخليط الخرساني وتحسين سائلية ومقاومة الخرسانة بإضافة مادة مساعدة.

نتائج هذا البحث تؤكد ان نسبة 50% من رمل المكسر يعطي للخرسانة أفضل مقاومة ميكانيكية 60% من الرمل المكسر يعطي أفضل تراص في تكوين الخرسانة ويقلل نسبة المسامات بين مكوناتها 2 من المادة المساعدة تمنح مقاومة عالية للخرسانة.

**الكلمات المفتاحية:** رمل مكسر، مادة مساعدة، السائلية، المقاومة الميكانيكية

**Abstract :**

In the construction field, the current research is oriented to the recovery of materials in general, is especially local materials to fight both the soaring prices that knows the way and at the same time ensured the balance nature by solving the problem of pollution that allows the survival of several species that are the major links to the balance of nature.

The aim of our work is to improve the particle size of the sand dune by additions of crushed sand to improve the compactness and reduce porosity and improve the fluidity and strength of concrete by micro adjuvant incorporation.

Results from this research confirm that 50% crushed sand that gets the best strength, the rate of 60% crushed sand gives better compactness and decreases over porosity, 2% of superplasticizer gives good fluidity and increased mechanical strength.

**Keywords :** crushed sand, adjuvant, fluidity, strength

## **Introduction générale**



### **Introduction générale**

Les chercheurs ont conduits et effectuer de nombreux essais dans le but d'améliorer les caractéristiques et les méthodes de composition du béton.

Dans cette recherche que nous avons menée au laboratoire de génie civil nous a permet de réaliser différentes composition à base de différents sable mixtes qui ont donné des résultats très encourageant.

Il s'agit donc bien de micro béton est non de mortier, leur comportement mécanique et leur structure granulaire présente une similitude satisfaisante avec les bétons classiques.

Par ailleurs, la composition granulaire du micro béton est définie à partir d'une méthode générale de composition des bétons courants. La courbe granulaire du mélange obtenu est semblable à celle d'un béton classique à la dimension près des plus gros granulats.

On peut estimer maintenant que l'utilisation du micro béton permet la réalisation de microstructures dont le rapport de similitude mécanique à l'ouvrage réel peut se définir dans les limites admissible cela permet :

- ✓ de réduire dans les proportions importantes d'encombrement global des essais ainsi que la puissance des équipements.
- ✓ de réaliser un nombre plus important d'essais pour la même dépense et de pouvoir ainsi s'affranchir, en partie de la dispensions d'essai tout en étudiant un plus grand nombre de paramètre.

Comme pour le béton courant le micro béton nécessite de rechercher l'ouvrabilité maximale pour obtenir un remplissage correct de moules et l'enrobage satisfaisant des armateurs, mais l'ouvrabilité maximale ne peut pas être obtenue par augmentation continue du dosage en eau car cela entraîne un ressuage important, un risque de la ségrégation de divers constituant et une chute de résistance.

C'est la composition de ensemble des constituants qui Permet l'obtention d'une maniabilité satisfaisante quand le dosage en ciment est limité pour une raison de résistance il est alors nécessaire d'ajouter des éléments fin dans le mélange le plus souvent des fillers (calcaires ou siliceux). Comme on peut avoir recours à des adjuvants fluidifiants qui permettent d'améliorer la fluidité et l'ouvrabilité, tout en diminuant parfois le dosage en eau ce qui entraîne alors une amélioration de la résistance à la compression du le micro béton.

### **Objectif de l'étude :**

L'étude entreprise de ce mémoire vise à atteindre un objectif principal c'est l'amélioration des caractéristique mécanique et physique du micro béton par les l'ajout de l'adjuvant d'un pourcentage fixe et de sable concassé, on ajoute le sable concassé au micro béton pour diminué la porosité et améliorer la résistance mécanique, l'adjuvant pour améliorer la résistance et la fluidité du micro béton.

### **Organisation du mémoire :**

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants :

- ✓ **Le 1<sup>er</sup> chapitre :** introduction générale.
- ✓ **Le 2<sup>eme</sup> chapitre :** recherche bibliographique traite les différents matériaux constituant le micro béton.
- ✓ **Le 3<sup>eme</sup> chapitre :** étude sur les caractéristiques des matériaux utilisé dans les micros bétons.
- ✓ **Le 4<sup>eme</sup> chapitre :** l'interprétation des résultats des essais.
- ✓ **Le 5<sup>eme</sup> chapitre :** conclusion généra

**Chapitre I :**  
**Généralité sur les matériaux**

### **Introduction :**

Le micro-béton est un Mélange hydraulique dont la composition granulométrique «miniaturisée» (les plus gros granulats ayant seulement quelques mm de diamètre ne dépasse pas 8 ou 10 mm), permet la reconstitution d'un matériau qui présente des caractéristiques (physico-chimiques et mécaniques) proches de celles du béton. Utilisé pour certaines applications (coulage dans des cavités étroites, remplissage de blocs à bancher...).

La pâte de ciment est le siège des réactions d'hydratation des constituants qui conduisent aux processus de prise et de durcissement et la transforment en matrice liante.

Les adjuvants fournissent aux formulations de mortier une gamme étendue, variée et nuancée de possibilités pour faciliter la mise en œuvre des mortiers et bétons, adapter leur fabrication au temps froid ou au temps chaud, réduire les coûts de mise en œuvre, améliorer les propriétés du béton durci, voire même lui conférer des propriétés nouvelles.

Les granulats sont les principaux composants du béton (70 % en poids). Les performances mécaniques des granulats vont donc conditionner la résistance mécanique du béton et leurs caractéristiques géométriques et esthétiques, en particulier, l'aspect des parements des ouvrages. Le choix des caractéristiques des granulats (roulés ou concassés, teintes, dimensions) est déterminé par les contraintes mécaniques, physico-chimiques et esthétiques du projet à réaliser et de mise en œuvre du béton (critère de maniabilité, enrobage). [1]

### **I.1 Les granulats :**

#### **I.1.1 Définition :**

On appelle granulat un matériau granulaire utilisé dans le domaine de construction, soit lié à d'autres substances (liant, bitume) pour obtenir mortier, bétons, bétons routiers ...etc., soit non lié comme les ballasts des voies ferrées, les granulats pour le système de drainage. Il est constitué de plusieurs grains minéraux de différentes dimensions comprises entre 0 et 125 mm le plus fréquemment mais peuvent être allé jusqu'à 150 mm par exemple pour des exigences d'utilisations (Cas des barrages). Le granulat peut être de provenance naturelle ou artificielle.



**Figure I.1 : les différents types des granulats.**

#### **I.1.2 Caractéristiques :**

Les granulats sont caractérisés par des spécificités qu'ils doivent satisfaire pour réaliser une bonne utilisation dans différents domaines. Ces spécifications dites caractéristiques des granulats sont bornées par des normes et des exigences. Elles servent à prendre en compte l'utilisation, la fiabilité, l'économie en se basant sur les recherches et les expériences scientifiques.

On distingue :

##### **I.1.2.1 Caractéristiques intrinsèques :**

Ce sont les propriétés appartenant au granulat lui-même et qui sont inhérentes au temps. Elles sont liées à l'origine des roches ou des produits constituant le granulat. Parmi ces caractéristiques on cite les suivantes :

**a. Caractéristiques physiques et mécaniques :**

**❖ Résistance à la fragmentation des gravillons :**

Elle est déterminée par le coefficient Los-Angeles. Le principe de cet essai est la détermination du coefficient dit " Los-Angeles " pour évaluer la résistance à la fragmentation par chocs et à l'usure par frottements réciproques. Il consiste à faire tourner les granulats dans un tambour fermé contenant des boulets métalliques. Le coefficient LA représente la proportion d'éléments fins produits au cours de l'essai. Plus le coefficient, est faible plus la résistance des gravillons, est élevée. A l'aide d'un autre coefficient on peut également évaluer la résistance d'un granulat à la fragmentation, c'est le coefficient de fragmentation dynamique. Il est déterminé à partir d'un essai qui consiste à mesurer la quantité d'éléments fins inférieurs à 1.6 mm produits en soumettant le matériau aux chocs d'une masse normalisée. La formule qui sert à calculer le coefficient de fragmentation dynamique est la même que celle du coefficient Los-Angeles.



**Figure I.2: Appareille de los Angeles.**

**❖ Résistance des gravillons au gel-dégel :**

La vulnérabilité du granulat dans le béton à l'action du gel-dégel est en fonction de sa nature, de son utilisation, des conditions climatiques et de la formulation du béton (utilisation par exemple d'air entraîné). Concernant le granulat lui-même la vulnérabilité est en fonction de trois critères, l'absorption d'eau, la résistance à la fragmentation après l'essai gel-dégel et sa sensibilité au gel. [2]

**❖ La masse volumique :**

On appelle la masse volumique d'un corps, la masse de l'unité de volume de ce corps. On distingue :

- ✓ **Masse volumique apparente** : masse de l'unité de volume apparent du corps, c'est-à-dire celle du volume constitué par la matière du corps et les vides qu'elle contient.
- ✓ **Masse volumique absolue** : masse de l'unité de volume d'un corps sans tenir compte des vides qu'elle contient.
- ✓ **Masse volumique réelle** : masse de l'unité de volume absolue de corps, c'est-à-dire de la matière qui constitue le corps sans tenir compte du volume des vides inter-granulaires.

### ❖ *La porosité :*

La porosité est le rapport du volume des vides contenus dans les grains au volume des grains, exprimé en pourcentage. Elle influe sur l'aptitude de résister aux sollicitations mécaniques (compression statique, usure, abrasion...etc.), chimiques (attaque en ions solvants) et surtout à la tenue au gel-dégel ; c'est pour ça que la porosité est un critère important et sert à améliorer les performances des bétons notamment leur durabilité.

### ❖ *Teneur en eau :*

Elle est égale au rapport de la masse d'eau contenue dans l'échantillon sur la masse sèche de l'échantillon, exprimée en pourcentage. La teneur en eau est un facteur important pour adapter les proportions des constituants lors de la formulation des bétons afin d'éviter le phénomène de foisonnement ou la perturbation de la consistance des bétons.

### ❖ *Coefficient d'absorption d'eau :*

Il est défini comme le rapport de l'augmentation de masse de l'échantillon entraînée par imbibition partielle en eau à la masse de matériau sec.

## **b. Caractéristiques chimiques et diverses :**

### ❖ *Réaction alcali-silice (alcali-réaction) :*

Sous ce terme se regroupent toutes les réactions qui peuvent se produire entre les granulats du béton et les alcalins de la pâte de ciment. [3] Les granulats doivent être inertes vis à vis de l'alcali-réaction lorsqu'il y a un risque identifié pour l'ouvrage ou un élément d'ouvrage en béton.

### ❖ *Teneur en chlorure :*

Les ions de chlorure modifient la cinétique d'hydratation du liant et favorisent la corrosion des armatures ou des câbles de précontrainte. Les normes fixent les limites de la teneur en chlorure des bétons en différenciant les bétons non armés, armés, ou précontraints. [4]

❖ ***Friabilité des sables :***

Le coefficient de friabilité des sables est le rapport de la masse  $m$ , des éléments inférieurs à 0.1 mm, produits au cours de l'essai de fragmentation du sable dans un cylindre en rotation à l'aide d'une charge et en présence d'eau, sur la masse de matériau soumis à l'essai. Le rapport est exprimé en pourcentage. [5]

❖ ***Teneur en sulfates :***

Les sulfates solubles (gypse, plâtre) en faible proportion peuvent perturber la prise et modifier les effets des adjuvants (réducteur d'eau). Cette action dépend en fait de la quantité de  $SO_3$  présente dans le béton.

❖ ***Résistance au choc thermique :***

Les granulats doivent être résistants à la chaleur.

**I.1.2.2 Caractéristiques de fabrication :**

Ces caractéristiques résultent des conditions de fabrication, du processus d'élaboration (extraction, fragmentation, séparation granulaire, lavage, criblage ...etc.), de la performance et l'aptitude de travailler correctement au niveau du lieu de fabrication (capacités humaines et matérielles). Ce sont :

**a. La granularité :**

C'est la distribution dimensionnelle des grains contenus dans le granulats, elle sert à classer le granulats.

**b. Classe granulaire :**

La classe granulaire désigne un granulats selon son plus petit diamètre de grain représentatif et son plus grand diamètre de grain représentatif. Cela permet ainsi de différencier les granulats entre eux et de les classer. Cela indique aussi la plage des diamètres de grains couverte par un granulats. Elle est définie par le terme  $d/D$ , réservée à la désignation des granulats dont les dimensions s'étalant de  $d$  à  $D$  où  $d$  est la dimension la plus petite et  $D$  la dimension la plus grande des grains. L'appellation  $d/D$  doit satisfaire aux conditions sur les refus de tamis de maille de diamètre  $D$  et les tamis de maille de diamètre  $d$ .

**c. Courbe granulométrique :**

C'est la distribution pondérale des granulats. On trace la courbe granulométrique sur un graphique comportant en ordonnée le pourcentage des tamis sous les tamis dont les mailles sont indiqués en abscisse selon une graduation semi logarithmique. La série des diamètres de mailles des tamis utilisés est une progression géométrique de raison  $^{10}\sqrt{10} \approx 1,25$ .

L'intérêt de la courbe granulométrique est de donner des informations concernant :

- ✓ La courbure (granulométrie bien graduée ou mal graduée) à l'aide du coefficient de courbure  $C_c$ .
- ✓ L'uniformité (granulométrie serrée ou étalée) à l'aide du coefficient d'uniformité  $C_u$ .
- ✓ La continuité ou la discontinuité. [6]

**d. Forme des granulats :**

❖ *Coefficient volumétrique :*

Pour un grain, c'est le rapport entre le volume  $v$  du grain considéré et la sphère circonscrite de diamètre  $d$ ,  $d$  étant la plus grande dimension du grain.

❖ *Coefficient d'aplatissement :*

Le coefficient d'aplatissement  $A$  est le rapport de la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement  $D_i/2$  en gramme à la somme des masse des granulats élémentaires  $d_i/D_i$  en grammes. Ce rapport représenté ci-dessous est exprimé en pourcentage et arrondi au nombre entier le plus proche.

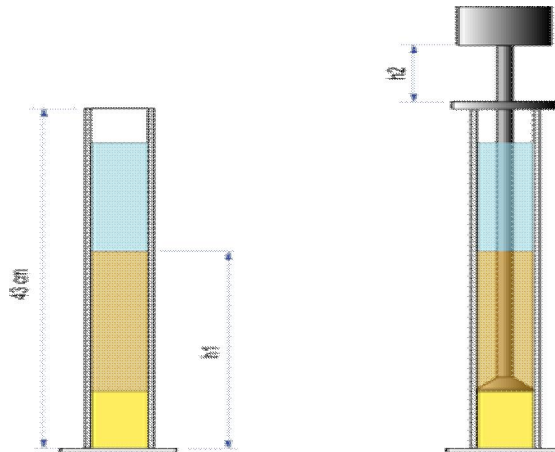
**e. Propriétés des granulats : [7]**

L'appréciation de la propreté des granulats selon leur type, s'établit d'après les essais suivants :

❖ *Équivalent de sable :*

Il permet de mesurer la propreté de la quantité d'éléments fins contenus dans le matériau sans aucune distinction de nature. L'équivalent de sable est le rapport conventionnel volumétrique entre les grains fins et les autres, il permet donc de caractériser l'importance des fines par une valeur numérique. Plus l'équivalent de sable est élevé, moins le matériau contient des éléments fins nuisibles. Il s'applique assez bien aux sols faiblement plastiques et peut s'appliquer à tous

les matériaux grenus, il s'effectue sur les fractions inférieures à 5mm. Pour calculer l'équivalent de sable il existe deux types d'essais : visuel ou au piston.



**Figure I.3: Essai de l'équivalent de sable.**

❖ ***Essai au bleu de Méthylène :***

L'essai au bleu de Méthylène est pratiqué sur la fraction 0/2mm des sables courants ou sur les fillers de fraction 0/0.125mm, un gravillon ou tout venant. Il a pour but de révéler la présence de fines de nature argileuse et d'en déterminer la concentration. Il est généralement effectué après un essai de propreté des sables ou des gravillons lorsque le résultat de celui-ci est inférieur aux spécifications exigées. On appelle valeur de bleu d'un sable ou des fillers la quantité en gramme de bleu de Méthylène adsorbée par 1 kg de fraction 0/2mm pour les sables et de fraction 0/0.125mm pour les fillers.

**f. Module de finesse : [6]**

Le module de finesse est un coefficient permettant de caractériser l'importance des éléments fins dans un granulat, ce module est égal au 1/100 de la somme des refus cumulés exprimé en pourcentage sur les tamis d'une série bien déterminée et normalisée. Le module de finesse est d'autant plus petit que le granulat est riche en élément fins.

**I.1.3 Classification des granulats :**

On peut classer les granulats en fonction de leur granularité déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à maille carrées dans une série normalisée. On distingue plusieurs familles de granulats. [7]

<b>Familles</b>	<b>Dimensions</b>	<b>Caractéristiques</b>
Fillers	0/D	D < 2 mm avec au moins 85 % de passant à 1,25 mm et 70 % de passant à 0,063 mm
Sables	0/D	d = 0 et D ≤ 4 mm
Graves	0/D	D ≥ 6,3 mm
Gravillons	d/D	d ≥ 2 mm et D ≤ 63 mm
<i>Ballasts</i>	<i>d/D</i>	<i>d = 31,5 mm et D = 50 ou 63 mm</i>

**Tableau I.1 : Classification des granulats.**

#### **I.1.4 Type des granulats :**

On peut citer plusieurs types en fonction de plusieurs critères concernant le granulat lui-même.

##### **I.1.4.1 En fonction de leur masse volumique réelle :**

###### **a. Granulats légers :**

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est inférieure à 2 t/m<sup>3</sup>, comme les argiles, les schistes, les laitiers expansés ou encore les pouzzolanes. Ils sont destinés à la préparation des bétons légers.

###### **b. Granulats courants :**

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est entre 2 et 3 t/m<sup>3</sup>, comme les matériaux naturels, alluvionnaires (silex, calcaire dur silico-calcaire) de densité entre 2.5 et 2.7, éruptifs ou sédimentaires (grés, porphyres, diorite, basaltes, ... etc.) de densité entre 2.6 et 3.

###### **c. Granulats lourds :**

Ce sont les granulats dont la masse volumique réelle est supérieure à 3 t/m<sup>3</sup>. Ils sont essentiellement employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour construire des ouvrages nécessitant une protection biologique contre le rayonnement. On utilise en particulier

les barytines, les magnétites qui ont une densité entre 3.4 et 5.1, aussi les riblons et les grenailles de fonte qui ont une densité entre 7.6 et 7.8.

**I.1.4.2 En fonction de leur origine :**

**a. Les granulats naturels :**

Ce sont des matériaux purement naturels, ne subissant aucun traitement autre que mécanique tel qu'extraction, concassage, broyage, criblage, lavage...etc.

**b. Les granulats artificiels :**

Ce sont les granulats qui proviennent de la transformation thermique de roches, de minerais ou de sous-produits industriels (laitiers, scories), ou encore de la démolition d'ouvrages ou de bâtiments divers en béton souvent appelés granulats recyclés.

**I.1.4.3 En fonction de la forme de leurs grains :**

**a. Les granulats concassés :**

Ce sont des granulats provenant du concassage des pierres et dont les grains ont une certaine angularité. Ils sont issus du concassage des roches de porphyres, grés, calcaires, quartzites, de galets concassés et de laitiers.

**b. Les granulats roulés :**

Ils représentent les granulats ayant subis une altération naturelle mécanique due à l'eau, au vent, à l'usure réciproque des granulats lors de leur transportation dans la nature. Il résulte que plus de 90% des surfaces des grains sont arrondies et de provenance alluvionnaire.

**I.1.5 Production des granulats :**

La production des granulats nécessite plusieurs opérations successives sur le même site ou non, selon le site lui-même ou la roche est exploitée. On distingue les opérations suivantes :

**a. Le décapage :**

Décaper, c'est retirer les couches de sol situées au-dessus des niveaux à exploiter :

- ✓ Terre végétale.
- ✓ Roches plus ou moins altérées.
- ✓ Niveaux stériles.

Les matériaux de découverte doivent être stockés indépendamment, de façon à pouvoir être réutilisés lors du réaménagement de la carrière. La prise en compte de la quantité des terrains à découvrir importe dans l'étude d'un gisement.

La découverte s'effectue avec une découpeuse automotrice qui peut en assurer le transport sur 1 km environ, ou avec une pelle associée à des tombereaux.

### **b. L'extraction :**

Elle est en fonction de la nature de la roche exploitée.

#### **1. Roche meuble :**

Cette roche d'origine alluvionnaire se situe près de l'eau ou dans l'eau. On distingue :

- ✓ En site terrestre (milieu sec) : c'est le cas des gisements des granulats alluvionnaires qui se situent au-dessus du niveau de l'eau. L'exploitation se fait à l'aide des engins traditionnels des travaux publics tels que des pelles ou des chargeuses (bulldozers munis d'un large godet basculant).
- ✓ En site émergé (milieu hydraulique) : on utilise des engins flottants tels que drague à godets, à grappin ou drague suceuse.
- ✓ Si le site émergé est peu profond, on utilise des pelles à câble équipées en draglines, des pelles hydrauliques ou des excavateurs à godets. Le dragage ramène à la surface le tout-venant qui est ensuite chargé sur bateaux, sur camions ou sur bandes transporteuses en bord de rive.

#### **2. Roche massive :**

C'est une roche dure, dans ce cas les gisements sont assez compacts et donc l'extraction nécessite l'emploi d'explosifs. On utilise les tirs de mines provoquant l'abattage des roches en éclats (éléments de plusieurs décimètres cubes) qui sont ensuite chargés et transportés au centre de traitement. Procéder à un tir nécessite :

- ✓ Le forage de trous (disposition, nombre)
- ✓ Choix de l'explosif.
- ✓ Le déclenchement du tir.

**c. Concassage et broyage :**

**1. Définition :**

La fragmentation des matériaux se fait par concassage et broyage, le concassage étant la fragmentation grossière et le broyage l'élaboration des sables, petits gravillons et fillers. C'est une opération purement mécanique à l'aide des différents appareils, fonction des différents types de concassage.

**2. L'intervention :**

Cette opération est obligatoire pour les roches massives à cause des grandes dimensions des éléments éclatés (de 0 à 2000 mm). Mais pour les alluvions, elle est exceptionnelle en cas d'utilisation des éléments supérieurs à 40 mm, pour corriger la granularité ou produire des granulats pour assises de chaussées.

**3. Le rôle :**

Le concassage a pour objet de réduire les dimensions pour obtenir la granularité souhaitée et pour améliorer la forme des granulats

**4. Principe de concassage :**

Les concasseurs utilisés se basent sur trois principes de rupture :

- ✓ Rupture par écrasement : se fait entre deux pièces métalliques dont l'une est mobile, soit par translation c'est le cas des mâchoires, soit par rotation c'est le cas des giratoires.

Ce processus est destiné à traiter les produits grossiers sortant du primaire, à élaborer des gravillons gros ou fins ou à produire du sable.

- ✓ Rupture par chocs : se fait contre des pièces mobiles en rotation, soit des marteaux, percussions ou soles tournantes, soit par projection centrifuge mais cette dernière travaille essentiellement par auto broyage. Ce processus est très intéressant du point de vue de la forme des grains. On utilise essentiellement des ruptures par chocs, ce qui donne un excellent affinage de la forme des grains.
- ✓ Rupture sous l'action de charges libres : il s'agit des broyeurs à barres, c'est un appareil uniquement producteur de sable, ces broyeurs sont des appareils travaillant

essentiellement par gravité des charges libres (boulets, barres) ce qui génère des écrasements et des petits chocs qui créent un affinage très favorable à la forme des grains.

**d. Le criblage :**

C'est l'opération permettant de séparer et de classer un ensemble des grains 0/D en sous ensemble 0/D<sub>i</sub> ou d<sub>i</sub>/D<sub>i</sub>. Cette opération est principale et indispensable puisqu'elle va donner les produits finaux commercialisés tels que : sable, gravillons, graves, etc. avec une dénomination précise comme : sable 0/4, sable 0/2, gravillon 6/10, etc.

Le criblage est commun à toutes les installations quel que soit le type de roche exploitée. Pour les roches massives un aspect particulier du criblage est l'élimination de 0/D qui se pratique en amont ou après le débiteur (crible à maille carrées) ou des deux dans le but d'éliminer le maximum de produits argileux.

Le criblage se fait généralement au moyen des cribles vibrants inclinés, qui sont constitués d'un caisson équipé de grilles mises en vibration. Les grilles subissent un mouvement vibratoire imposé aux matériaux qui sont ainsi secoués et avancent par gravité. L'intensité des secousses varie en fonction du type de criblage, la surface de crible conditionne son débit qui est aussi influencé par la granularité de l'alimentation et un éventuel arrosage. La maille effective de crible D est inférieure à la dimension géométrique D<sub>0</sub> de la maille de l'équipement du crible. En général, D est de l'ordre de 0.85 à 0.9 D<sub>0</sub>.

**e. Le lavage :**

Il a pour but d'éliminer les éléments de pollution et l'excès de fines. On peut suivant le degré et le type de pollution faire :

- ✓ Un lavage après extraction (sur gros appareils débourbeurs).
- ✓ Un lavage sur crible le tout-venant ou les gravillons ou les deux ensemble.
- ✓ Un lavage du sable en fin de parcours.

Le lavage des alluvions se fait en partie naturellement par l'extraction sous l'eau, mais il permet aussi une classification des sables en réalisant des séparations impossibles à effectuer par criblage classique, entre 10 et 150 μm.

Des modes de traitement utilisent des courants d'eau entraînant, par gravité, par centrifugation, par courants de surface ou ascendant, ou par vibration, la séparation sable-eau polluée.

Les eaux de lavage nécessitent une récupération (bassins de décantation) voir un traitement pour concentrer les boues et pour qu'elles occupent moins de place.

Dans tous les cas, les eaux de lavage sont ensuite décantées dans des bassins spéciaux, de façon à resservir ou à être restituées propres à la rivière ou au lac.

**Remarque**

Les opérations de criblage et de lavage sont souvent réalisées conjointement, une rampe de jets d'eau étant disposée au-dessus du crible.

**f. Classification granulométrique des produits :**

Les granulats sont classés en fonction de leur granulométrie déterminée par analyse granulométrique sur des tamis de contrôle à mailles carrées dans une série normalisée. Ils sont désignés par  $d$  et  $D$  qui représentent respectivement la plus petite et la plus grande des dimensions des grains constituant le granulat, ils sont appelés fillers, sables, sablons, gravillons, cailloux, ou graves selon leur classe granulaire  $d/D$  ou  $0/D$  lorsque  $d$  est inférieur à 1 mm. C'est l'appellation commerciale des produits.

**g. Stockage et livraison :**

En fin de traitement, une fois réduits, traités et classés, les granulats sont acheminés vers les aires de stockage, soit sous forme de tas individualisés, soit en trémies ou silos. Différents moyens de transports (trains, camions, ou péniche) permettent ensuite de les livrer à la clientèle. Ils peuvent être travaillés sur place dans le cas de centrale à béton ou d'une centrale d'enrobage au bitume, sur le site même de la carrière.

**I.2 Le ciment Blanc :****I.2.1 Introduction :**

Le ciment blanc est un ciment Portland, il est fabriqué à partir des matières premières brutes particulièrement choisies qui sont généralement la craie pure et l'argile blanche (kaolin) contenant de très petites quantités d'oxyde de fer et d'oxyde de manganèse. Le ciment blanc est fréquemment choisi par les architectes pour son utilisation dans la fabrication du béton blanc, blanc cassé ou coloré, qui sera exposé, à l'intérieur ou à l'extérieur des édifices, au regard du public. Il est bien connu que la fabrication du ciment blanc exige un contrôle rigoureux et précis durant l'ensemble des étapes du processus technologique afin d'empêcher la contamination du produit avec le fer, le manganèse, et le titane. Le ciment blanc se caractérise par une teneur extrêmement basse de C4AF (moins de 1,5%) et une teneur élevée de C3S et de C2S. La composition chimique du clinker de ciment Portland blanc en comparaison à celle du clinker du ciment gris est donnée dans le tableau suivant :

<b>Composition</b>	<b>Clinker Gris</b>	<b>Clinker Blanc normal</b>	<b>Clinker blanc Minéralisé</b>
<b>SiO<sub>2</sub></b>	<b>20.8</b>	<b>23.1</b>	<b>23.8</b>
<b>Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>5.5</b>	<b>6.2</b>	<b>2.3</b>
<b>Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub></b>	<b>3.61</b>	<b>0.28</b>	<b>0.27</b>
<b>CaO</b>	<b>65.6</b>	<b>67.8</b>	<b>68.0</b>
<b>MgO</b>	<b>2.13</b>	<b>0.83</b>	<b>0.48</b>
<b>K<sub>2</sub>O</b>	<b>0.91</b>	<b>0.14</b>	<b>0.12</b>
<b>Na<sub>2</sub>O</b>	<b>0.19</b>	<b>0.05</b>	<b>0.04</b>
<b>SO<sub>3</sub></b>	<b>0.87</b>	<b>0.89</b>	<b>0.65</b>
<b>Loi</b>	<b>0.24</b>	<b>0.5</b>	<b>0.9</b>

**Tableau I.2 : Composition Chimique du Clinker Blanc et Gris.**

Le processus de fabrication du ciment blanc est tout à fait semblable à celui du ciment portland gris. Le processus inclut le choix des matières premières, la préparation du mélange cru, la cuisson du clinker, le blanchiment et le refroidissement et le broyage. La production se fait selon des conditions précises, qui sont contrôlées à chaque étape, afin d'éviter les contaminations possibles et les changements peu désirés. Cependant, la principale différence technologique réside dans la combinaison du refroidissement et du blanchiment, nécessaires pour améliorer la blancheur du ciment et garantir l'homogénéité de la couleur. Le ciment Portland blanc a donc essentiellement les mêmes propriétés que le ciment gris, excepté la couleur. La blancheur du ciment blanc est une des caractéristiques les plus importantes. Les spécifications de la blancheur font ressortir les grades suivants :

- ✓ 1er Grade : blancheur > 80%.
- ✓ 2ème Grade : blancheur de 75 à 80%.
- ✓ 3ème Grade : blancheur de 68 à 75%. [8]

**Figure I.4 : Ciment blanc Malaki.**

### **I.2.2 Performances et caractéristiques normalisées :**

Les caractéristiques du ciment blanc sont les mêmes que celles du ciment gris à l'exception de la teinte, mais les spécifications normatives diffèrent d'un pays à l'autre et tiennent compte des technologies existantes. Nous donnons ci-après à titre d'illustration, les types, classes et certaines caractéristiques du ciment blanc pour montrer l'intérêt de la normalisation et du contrôle qui sont seuls capables d'offrir un ciment blanc de qualité et une régularité de sa production.

**I.2.2.1 Types, classes et domaines d'application :**

<b>Types</b>	<b>Classes</b>	<b>Domaines d'application</b>
<b>Ciment Portland blanc au calcaire</b>	CEM II/A-LL 42,5 N	Constitué de clinker Portland et de calcaire blancs, le CEM II/A-LL 42,5 N couvre tous les usages courants.
<b>Ciment Portland Blanc</b>	CEM I 42,5 N LA CEM I 52,5 N LA CEM I 52,5 R LA	Le ciment Portland blanc peut être obtenu en diverses classes de résistance, permettant de couvrir tous les cas particuliers d'application

**Tableau I.3 : Types, classes et domaines d'application de ciment blanc.**

**I.2.3 Propriétés physiques et mécaniques :**

Les ciments blancs doivent répondre à toutes les performances physiques et Mécaniques exigées par la norme EN 197 (Ciments). Au lieu de reproduire les Spécifications de cette norme.

**I.2.3.1 Résistances à la compression en MPa :**

<b>Classes</b>	<b>À 2 jours</b>	<b>À 7 jours</b>	<b>À 28 jours</b>
<b>CEM II/ A-LL 42,5 N</b>	28	41	52
<b>CEM I 42,5 N LA</b>	25	42	57
<b>CEM I 52,5 N LA</b>	32	50	64
<b>CEM I 52,5 R LA</b>	40	-	66

**Tableau I.4 : Résistances à la compression en MPa.**

<b>Classes</b>	<b>Début de prise</b>	<b>Fin de prise</b>
CEM II/ A-LL 42,5 N	150	200
CEM I 42,5 N LA	180	220
CEM I 52,5 N LA	160	200
CEM I 52,5 R LA	150	180

**I.2.3.2 Temps de prise en min :**

**Tableau I.5 : Temps de prise en min.**

**I.2.3.3 Teinte Blanche :**

<b>Classes</b>	<b>Luminosité moyenne (en %)</b>
CEM II/ A-LL 42, 5 N	85
CEM I 42, 5 N LA	82
CEM I 52,5 N LA	84
CEM I 52,5 R LA	86

**Tableau I.6 : Teinte Blanche de ciment blanc.**

**I.2.4 Propriétés chimiques :**

Une autre conséquence de la pureté de leurs matières premières est que les ciments blancs présentent une teneur particulièrement faible en alcalis. Cette propriété permet de les utiliser en combinaison avec tous les granulats traditionnels, sans risque de réaction entre les alcalis du ciment et des granulats. La particule “LA” témoigne de la teneur limitée en alcalis des ciments

Portland blancs, selon la norme NBN B 12-109. Bien que cette même norme ne prévoise pas les ciments Portland au calcaire dans la liste des ciments LA, la teneur en alcalis du CEM II/ A-LL 42,5 N blanc est bien inférieure à la limite 0,6%.

**I.2.4.1 Propriétés chimiques du ciment portland blanc :**

<b>Composants</b>	<b>Norme Egyptienne Es.1031-6/2000</b>	<b>En197-1 :2000 CEM1 52,5</b>
Mgo	3.5% maximum.	4.5% maximum.
Cl	-	0,10% Maximum
Résidus Insolubles	1,5% Maximum	5% maximum.
Perte au Feu	4% maximum	5% maximum.
Facteur de Saturation de Chaux	0,66-1,02	-

Tab  
lea  
u  
I.7 :  
Pro  
prié  
tés  
chi  
miq  
ues  
du  
cim  
ent  
por  
tlan  
d

**blanc.**

Une teneur élevée en C3S et une finesse appréciable (4000-4500 cm<sup>2</sup>/g) fournissent d'importantes résistances mécaniques du ciment blanc à tous les âges. En raison de la teneur relativement élevée de C3A (jusqu'à 15%), les mortiers et le béton au ciment blanc sont très susceptibles aux déformations de retrait. L'utilisation des agrégats de haute qualité et la formulation des mélanges de mortier et de béton à faible rapport E/C et à faible dosage en ciment est recommandé pour surmonter ce problème.

La carbonatation de la solution de Ca(OH)<sub>2</sub> qui migre à travers les pores et les capillaires de la pâte durcie du ciment vers la surface des éléments et les parements s'est avérée une des raisons principales de la formation des efflorescences.

Afin d'éviter les efflorescences, il a été proposé l'addition de diatomite à haute teneur en SiO<sub>2</sub> ou de la fumée de silice blanche. Comme alternative, l'utilisation d'adjuvant hydrophobe lors du broyage de ciment s'est avérée très efficace dans l'élimination des efflorescences.

### **I.3 Adjuvants :**

#### **I.3.1 Introduction :**

Un adjuvant est un produit qui s'incorpore au moment du malaxage du béton à un dosage inférieur ou égal à 5 % en masse de la teneur en ciment du béton, pour modifier les propriétés du béton à l'état [9] frais et/ou durci. Les adjuvants permettent, selon le cas :

- ✓ d'améliorer les conditions de mise en œuvre du béton.
- ✓ d'améliorer les performances mécaniques.
- ✓ d'augmenter la durabilité des bétons. Les adjuvants sont devenus un constituant à part entière du béton. La majorité des adjuvants répond à des critères particuliers leur permettant d'être classés, au sein des normes, en familles de produits en fonction de leur action sur le béton : pendant la phase plastique (maniabilité) ou pendant la phase durcie.

#### **I.3.2 Différentes familles d'adjuvants :**

##### **I.3.2.1 Modification du comportement du béton frais :**

Les familles sont :

- ✓ Plastifiant/réducteur d'eau.
- ✓ Superplastifiant/haut réducteur d'eau.

Le but de ces deux familles est double :

- ✓ soit de diminuer la quantité d'eau superflue, tout en assurant une maniabilité permettant d'améliorer les conditions de mise en place.
- ✓ soit, pour une quantité d'eau donnée, d'augmenter la fluidité d'un béton tout en réduisant un excès d'eau néfaste à la qualité de celui-ci ; - soit de faire un compromis entre ces deux fonctions. Le choix de la famille de produits est fonction des exigences de

maniabilité, de résistance et de durabilité requises. Dans le cas des bétons très fluides tels que les bétons pompés, autonivelants et autoplaçants, et afin d'éviter toute ségrégation, tout ressuage et tassement, il est conseillé d'ajouter :

- agents de cohésion.
- rétenteur d'eau.

### **I.3.2.2 Modification de la prise et du durcissement :**

Ces familles d'adjuvants agissent sur la cinétique d'hydratation du ciment en l'accéléralant ou en la retardant.

- **Accéléralateurs de prise sans chlore** : Leur fonction consiste à réduire le temps de prise, temps nécessaire pour passer de l'état plastique à l'état rigide. Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps froid afin de limiter les effets des basses températures qui retardent naturellement la prise.
- **Accéléralateurs de durcissement sans chlore** : Leur fonction consiste à accélérer le développement des résistances mécaniques pour aboutir plus rapidement au niveau de résistance exigé.
- **Accéléralateurs de prise et de durcissement chlorés** : Les accéléralateurs contenant du chlore sont très efficaces mais leur emploi est à éviter dans le béton armé. En effet, les chlorures favorisent la corrosion de l'acier. Ces produits ne sont pas normalisés et leur emploi est réglementé. Ils seront interdits d'usage dans le béton armé lorsque sera mise en vigueur la norme européenne EN 206-1.- Béton. Performances, production et conformité, adoptée cette année.
- **Retardateurs de prise** : Leur fonction consiste à augmenter le temps de prise du ciment pour éviter des « raidissements » (perte de maniabilité) précoces du béton.

Ils sont recommandés pour des bétonnages par temps chaud afin de limiter les effets des fortes températures, qui accélèrent naturellement la prise. Ces familles d'adjuvants sont généralement couplées dans le béton avec un plastifiant/réducteur d'eau ou un superplastifiant/haut réducteur d'eau.

### **I.3.2.3 Modification du comportement du béton durci :**

- **Hydrofuges de masse** : Leur fonction consiste à rendre le béton plus imperméable et moins sensible aux absorptions capillaires (béton en contact avec de l'eau).
- **Entraîneurs d'air** : tout béton contient un certain volume d'air résiduel appelé air acclus (en général, 1 à 2 % en volume). [10]

Leur fonction consiste à introduire un réseau de microbilles d'air calibrées dans le béton. Ces bulles occuperont un volume suffisant pour servir de « vase d'expansion » à l'eau contenue dans le béton en période de gel. (Béton soumis à des températures très basses ou à des cycles gel/dégel réguliers).

### **I.3.3 Familles d'adjuvants à effets spécifiques :**

Il existe également des adjuvants pour lesquels il n'y a à ce jour aucune norme de caractérisation. Ces produits sont destinés à des bétons particuliers. Par exemple :

- ✓ agent de cohésion (pour la fabrication de béton autonivelants ou autoplaçants).
- ✓ agent de pompage (pompage longue distance, béton coulé sous l'eau).
- ✓ agent de remplissage (béton sec préfabriqué).
- ✓ inhibiteur de corrosion.

La norme XP P 18-340, en cours d'étude, couvrira l'ensemble des adjuvants spéciaux pour bétons.

#### **I.3.3.1 Choix des adjuvants pour les bétons colorés :**

Les adjuvants, bien qu'introduits en faible quantité dans le béton, peuvent modifier sa coloration. Il est essentiel de vérifier que la couleur de l'adjuvant est compatible avec la teinte finale du béton, surtout lorsqu'il s'agit d'un béton blanc ou clair, que l'ajout d'accélérateur ou de retardateur, selon les conditions de température, n'entraîne pas d'altération de la teinte du béton. S'assurer également qu'à long terme les rayons ultraviolets n'altèrent pas la teinte. [11]

## **I.4 Pigments de coloration :**

### **I.4.1 Définition :**

Les pigments sont des éléments fins dont le but est de modifier la teinte des mortiers et des bétons dans lesquels ils sont dispersés. [11]

### **I.4.2 Qualités et propriétés des pigments pour bétons apparents.**

- ✓ Stabilité chimique vis-à-vis du ciment, des granulats et des adjuvants.
- ✓ Insolubilité dans l'eau.
- ✓ Insensibilité à la lumière.
- ✓ Insensibilité aux températures extrêmes auxquelles est soumis le béton.

Pouvoir colorant suffisant pour limiter le dosage en pigment. Un fort pourcentage de pigment risque d'affecter les résistances mécaniques du béton.

**Figure I.5 : Béton coloré.**

### **I.4.3 Différentes variétés de pigments :**

Les colorants organiques répondent rarement aux critères de qualité ci-dessus. Les pigments minéraux appropriés sont presque toujours des oxydes métalliques.

### **I.4.3.1 Pigments de synthèse :**

Ce sont principalement des oxydes de fer, chrome, cobalt ou titane. Choisir des oxydes purs de préférence aux mélanges colorants plus chargés. Rechercher des pigments à fort pouvoir colorant (le pouvoir colorant dépend non seulement de la nature et de la pureté du pigment mais aussi de sa finesse et de son pouvoir de dispersion). Les pigments sont disponibles soit secs (en poudre, en granulés ou en microbilles), soit en suspension dans l'eau (slurry). Les granulés et la suspension facilitent la dispersion et surtout le dosage des pigments.

### **I.4.3.2 Pigments naturels :**

Ce sont des « terres » colorées naturellement par des oxydes ou hydroxydes métalliques (fer notamment). Les plus connus sont les ocres. Il existe des pigments naturels convenablement traités et affinés qui donnent de bons résultats tant esthétiques que techniques. Leur pouvoir colorant, en revanche, sera toujours inférieur à celui des oxydes purs. On s'assurera auprès du producteur de la qualité de ses installations de traitement et de contrôle et on respectera ses indications en matière de mise en œuvre.

### **I.4.4 Paramètres intervenant dans la coloration :**

Sont déterminants pour la teinte d'un béton : les sables et les granulats, le ciment et les pigments éventuels ainsi que la mise en œuvre de ce béton et son traitement ultérieur de surface. L'effet de coloration est affecté par :

- ✓ la teneur en pigment jusqu'à un seuil appelé point de saturation. D'une manière générale, on ne dépassera pas 4 % du poids de ciment en extrait sec.
- ✓ le rapport eau/ciment. Plus ce rapport est élevé, plus le béton s'éclaircit. Toute variation, même minime, du rapport E/C, entraîne une variation de teinte du béton.
- ✓ les conditions de durcissement, notamment dans les premiers jours : température, hygrométrie, délai de décoffrage.
- ✓ les sables et les gravillons qui apportent une certaine quantité d'oxydes naturels.

### **I.4.5 Choix et définition des teintes :**

Avant de définir la teinte d'un béton, on doit s'assurer qu'elle peut être obtenue avec des pigments fiables mélangés dans des proportions raisonnables. Les éprouvettes d'étude puis de définition des teintes auront des dimensions suffisantes pour être observées sous divers éclairages, en fonction de la destination de l'ouvrage. Elles seront soumises à l'agrément du

maître d'œuvre. Elles seront réalisées dans les mêmes conditions que celles prévues pour l'ouvrage définitif. Les formules et le poids, les méthodes de mise en œuvre, le traitement de surface et les conditions de conservation seront soigneusement précisés et seront aussi proches que possible de la réalité du chantier. L'appréciation sera faite sur des éprouvettes âgées de plus d'un mois.

### **I.4.6 Mise en œuvre des pigments :**

#### **I.4.6.1 Solides :**

Comme tous les éléments fins, les pigments ont tendance à s'agglomérer, ce qui implique :

- ✓ que le dosage pondéral soit impérativement tenu.
- ✓ que le malaxage soit exécuté toujours dans les mêmes conditions : malaxer une minute à sec les pigments et granulats, ajouter le ciment, puis malaxer à nouveau et ajouter l'eau.

Si des sachets délitables sont utilisés, ce qui garantit le dosage pondéral, les ajouter sur les granulats dans le malaxeur. Si les sachets sont mis dans la toupie, elle doit assurer un malaxage à grande vitesse d'une minute par mètre cube (cinq minutes au minimum).

**Figure I.6 : pigment solide.**

#### **I.4.6.2 Liquides (phase aqueuse) :**

Le colorant liquide est introduit en même temps que l'eau de gâchage, ou mieux, en mélange. Très fins, les pigments sont facilement entraînés par les migrations de l'eau de gâchage pendant la mise en place. On doit, de ce fait, composer des bétons à E/C très faible et limiter le temps de vibration. Il faut s'assurer également de la parfaite étanchéité des coffrages et des moules. Les bétons pigmentés font donc presque toujours appel aux plastifiants réducteurs d'eau. Les

pigments contribuant à la granulométrie du béton dans la plage des superfines ( $< 1 \mu\text{m}$ ), il en sera tenu compte dans la définition d'un béton coloré. Faire attention aux changements de teinte qui peuvent être apportés par les adjuvants.

**Figure I.7 : pigment liquide.**

### **I.5 L'eau de gâchage :**

Les caractéristiques de l'eau de gâchage sont normalisées par la norme NF P 18-303 de 1941. Une prochaine norme (dont le numéro pourrait être EN 1008), en cours de préparation. Précisera les critères d'évaluation retenus pour juger de son aptitude à être utilisée pour la confection des bétons. L'ancienne norme étant très sommaire, les indications qui suivent donnent des précisions sur les critères qui pourraient être retenus, dans le futur document, pour définir la qualité d'une eau et les valeurs limites à respecter suivant les types de bétons à confectionner.

#### **I.5.1 Convenances :**

Pour convenir à la confection de bétons. Les eaux ne doivent contenir ni composés risquant d'attaquer chimiquement le ciment. Les granulats ou les armatures. ni particules en suspension dont la quantité pourrait modifier ses qualités originelles, la norme P 18-303 limite à cet effet le pourcentage de matières en suspension à 2 ou 5 g/l et la teneur en sels dissous à 15 ou 30 g/l suivant la nature du béton, précontraint ou non arme, spécifications qui ne différencient pas les éléments nocifs même en très faible pourcentage de ceux qui en pourcentage éventuellement plus important ne le sont pas.

#### **I.5.2 Les catégories de l'eau de gâchage :**

- ✓ Les eaux potables (qui bien évidemment conviennent).

- ✓ Les eaux de recyclage provenant du rinçage des bétonnières ou des camions malaxeurs à condition de vérifier leur aptitude dans le cas de changement de ciment ou d'adjuvant d'une gâchée à l'autre, sont utilisables. Lorsque ces eaux comportent des éléments fins provenant des matériaux entrant dans la confection des bétons (ciments, Fines des sables...), il est possible de les utiliser après passage dans des bassins de décantation.
- ✓ Les eaux de pluie et de ruissellement, les eaux pompées, Tant qu'elles restent conformes aux prescriptions de la norme conviennent également.

### **I.5.3 Les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent :**

- ✓ Les eaux usées.
- ✓ Les eaux vannes ou contenant des détergents.
- ✓ Les eaux industrielles susceptibles de contenir des rejets organiques ou chimiques.

Ces différentes eaux doivent obligatoirement subir des analyses concluant à leur non- nocivité avant tout emploi.

La norme autorise l'emploi d'eau de mer dans la confection des bétons qui ne sont ni armés ni précontraints, mais les spécifications du fascicule 65 A sont plus rigoureuses et en interdisent formellement l'emploi lors du gâchage. Bien que les textes officiels ne traitent pas de ce sujet, l'utilisation d'eau de mer pour le gâchage de bétons non armés ne présente pas de risque quant à la pérennité de l'ouvrage, seules des efflorescences, dues à une migration des sels, pouvant apparaître sur les parements.

### **I.5.4 Importance du rapport eau/ciment (E/C) :**

Les dosages de l'eau et du ciment sont deux facteurs importants. En effet, l'ouvrabilité et la résistance sont grandement affectées par ces deux paramètres. Plus le rapport eau/ciment est grand, plus l'ouvrabilité sera grande. En effet, plus il y a d'eau, plus le béton aura tendance à remplir aisément les formes. Le rapport des masses E/C « moyen » est normalement fixé à 0,55. C'est ce rapport qui est le plus souvent utilisé, car le béton obtenu dispose d'une assez bonne ouvrabilité, tout en ayant une bonne résistance

Le phénomène de ressuage est dû à un rapport eau sur ciment trop élevé. Il se manifeste par l'apparition d'une flaque au-dessus du béton frais. Au niveau des granulats, on observe la présence d'eau à l'interface entre les granulats et la pâte de ciment. La résistance en est réduite, car l'eau s'évapore et il y a des vides entre le granulat et la pâte. [12]

**I.6 Le béton :**

**I.6.1 Définition :**

Le béton est un matériau composite. Il est constitué de plusieurs matériaux différents, qui deviennent homogènes entre eux, soit à la mise en œuvre (béton frais), soit après durcissement (béton durci). Ses composants sont déterminés dans des proportions étudiées afin d'obtenir des propriétés souhaitées telles que la résistance mécanique, la consistance, la durabilité, l'aspect architectural (formes, teintes, textures), la résistance au feu, l'isolation thermique et phonique, et ceci en utilisant des méthodes spécialisées dites « méthodes de formulation du béton ».

La structure du béton est composée de deux principaux constituants (les granulats et la matrice) :

- ✓ Les granulats représentent en moyenne 70% à 80% du volume du béton, on les trouve sous forme de sables, de graviers ou de cailloux. Ils sont considérés comme un renfort mécanique, et ils sont traités comme des inclusions.
- ✓ La matrice liante enrobe et lie les granulats entre eux. Elle est formée d'une structure complexe poreuse source d'échanges internes et externes.

**I.6.2 Types de bétons :**

La classification des bétons se fait suivant différents critères, comme :

**I.6.2.1 Leur destination :**

<b>Types de béton</b>	<b>Destination</b>
Bétons compactés	bétons spéciaux pour réaliser certain type de barrage (barrages poids)
Bétons projetés	Pour réaliser les travaux miniers et souterrains, pour la réparation des ouvrages détériorés
Bétons de	destinés à la construction courante des bâtiments ou des ouvrages de

construction	faible importance
Bétons autoplaçants	Pour les ouvrages présentant un ferrailage vraiment dense ou d'une forme variable difficile à mouler (courbures multiples).
Bétons sous l'eau	Pour la construction ou la réparation des barrages, les structures portuaires, les tunnels
Bétons fibrés	Pour les dallages (fibres métalliques), piste d'aéroport ou des pièces techniques telles que les tuyaux, gaines (fibres de verre).

**Tableau I.8 : Types de béton en fonction de leur destination. [13]**

**I.6.2.2 Leur masse volumique :**

Selon la classification européenne, il y a trois classes de béton qui sont représentées ci-dessous dans le tableau suivant :

<b>Types de béton</b>	Béton léger	Béton normal	Béton lourd
<b>Masse volumique (kg/m<sup>3</sup>)</b>	De 800 à 2000	De 2000 à 2600	Supérieure à 2600

**Tableau I.9 : Types de béton en fonction de leur masse volumique. [14]**

**I.6.2.3 Leur granularité :**

La classification se fait en fonction de la dimension maximale des granulats  $D_{max}$  :

<b>Classes du béton</b>	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
<b><math>D_{max}</math></b>	$8 \leq D_{max} < 16$	$16 \leq D_{max} < 31.5$	$31.5 \leq D_{max} < 63$

**Tableau I.10 : Types de béton en fonction de  $D_{max}$ . [9]**

**I.6.2.4 Leur consistance (cône d'Abrams) :**

Elle est définie en utilisant le cône d'Abrams, et on obtient les cinq classes suivantes :

<b>Affaissement (A) en cm</b>	<b>Classe des bétons</b>
0 à 2	Très ferme
3 à 5	Ferme
6 à 9	Plastique
10 à 13	Mou
>14	Très mou

**Tableau I.11 : Types de béton en fonction de leur consistance. [15]**

**I.6.3 Propriétés du béton :**

Le béton doit être considéré sous deux aspects :

- ❖ **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.
- ❖ **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.6.3.1 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. [16] 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 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. [17]

L'ouvrabilité peut s'apprécier de diverses façon et en particulier par des mesures de plasticité. Il existe de nombreux essais et tests divers permettant la mesure de certaines caractéristiques dont dépend l'ouvrabilité. Nous n'en citerons que quelques-uns, les plus couramment utilisés dans la pratique. [18]

#### **I.6.3.1.1 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. [19]

**Figure I.8 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams. [19]**

#### **I.6.3.1.2 La masse volumique du béton frais : [20]**

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 vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = m_2 - m_1 / V$$

- ✓ **D** : est la masse volumique du béton frais (kg/m<sup>3</sup>)
- ✓ **m<sub>1</sub>** : est la masse du récipient (kg).
- ✓ **m<sub>2</sub>** : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).
- ✓ **V** : est le volume du récipient en mètre cube (m<sup>3</sup>).

**Figure I.9 : Béton frais.**

### **I.6.3.2 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, voire des années.

- ✓ 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.
- ✓ Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton.
- ✓ Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

#### **I.6.3.2.1 Résistance à la compression : [21]**

Parmi toutes les sollicitations mécaniques, la résistance du béton en compression uni-axiale a été la plus étudiée, vraisemblablement parce qu'elle projette généralement une image globale de la qualité d'un béton, puisqu'elle est directement liée à la structure de la pâte de ciment hydratée. De plus, la résistance du béton en compression est presque invariablement l'élément clé lors de la conception des structures en béton et lors de l'établissement des spécifications de conformité.

Un béton est défini par la valeur de sa résistance caractéristique à la compression à 28 jours,  $f_{c28}$ . La résistance à la compression du béton est mesurée par la charge conduisant à l'écrasement par compression axiale d'une éprouvette cylindrique de 16 cm de diamètre et de 32 cm de hauteur. Les éprouvettes sont chargées jusqu'à rupture dans une machine pour essai de

compression, La charge maximale atteinte est enregistrée et la résistance en compression calculée.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_c = F/A_c$$

Où :

- ✓  $f_c$  : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)
- ✓  $F$  : charge maximale, exprimée en Newtons
- ✓  $A_c$  : 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.

#### **I.6.3.2.2 Résistance à la traction par flexion [22]**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points.

**Figure I.10 : Essai de traction par flexion**

#### **I.6.4 Différents types de béton :**

- ✓ Les Bétons prêts à l'emploi.
- ✓ Le béton armé.
- ✓ Le béton fibré
- ✓ Le béton précontraint.

- ✓ Les bétons hauts performances.
- ✓ Le béton projeté.
- ✓ Les bétons auto compact, auto plaçant, auto nivelant.
- ✓ Les bétons caverneux.
- ✓ Le béton décoratif.

**Chapitre II :**  
**Caractéristique des matériaux**

### **Introduction :**

Nous présentations dans ce chapitre les caractéristique des matériaux utilisés pour la confection du béton, ainsi que les essais exécutés au laboratoire de génie civil de l'université de M'sila.

### **II.1 Caractéristiques du sable utilisés :**

Nous allons décrire physiquement le sable utilisé, dont les caractéristiques sont déterminées expérimentalement selon les normes françaises.

Dans cette étude, on a utilisé deux types de sable, sable de dune (SD) de la région de (OUED MAITER) de BOUSAADA (M'SILA), et sable concassée de la carrière de MAAZA.

#### **II.1.1 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

L'analyse granulométrique est effectuée après l'élimination des particules supérieures à 5 mm et inférieures à 0.02 mm avec le passage de sable sur les tamis (5 mm et 0.02 mm).

Les résultats d'analyse granulométrique du sable utilisé sont représentés dans les tableaux et la Figure (III.2).

##### **❖ But de l'essai Analyse granulométrique :**

L'analyse granulométrique permet de détecter et miner la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles de grains constituant l'échantillon. Elle s'applique à tous les granulats de dimension nominale inférieure ou égale à 63mm, à l'exclusion des filets. [23]

A notre qu'il faut éviter la confusion entre la granulométrie qui s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité qui concerne la distribution dimensionnelle des graines d'un granulat. L'analyse granulométrique a trois buts :

- ✓ Déterminer les dimensions des grains.
- ✓ Déterminer les proportions de grains de même dimension.
- ✓ En déduire le module de finesse (MF).

##### **❖ Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrés, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire horizontal, ainsi que des secousses verticales, a la colonne de tamis.

**Figure II.1 : Tamis de l'analyse granulométrique.**

❖ **Mode opératoire :**

- ✓ Prélever (2 kg) de 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 : 5-2.5-1.25-0.63-0.315-0.125-0.08. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion de poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- ✓ Verser le sable sec sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 10 mn. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- ✓ Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse de tamis (1) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  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 cumulé du tamis 2 ( $R_2 = R_1 + \text{refus partiel sur tamis 2}$ ).
- ✓ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4 \dots$

Le tamisât cumulés est donné la relation suivante :

$$T=100-Rc$$

Avec :

- ✓ T : tamisât en %.
- ✓ Rc : refus cumulés en %.

Les résultats sont les tableaux suivants :

❖ *Sable de dune 100% :*

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât cumulés (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	11	11	0.55	99.45
1.25	112	123	6.15	93.85
0.63	238	361	18.05	81.95
0.315	681	1042	52.1	47.9
0.160	903	1945	97.25	2.75
0.08	41	1986	99.3	0.7
Fines	11	1997	99.85	0.15

**Tableau II.1 : Analyse granulométrique de sable de dune.**

❖ *Sable mixte (50% SD ; 50% SC) :*

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât cumulés (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	12	12	0.6	99.4
1.25	378	390	19.5	80.5
0.63	359	749	37.45	62.55
0.315	515	1264	63.2	36.8
0.160	578	1842	92.1	7.9
0.08	142	1984	99.2	0.8
Fines	14	1998	99.9	0.1

**Tableau II.2 : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 50% ; SC 50%).**

❖ *Sable mixte (60% SD ; 40% SC) :*

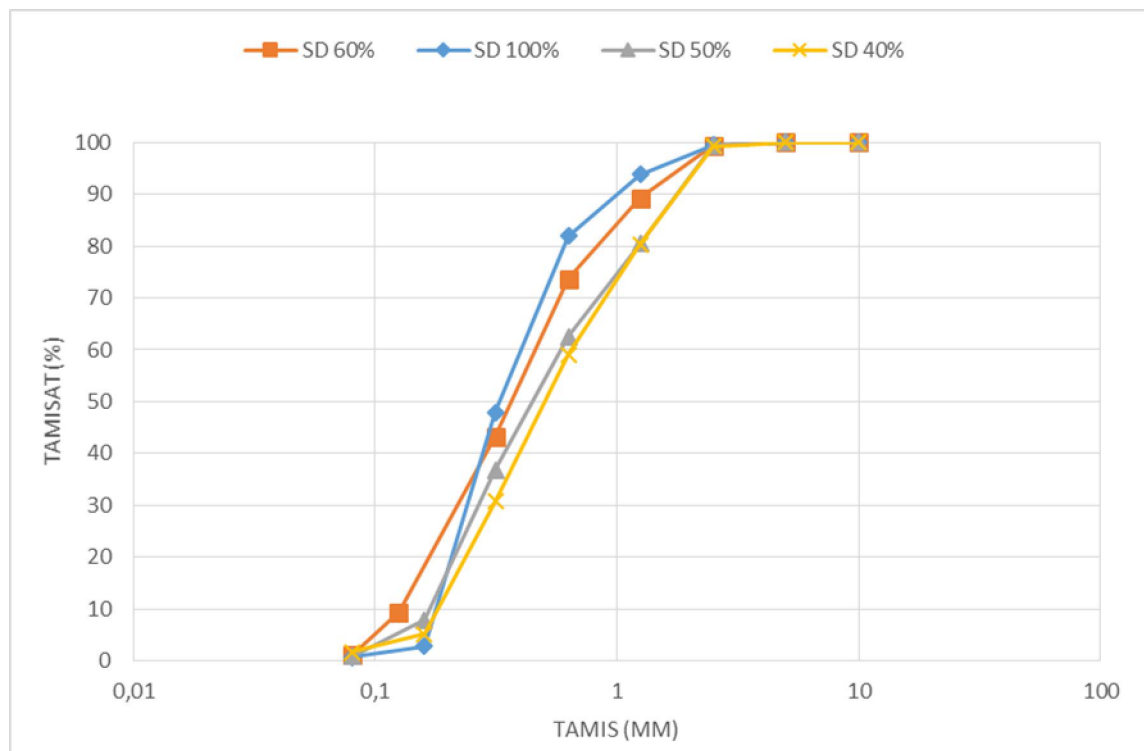
Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât cumulés (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	12	12	0.6	99.4
1.25	292	214	10.7	89.3
0.63	302	526	26.3	73.7
0.315	601	1135	56.75	43.25
0.160	667	1812	90.6	9.4
0.08	117	1979	98.95	1.05
Fines	19	1998	99.9	0.4

**Tableau II.3 : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 60% ; SC 40%).**

❖ *Sable mixte (40% SD ; 60% SC) :*

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât cumulés (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	15	15	0.75	99.25
1.25	379	394	19.7	80.3
0.63	425	819	40.95	59.05
0.315	565	1384	69.2	30.8
0.160	514	1898	94.9	5.1
0.08	69	1967	98.35	1.65
Fines	28	1995	99.75	0.25

**Tableau II.4 : Analyse granulométrique de sable mixte (SD 40% ; SC 60%).**



**Figure II.2 : Courbe granulométrique de sable mixte.**

**II.1.2 Module de finesse :**

Correspond à la somme des pourcentages des refus cumulés des tamis d'ouvertures (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5) (mm). Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P 18-540).

Les normes soviétiques spécifient le Module de finesse des sables comme suit :

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

Il est donné par la relation suivant :

$$MF = 1/100 \sum R_c (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5-5)$$

Les résultats des sables mixtes dont le tableau suivant :

Sable mixte	0% SC	40% SC	50% SC	60% SC
MF	1.74	1.85	2.12	2.25

**Tableau II.5 : Module de finesse des sables mixtes.**

**II.1.3 Masse volumique absolue :**

Elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains. [24]

❖ *Mode opératoire :*

La masse volumique absolue de sable est déterminée à l'aide d'un récipient de 1000 cm<sup>3</sup> on prend 3 échantillons de masse 300g.

On place l'échantillon dans le récipient de capacité 1000 ml et on y verse 250 ml d'eau, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y excite.

Après cette opération, on détermine le volume finale occupé par le mélange sable-eau, soit (V) ce volume.

Dance le volume occupé par le sable seul c'est :

Volume de sable =  $V_1 = V - V_e$        $V_e=250 \text{ cm}^3$

La masse volumique absolue du sable et calculée par la formule :

$$\rho_s = M / V_1 \quad M = 300\text{g}$$

Sable mixte	N° d'essai	M (g)	$V_e$ (ml)	V (ml)	$\rho_s$ [g/cm <sup>3</sup> ]	$\rho_s$ (moy) [g/cm <sup>3</sup> ]
0% SC	1	300	250	367	2.56	2.58
	2	300	250	366	2.58	
	3	300	250	365	2.60	
40% SC	1	300	250	365	2.6	2.60
	2	300	250	364	2.63	
	3	300	250	367	2.56	
50% SC	1	300	250	365	2.61	2.605
	2	300	250	365	2.61	
	3	300	250	366	2.59	
60% SC	1	300	250	364	2.63	2.61
	2	300	250	365	2.61	

❖ *Résultats obtenus :*

	3	300	250	366	2.59	
--	---	-----	-----	-----	------	--

**Tableau II.6 : Résultats de la masse volumique absolue des sables mixte.**

**Figure II.3 : Essai de la masse volumique absolue.**

#### **II.1.4 La masse volumique apparente à l'état lâche :**

La masse volumique apparente du sable, c'est la masse à l'état naturel du matériau rapportée à l'unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

❖ *Mode opératoire :*

On détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardiste de capacité 2 à 2.5 L.

- ✓ On remplit l'entonnoir avec sable sec.
- ✓ On pèse le récipient vide de capacité 0.9 L, soit M1 ce poids.
- ✓ En place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- ✓ On nivelle la surface du sable et on pèse le tout soit M2 ce poids...

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

$$\rho_{app} = (M_2 - M_1) / V_r$$

Avec :

- ✓ M1 : Masse du récipient vide.

- ✓ M<sub>2</sub> : Masse du récipient plus le sable.
- ✓ V<sub>r</sub> : Volume du récipient.

**Figure II.4 : Essai de la masse volumique apparent.**

Résultats obtenus dont le tableau suivant :

<b>Sable mixte</b>	<b>N° d'essai</b>	<b>M<sub>1</sub> (g)</b>	<b>M<sub>2</sub> (g)</b>	<b>V<sub>r</sub> (ml)</b>	<b>ρ<sub>app</sub> [g/cm<sup>3</sup>]</b>	<b>ρ<sub>app</sub> (moy) [g/cm<sup>3</sup>]</b>
<b>0% SC</b>	1	117	1402	900	1.427	<b>1.417</b>
	2		1386		1.41	
	3		1391		1.415	
<b>40% SC</b>	1	117	1429	900	1.457	<b>1.465</b>
	2		1434		1.463	
	3		1446		1.476	
<b>50% SC</b>	1	117	1443	900	1.473	<b>1.482</b>
	2		1463		1.495	
	3		1448		1.478	
<b>60% SC</b>	1	117	1468	900	1.501	<b>1.496</b>
	2		1461		1.493	
	3		1464		1.496	

**Tableau II.7 : Masse volumique apparente de sable mixte.**

**II.1.5 Masse volumique apparente à l'état compact :**

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

❖ **Mode opératoire :**

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

$$\rho_c = (M_2 - M_1) / V_r$$

Avec :

- ✓  $M_1$  : Masse du récipient vide.
- ✓  $M_2$  : Masse du récipient plus le sable.
- ✓  $V_r$  : Volume du récipient.

Résultats obtenue :

Sable mixte	N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$V_r$ (ml)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ (moy) (g/cm <sup>3</sup> )
<b>0% SC</b>	1	117	1680	900	1.736	<b>1.748</b>
	2		1706		1.765	
	3		1687		1.744	
<b>40% SC</b>	1	117	1667	900	1.722	<b>1.765</b>
	2		1721		1.782	
	3		1730		1.792	
<b>50% SC</b>	1	117	1729	900	1.791	<b>1.773</b>
	2		1708		1.767	
	3		1702		1.761	
<b>60% SC</b>	1	117	1715	900	1.775	

	2		1757		1.822	<b>1.799</b>
	3		1738		1.801	

**Tableau II.8 : Résultats de la masse volumique apparente des sables mixte à l'état compact.**

**II.1.6 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 :

$$P(\%) = [1 - \gamma_{app} / \rho_s] \times 100$$

**II.1.7 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 :

$$C(\%) = (\gamma_{app} / \rho_s) = 100 - P$$

**II.1.8 L'indice des vides :**

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide. Donnée par la formule :

$$e = V_v / V_s = P / (100 - P)$$

Résultats obtenus :

<b>Sable mixte</b>	<b>P(%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>e (%)</b>
<b>0% SC</b>	44.58	55.42	0.804
<b>40% SC</b>	43.85	56.15	0.780
<b>50% SC</b>	43.19	56.81	0.760
<b>60% SC</b>	42.92	57.08	0.751

**Tableau II.9 : Porosité, compacité, l'indice des vides des sables mixte à l'état lâche.**

<b>Sable mixte</b>	<b>P(%)</b>	<b>C (%)</b>	<b>e (%)</b>
<b>SD 100%</b>	32.24	67.76	0.475
<b>SD 60%</b>	32.11	67.89	0.472
<b>SD 50%</b>	31.93	68.07	0.469
<b>SD 40%</b>	31.07	68.93	0.450

**Tableau II.10 : Porosité, compacité, l'indice des vides des sables mixte à l'état compact.**

### **II.1.9 Equivalent de sable :**

Il est défini par la norme NF P 18-598, cet permettant de mesurer la propreté d'un sable, est effectué sur la fraction d'un granulat passant au tamis a maille carrées de 5mm. Il rend compte globalement de la qualité des éléments fin, en exprimant un rapport conventionnel volumétrique entre les éléments sableux sédimentent et les éléments fin qui floclent. (16)

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

Cet essai utilisé de manière courante pour évaluer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste a séparer les particules fines contenues dans le sol des éléments sableux plus grossiers.

#### **b. Matériels utilisés :**

- ✓ Eprouvettes cylindriques.
- ✓ Un bouchon de caoutchouc pour fermer l'éprouvette.
- ✓ Tube laveur et entonnoir.
- ✓ Un flacon.

- ✓ Une machine d'agitation électrique.
- ✓ Piston taré a masse coulissante de 1 kg.

**c. Mode opératoire :**

- ✓ Tamiser une quantité de sable
- ✓ Prendre une pesée de 120g.
- ✓ Remplir l'éprouvette de solution la vente jusqu'au première repère.
- ✓ A l'aide de l'entonnoir verse la prise d'essai dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprise avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- ✓ Laisser reposer pendant 10mn.
- ✓ Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 seconde a la main a l'aide d'un agitateur mécanique.
- ✓ Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au-dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- ✓ Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le roule enter 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 2eme repère. Laisser ensuite reposer pendant 20mn.

❖ ***L'équivalent de sable visuel (ESV) :***

Après 20mn, lire la hauteur h1 du niveau supérieure du flocculant jusqu'au fonde de l'éprouvette à l'aide d'une réglette. Mesure également avec la règle la hauteur h2 comprise entre le niveau supérieure de la partie sédimentaire et le fonde de l'éprouvette.

$$\mathbf{ESV = h1 / h2 \times 100}$$

❖ ***Equivalent de sable au piston (ESP) :***

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

Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face

intérieure de la tête du piston. Soit  $h'2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = h'2 / h1 \times 100$$

**Figure II.5 : Essai de l'équivalent de sable.**

Résultats obtenus :

Sable mixte	N° d'essai	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>	ESV(%)	ESV (moy)	H' <sub>2</sub>	ESP(%)	ESP (moy)
<b>0% SC</b>	<b>1</b>	11.5	8.7	75.65	<b>75.36</b>	7.9	68.69	<b>70.38</b>
	<b>2</b>	11.2	8.4	75		8	71.42	
	<b>3</b>	11.4	8.6	75.43		8.1	71.05	
<b>40% SC</b>	<b>1</b>	10.9	8.4	77.06	<b>76.25</b>	7.7	70.64	<b>71.67</b>
	<b>2</b>	10.9	8.6	78.89		7.9	72.47	
	<b>3</b>	11.4	8.3	72.80		8.2	71.92	
<b>50% SC</b>	<b>1</b>	10.7	8.7	81.30	<b>80.61</b>	8.1	75.70	<b>74.92</b>
	<b>2</b>	10.8	8.7	80.55		8.05	74.53	
	<b>3</b>	11	8.8	80		8.2	74.54	
<b>60% SC</b>	<b>1</b>	10.4	8.5	81.73	<b>82.02</b>	8.1	77.88	<b>78.23</b>
	<b>2</b>	10.5	8.7	82.85		8.3	79.04	
	<b>3</b>	10.8	8.8	81.48		8.4	77.77	

**Tableau II.11 : Résultats de l'équivalent des sables mixte.**

<b>E.S.V</b>	<b>E.S.P</b>	<b>NATURE ET QUALITE DU SABLE</b>
<b>E.S&lt; 65</b>	<b>E.S&lt; 60</b>	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
<b>65 &lt;E.S&lt; 75</b>	<b>65 &lt;E.S&lt;70</b>	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
<b>75 &lt;E.S&lt; 85</b>	<b>70 &lt;E.S&lt; 80</b>	Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
<b>E.S &gt; 85</b>	<b>E.S&gt;80</b>	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

**Tableau II.12 : les valeurs d'équivalent de sable indiquent la nature et qualité du sable.**

**On constate que :**

**75% <ESV< 85%**

**et**

**70% <ESP< 80%**

Alors notre sables mixte sont des Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité.

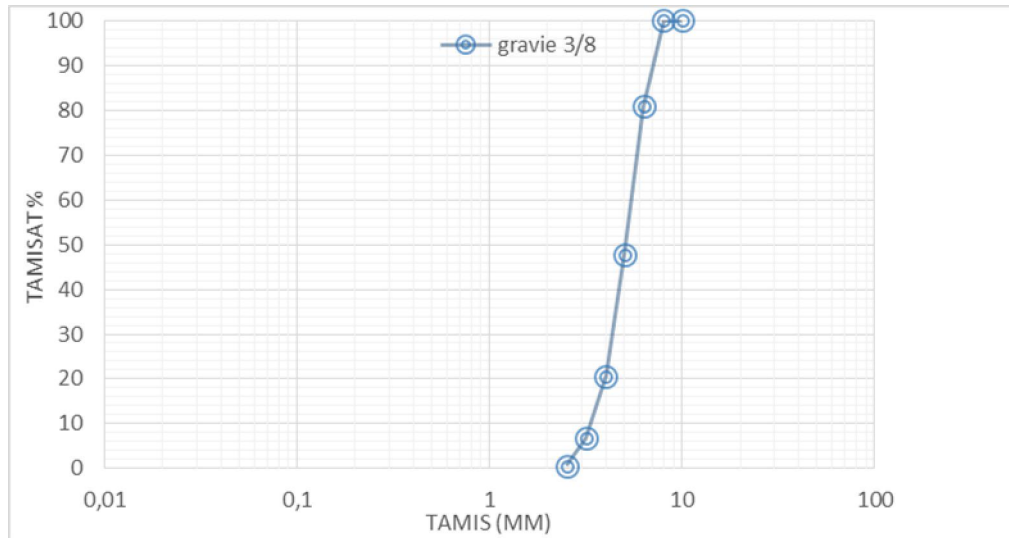
## **II.2 Caractéristique du gravie utilisé :**

### **II.2.1 Analyse granulométrique :**

<b>Tamis (mm)</b>	<b>Refus partiel (g)</b>	<b>Refus cumulés</b>		<b>Tamisât (%)</b>
		<b>(g)</b>	<b>(%)</b>	
<b>8</b>	0	0	0	100
<b>6.3</b>	306	306	19.12	80.88
<b>5</b>	532	838	52.37	47.62
<b>4</b>	431	1269	79.31	20.69

<b>3.15</b>	223	1492	93.25	6.75
<b>2.5</b>	99	1591	99.34	0.66
<b>Fond</b>	8	1599	99.93	0.06

**Tableau II.13 : Résultat de analyse granulométrique de gravie 3/8.**



**Figure II.6 : courbe granulométrique du gravie 3/8.**

### II.2.2 Masse volumique apparent : NF P 18-554

Le principe de cette mesure s'agit de remplir un récipient de volume intérieur connu et de peser la quantité de granulats correspondant.

❖ *Mode opératoire :*

Verse le granulat dans le récipient choisi et le disposer sans tassement par couches horizontales successives. Araser la couche supérieure du granulat à l'aide d'une règle que l'on anime d'un mouvement de va et vient. La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

$$\rho = (M_2 - M_1) / V$$

- ✓ **V** : volume du récipient.
- ✓ **M<sub>2</sub>** : Poids de granulats + récipient.
- ✓ **M<sub>1</sub>** : Poids de récipient.

Résultat obtenue :

Gravie	N° d'essai	M1 (g)	M2 (g)	V (cm <sup>3</sup> )	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	γ <sub>moy</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
3/8	1	2920	12762	7000	1.406	1.412
	2	2920	12855	7000	1.419	
	3	2920	12806	7000	1.412	

**Tableau II.14 : Résultat de la masse volumique apparente de gravie 3/8.**

**II.2.3 Masse volumique absolue : NF P 18-554**

Le mode opératoire est le même effectuée pour le sable, et les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

Gravie	N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	Ve (cm <sup>3</sup> )	V (cm <sup>3</sup> )	ρ (g/cm <sup>3</sup> )	ρ <sub>moy</sub> (g/cm <sup>3</sup> )
3/8	1	300	250	365	2.608	2.601
	2	300	250	364	2.631	
	3	300	250	367	2.564	

**Tableau II.15 : Résultat de la masse volumique absolue de gravie 3/8.**

**II.2.4 Porosité, compacité et l'indice des vides :**

Le mode opératoire est semblable à celui effectuée pour le sable on calcule la porosité selon la formule :

$$P(\%) = [1 - \gamma_{app} / \rho_s] \times 100$$

La compacité donnée par la formule :

$$C(\%) = (\gamma_{app} / \rho_s) = 100 - P$$

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

$$e = P / 1 - P$$

Résultats dans le tableau suivant :

Gravier	Porosité	compacité	L'indice de vide
---------	----------	-----------	------------------

3/8	45.8	54.2	0.84
-----	------	------	------

**Tableau II.16 : porosité, compacité et l'indice des vides de gravie 3/8.**

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

Gravier	M <sub>2</sub> (g)	M <sub>1</sub> (g)	A (%)	A <sub>moy</sub> (%)
3/8	1000	980.5	1.98	1.88
	1000	982.5	1.78	
	1000	981.5	1.88	

**Tableau II.17 : Résultat de degré d'absorption d'eau de gravie 3/8.**

**II.2.6 Teneur en eau du gravier :**

gravier	M <sub>h</sub> (g)	M <sub>s</sub> (g)	W (%)	W <sub>moy</sub> (g)
3/8	1000	994.7	0.533	0.461
	1000	995.3	0.470	
	1000	996.2	0.380	

**Tableau II.18 : Teneur en eau du gravier 3/8.**

**II.2.7 Coefficient Los Angeles :**

❖ *But d'essai :*

L'essai Los Angeles est utilisé pour déterminer la résistance à la fragmentation d'un échantillon de granulat.

Le coefficient Los Angeles obtenu est le pourcentage de l'échantillon initial passant au tamis de 1.6 mm après fragmentation dans un cylindre en présence de boulets d'acier.

**Figure III.7 : Le tambour Los Angeles et les boulets.**

❖ **Mode opératoire :**

- ✓ Introduire l'échantillon (M=5000 g) avec le charge de boulets (Diamètre important)  
→500 rotations (30 à 33 tours/min).
- ✓ Mesurer la masse « m » d'élément < 1,6 mm

Coefficient de Los Angeles « LA » :

$$LA = (m / 5000) \times 100 = (1050/5000) \times 100 = 21\%$$

### **II.3 Le ciment :**

Le ciment utilisé dans notre travail est ciment blanc CPJ-CEM II/A 52.5 N (malaki) pour béton de haute performance destiné à la construction des ouvrage d'art esthétiques et éléments décoratifs, fabrique à l'usine de LA FARGE Algérie (région de Mascara, Oggaz). Elle est conforme à la norme algérienne (NA 442) et européenne (EN CE 197-1).

Les caractéristiques chimique, physique et mécanique du ciment utilisé sont établies sur des fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'usine et certaines caractéristiques que nous avons fait à laboratoire universitaire. Les différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants.

#### **II.3.1 Analyse chimique du ciment :**

<b>Analyse chimique</b>	<b>Norme</b>
Perte au feu (%) (NA5042)	6.0 ±2

Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium Mgo (%)	1.7±0.5
Teneur en chlorures (%) (NA5042)	0.02 – 0.09

**Tableau II.19 : Analyse chimique de ciment blanc MALAKI.**

**II.3.2 Propriété physique :**

<b>Propriété physique</b>	<b>norme</b>
Consistance normale	28±3.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	4300 - 5200
Retrait à 28 jours (µm/m)	<1000
Expansion (mm)	≤ 3.0

**Tableau II.20 : Propriété physique de ciment blanc MALAKI.**

**II.3.3 Temps de prise :**

<b>Début de prise (mn)</b>	160 ± 40
<b>Fin de prise (mn)</b>	250 ± 40

**Tableau II.21 : Début et fin de prise de ciment blanc MALAKI.**

**II.3.4 Résistance à la compression :**

<b>2 jours (MPA)</b>	≥ 20.0
<b>28 jours (MPA)</b>	≥ 52.5

**Tableau II.22 : Résistance à la compression de ciment blanc MALAKI.**

**II.3.5 Composition minéralogique du clinker :**

<b>C3S (%)</b>	55 ± 3
----------------	--------

<b>C3A (%)</b>	9.0 ± 1
----------------	---------

**Tableau II.23 : Composition minéralogique de clinker.**

<b>Masse volumique apparent</b>	<b>Lâche</b>	1.14 g/cm <sup>3</sup>
	<b>compact</b>	1.19 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masse volumique absolue</b>		3.1 g/cm <sup>3</sup>

### **II.3.6 La masse volumique :**

**Tableau II.24 : la masse volumique apparent et absolue de ciment blanc MALAKI.**

## **II.4 Adjuvant :**

### **II.4.1 Description du produit :**

Nous avons utilisée **SUPERIOR 126**, est un adjuvant superplastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible avec la majorité des ciments. Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité, résistances mécaniques et chimiques.

**II.4.2 PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES :**

- ✓ Etat physique :.....Liquide
- ✓ Couleur :.....Brune
- ✓ Densité (g/cm<sup>3</sup>, à 20°C):.....1,130 ± 0,03
- ✓ PH à 20°C :.....5,5 ± 1
- ✓ Chlorure : .....< 0,1 %

**II.4.3 DOSAGE :**

- ✓ Le dosage de SUPERIOR 126 varie entre 0,6 à 2 % du poids de ciment.
- ✓ SUPERIOR 126 présente un léger effet retardateur, quand le dosage est supérieur à 1,2 %

Pour un dosage supérieur à 1,2 %, il est conseillé de contacter l'ingénieur conseil de la région, notamment pour des bétons particulièrement compacts avec des réductions élevées du rapport E/C, ou le dosage du SUPERIOR 126 peut aller jusqu'à 2% du poids du ciment.

**II.4.4 CARACTERISTIQUES :**

- ✓ Obtention d'un rapport E/C très faible.
- ✓ Une excellente imperméabilité.
- ✓ Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme.
- ✓ L'obtention de résistances finales élevées.
- ✓ Une grande résistance à l'agression chimique.
- ✓ Réduction des retraits.
- ✓ Diminution du retrait hygrométrique.
- ✓ Excellente finition esthétique.

**II.5 Eau de gâchage :**

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

**II.5.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée :**

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil à laboratoire de Département de chimie.

La mesure	Teneur en (mg /l)
-----------	-------------------

<b>Degré de température</b>	24.7
<b>PH</b>	7.78
<b>Conductibilité</b>	1799
<b>Chlore <math>\text{Cl}^-</math></b>	234.3
<b>Sulfate <math>\text{SO}_4^-</math></b>	351.60
<b>Magnésium <math>\text{Mg}^{2+}</math></b>	110.8
<b>Sodium <math>\text{Na}^+</math></b>	/
<b>Calcium <math>\text{Ca}^{2+}</math></b>	267.2
<b>Sédiment sec</b>	1412
<b>rééligibilité d'oxydation en eau</b>	1024

**Tableau II.25 : Caractéristiques Chimique D'eau.**

### **II.6 Méthode de formulation du micro béton :**

L'élaboration de la composition du béton a pour but d'établir une dépense en matériaux par  $\text{m}^3$  de béton frais, qui assure l'obtention d'une pate ouvrable, d'un béton de résistance imposée et dans certains cas d'un non gélivité nécessaire.

La composition d'un micro béton est définie à partir d'une méthode générale des bétons courants car il posséd les mêmes propriétés, caractéristiques et comportement.

Il est recommandé de calculer la composition d'un micro béton par la méthode des volumes absolus élaborée par le professeur B.SCRAMTAIV et son école. Cette méthode repose sur le fait

qu'un béton lord, damé à l'état frais, se rapproche de la compacité absolue, ce qui signifie que la somme des volumes absolus des matériaux d'origine dans un m<sup>3</sup> est égale au volume de la composition du béton damé.

Les données d'origine servant à calculer la composition du béton sont : La classe de résistance (Rb), le degré de fluidité ou consistance ainsi que la caractéristique des matériaux d'origine : activité (Rc) et masse spécifique du ciment, masses volumique et spécifiques du sable, des pierres concassée ou du gravier et la porosité des pierres des pierres concassée ou du gravier.

La composition du béton c'est-à-dire la quantité de ciment, d'eau, de sable et de pierres concassée ou de gravier, est tout d'abord établie approximativement par calcul, en suite elle est précisée par la méthode des essais de dosage expérimentent de mélange de béton.

### **II.6.1 Calcul de la composition du micro béton :**

Le calcul de la composition du micro béton se pratique dans l'obtention d'un béton de résistance requise, on détermine la dépense en eau, ciment, gravier et de sable, on vérifie la fluidité du mélange, leur écart par rapport aux données fixées par le projet, on procède à la correction de la composition : on prépare les éprouvettes pour définir la résistance et on fait les essais dans les délais fixée, on refait alors le calcul de la composition.

#### **a. Définition de rapport C/E :**

Le professeur Scramtaiev a établi la relation suivante, qui donne la valeur de la résistance du béton (Rb) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

#### **a. Pour bétons à C/E < 2.5 :**

$$Rb = A. Rc. [(C/E) - 0.5]$$

**D'où résulte :**

$$C/E = Rb / (A. Rc) + 0.5$$

#### **b. Pour bétons à C/E > 2.5 :**

$$Rb = A'. Rc. [(C/E) + 0.50]$$

**D'où résulte :**

$$C/E = R_b / (A' \cdot R_c) - 0.5$$

Avec :

- ✓ **R<sub>b</sub>** : résistance de béton a 28 jours.
- ✓ **R<sub>c</sub>** : Activité ou classe du ciment.
- ✓ **C/E** : Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange.
- ✓ **A, A'** : coefficients admis d'après le tableau (26) selon les propriétés et la qualité des matériaux utilisés.

<b>Granulats et liants</b>	<b>A</b>	<b>A'</b>
<b>De qualité supérieure</b>	0.65	0.43
<b>De qualité ordinaire</b>	0.60	0.40
<b>De qualité inférieure</b>	0.55	0.37

**Tableau II.26 : valeurs des coefficients A et A'.**

**b. Détermination de la dépense en eau :**

La qualité optimale d'eau dans un mélange de béton (1/m<sup>3</sup>) doit garantir la fluidité nécessaire du mélange. Elle est établie approximativement d'après le tableau (27), qui tient compte de la qualité des matériaux d'origine.

<b>Caractéristiques du mélange de béton</b>	<b>Dosage en eau (1/m<sup>3</sup>) par rapport A</b>					
	<b>la grosser D max (mm)</b>					
<b>Affaissement au cône (cm)</b>	Pierres concassées			pierres roulées		
	10	20	40	10	20	40
<b>1</b>	195	185	170	185	170	155
<b>2-2.5</b>	200	190	175	190	175	160
<b>3-4</b>	205	195	180	195	180	165

<b>5</b>	210	200	185	200	185	170
<b>7</b>	215	205	190	205	190	175
<b>8</b>	220	210	195	210	195	180
<b>10-12</b>	225	215	200	215	200	190

**Tableau II.27 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.**

**c. Détermination de la dépense en ciment :**

La dépense en ciment (C) est donnée par la formule suivante :

$$C = (C/E) \cdot E$$

- ✓ C : quantité du ciment pour 1 m<sup>3</sup> du béton frais.
- ✓ C/E : rapport en poids de ciment sur eau.

**d. détermination du dosage en agrégats :**

La somme des volumes absolue de tous les composants du béton est égale à 1 m<sup>3</sup> (1000 litres) du mélange de béton damé :

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_e) + (S/\rho_s) + (G/\rho_g) = 1000 \dots 1$$

Ou :

- ✓ C, E, S et G : dépenses en ciment, eau, sable et pierres concassées (gravier) en (Kg/m<sup>3</sup>).
- ✓  $\rho_c$ ,  $\rho_e$ ,  $\rho_s$  et  $\rho_g$  : Masses spécifiques ou masses volumiques absolues de granulats avec un certain écartement des grains :

$$(C/\rho_c) + (S/\rho_s) + E = [(P_g \cdot \alpha \cdot G / \gamma_g)] \dots 2$$

**Avec:**

- ✓  $P_g$ : Porosité des Pierre concassées.
- ✓  $\gamma_g$  : Masse volumique ou masses volumique apparente des pierres concassées.
- ✓  $\alpha$ : Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le tableau (III.28).

<b>Dosage en ciment (Kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>E/C 0.40</b>	<b>E/C 0.50</b>	<b>E/C 0.60</b>	<b>E/C 0.70</b>	<b>E/C 0.80</b>
250	-	-	1.26	1.32	1.38
300	-	1.30	1.36	1.42	-
350	1.32	1.38	1.44	-	-
400	1.40	1.46	-	-	-

**Tableau II.28 : Valeur de coefficient  $\alpha$ .**

En résolvant simultanément les deux équations (1) et (2), on trouve l'expression qui permet de déterminer la qualité nécessaire de pierres concassées :

$$G = 1000 / [Pg \cdot (\alpha/\gamma_g) + (1/\rho_g)] \quad (3)$$

Après avoir déterminé la dépense en pierres concassées, on fait le calcul de la dépense en sable (Kg/m<sup>3</sup>).

$$S = [1000 - [(C/\rho_c) + E + (G/\rho_g)]] \cdot \rho_s .$$

## **II.7 Conclusion :**

Le troisième chapitre est destiné à la caractérisation des matériaux locaux utilisés, dont nous présentons les caractéristiques chimiques, physiques, et mécaniques (Ciment, superplastifiant, sable et gravier) pour la confection du béton, les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de M'sila.

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des micros bétons qui seront étudiés au chapitre suivant du point de vue mécanique et durabilité.



**Chapitre III :**  
**Résultats et discussions**

**Introduction :**

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des essais effectués sur les micros bétons au ciment blanc confectionnées selon les différentes combinaisons d'ajouts (sable concassé).

Dans ce travaille nous avons étudié les propriétés de micro béton au ciment blanc, à savoir la fluidité et les résistances mécaniques à la compression et à la traction par flexion. Aussi la masse volumique du micro bétons a l'état durci, l'absorption d'eau et la fluidité (le changement de rapport E/C en fonction des différentes compositions du micro béton étudié.

**III.1 Détermination de la composition du micro béton :**

Le micro-béton est un Mélange hydraulique dont la composition granulométrique ne dépasse pas 8 ou 10 mm.

Le micro béton contient ciment blanc, des granulats, l'eau et un adjuvant.

Le ciment utilisé est ciment blanc MALAKI de groupe LAFARGE Algérie de classe CPJ-CEM II/A 52.5 N.

Adjuvant superplastifiant SUPERIOR 126 à base de poly-carboxylates.

La compositions du micro béton contiennent le gravier de fraction 3/8 seulement et nous utilisons plusieurs sables mixte.

On a utilisé les abréviations suivantes :

<b>SYMBOLE</b>	<b>Sable de dune (%)</b>	<b>sable concassé (%)</b>
<b>B1</b>	100	0
<b>B2</b>	60	40
<b>B3</b>	50	50
<b>B4</b>	40	60

**Tableau III.1 : Symbole et composants des types des micro-bétons.**

La composition du micro béton est formulée à partir de la composition du béton de classe 450 bars (déterminée par la méthode RUSS dite méthode de SCRAMTAIV), d'une fluidité plus ou moins constant (4 à 6 cm) mesurée à l'aide d'un cône d'Abrams.

**III.2 Essais et procédures :**

**III.2.1 Détermination de la composition :**

La composition des différents micro-bétons sont données au tableau (IV.2) suivant :

	Composition (%)			Ciment (g)	Gravie 3/8 (g)	Adjuvant (g)	Sable de dune (g)	Sable concassée (g)
	SD	SC	A					
<b>B1</b>	100	0	2	5740	16706	114.8	7560	0
<b>B2</b>	60	40	2	5740	16706	114.8	4536	3024
<b>B3</b>	50	50	2	5740	16706	114.8	3780	3780
<b>B4</b>	40	60	2	5740	16706	114.8	3024	4536

**Tableau III.2 : Composition des micros béton.**

**III.2.2 Détermination de la Masse Volumique :**

On détermine la masse volumique après avoir retiré les éprouvettes des bacs et les avoir laissé à l'air libre pendant 20 minutes afin qu'elles aient une humidité nominale juste avant l'essai mécanique aux différents âges, on détermine la masse volumique est donnée par la formule suivante :

$$P = (M/V)$$

Ou :

- ✓ **M** : masse de l'éprouvette.
- ✓ **V** : volume de l'éprouvette.

Les résultats obtenus au tableau (IV.3), donnant les valeurs moyennes de trois essais.

	Composition %			Masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )			
	SD	SC	A	1J	7J	14J	28J
<b>B1</b>	100	0	2	2.417	2.415	2.412	2.408
<b>B2</b>	60	40	2	2.429	2.426	2.421	2.415
<b>B3</b>	50	50	2	2.440	2.437	2.434	2.430
<b>B4</b>	40	60	2	2.462	2.460	2.457	2.451

**Tableau III.3 : La masse volumique des micros bétons.**

### III.2.3 Détermination de la fluidité :

La consistance ou ouvrabilité d'un béton est un facteur important, il est mesurée lors de l'essai d'affaissement par le cône d'Abrams est probablement affectée par la teneur en eau ; elle a été décrite jusqu'à présent comme une propriété du béton frais. Cependant c'est aussi une propriété qui affecte la qualité du produit fini parce que le béton doit avoir une consistance suffisante pour pouvoir être serré et atteindre une masse volumique maximale, tout en utilisant une quantité d'énergie minimale dans la mise en place du matériau.

Le choix de la consistance est donc un équilibre entre le coût du béton et l'ouvrabilité requise pour la mise en œuvre du béton.

Les résultats d'essais au cône sont regroupés dans le tableau (IV.4). On détermine la fluidité ou consistance [4 à 6 cm].

	Composition (%)			Fluidité	
	SD	SC	A	E/C	Réduction d'eau (%)
<b>B1</b>	100	0	2	0.34	00.00
<b>B2</b>	60	40	2	0.32	-0.1
<b>B3</b>	50	50	2	0.317	-0.14
<b>B4</b>	40	60	2	0.313	-0.20

**Tableau III.4 : Fluidité des micros bétons.**

**III.2.4 Détermination de la capacité d'absorption :**

L'on détermine la capacité d'absorption des micros bétons après avoir retiré les éprouvettes et les avoir laissé à l'air libre. Afin qu'elles aient une humidité nominale, juste après l'essai mécanique aux 7, 14 et 28 jours à la masse sèche de ces éprouvettes est donnée par la relation suivante :

$$W(\%) = (Mh - Ms) / Ms \times 100$$

**Où :**

- ✓ **Mh** : La masse de l'éprouvette contenue d'eau absorbée
- ✓ **Ms** : La masse de l'éprouvette sèche (après l'étuve pendant 24 h à 105 °C)

Les résultats obtenus sont regroupés au tableau (IV.5) donnant les valeurs moyennes de trois essais.

	Composition (%)			Absorption d'eau (%)		
	SD	SC	A	7j	14j	28j
<b>B1</b>	100	0	2	3.55	2.55	1.08
<b>B2</b>	60	40	2	4.10	2.59	1.35
<b>B3</b>	50	50	2	4.69	2.14	1.05
<b>B4</b>	40	60	2	4.76	2.64	1.2

**Tableau III.5 : Capacité d'absorption des micros bétons.****III.2.5 Détermination de la résistance du micro béton durci :**

La caractéristique essentielle du béton durci est la résistance mécanique en compression à un âge donné (28 jours). Le béton est un matériau travaillant bien en compression, dont la connaissance de ses propriétés mécaniques est indispensable pour le calcul du dimensionnement des ouvrages. Lorsqu'il est soumis à l'action d'une charge rapidement croissante, le béton se comporte comme un matériau fragile. D'une part, sa rupture n'est pas précédée de déformations importantes et, d'autre part, sa résistance à la traction est beaucoup plus faible que sa résistance à la compression.

**a. Résistance à la compression :**

Pour la détermination de la résistance à la compression des éprouvettes cubique 10×10×10, on utilise une presse hydraulique, les essais ont été effectuées en respectant les prescriptions des règle suivante :

- ✓ L'éprouvette est centrée sur le plateau de la presse.
- ✓ Aucune matière n'est interposée entre l'éprouvette et les plateaux de la presse.
- ✓ La charge est applique d'une manière continue jusqu'à la rupture de l'éprouvette.

La résistance à la compression est donnée par l'équation suivante :

$$f_c = F/A_c$$

Où :

- ✓  $f_c$  : résistance en compression, exprimée en méga pascal (Newton par millimètres carrés)
- ✓  $F$  : charge maximale, exprimée en Newtons
- ✓  $A_c$  : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée.

**b. Résistance à la traction par flexion :**

Des éprouvettes prismatiques de dimensions 7 x 7 x 28 cm sont soumises à un moment de flexion par application d'une charge au moyen de rouleaux supérieurs et inférieurs. La charge maximale enregistrée au cours de l'essai est notée et la résistance à la flexion est calculée. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-407 (NA 428), munie d'un banc de flexion à 4 points.

Pour une charge totale  $P$ , le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est :  $M = P \times a / 2$  et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est  $f_{tj} = 6M / a^3$ , la relation suivante permet de calculer la résistance :

$$f_{tj} = 1.8P / a^2$$

**Figure IV.1 : Essai de traction par flexion.**

Les résultats expérimentaux des essais mécaniques obtenus sont au tableau (IV.6) donnant la valeur moyenne de trois essais.

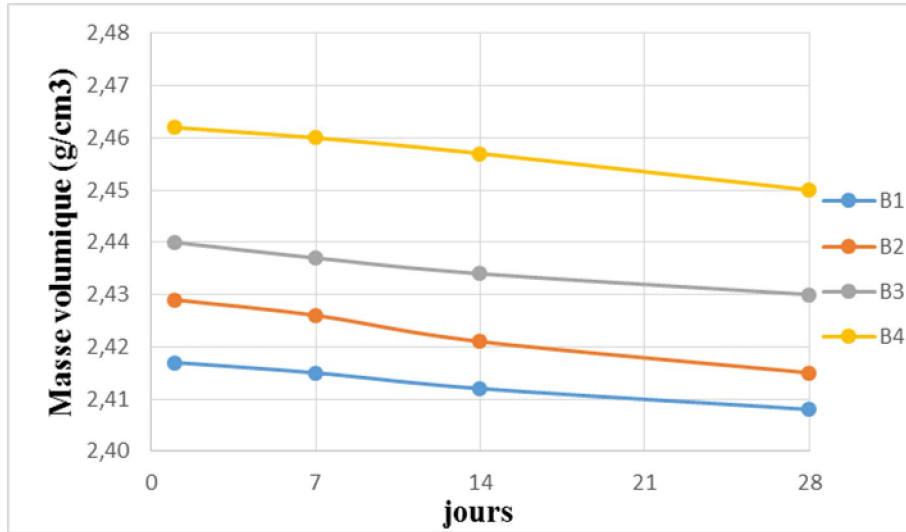
	Composition (%)			Compression (MPa)			Traction par flexion (MPa)
	SD	SC	A	7j	14j	28j	28 j
<b>B1</b>	100	0	2	<b>33.68</b>	<b>40.77</b>	<b>50.4</b>	<b>2.25</b>
<b>B2</b>	60	40	2	<b>34.61</b>	<b>40.89</b>	<b>51.20</b>	<b>2.33</b>
<b>B3</b>	50	50	2	<b>39.76</b>	<b>46.58</b>	<b>53.47</b>	<b>2.56</b>
<b>B4</b>	40	60	2	<b>38.15</b>	<b>45.84</b>	<b>52.40</b>	<b>2.34</b>

**Tableau III.6 : Résistance à la compression et traction par flexion des micros bétons.**

**III.3 Discussions des résultats :**

**III.3.1 Masse volumique :**

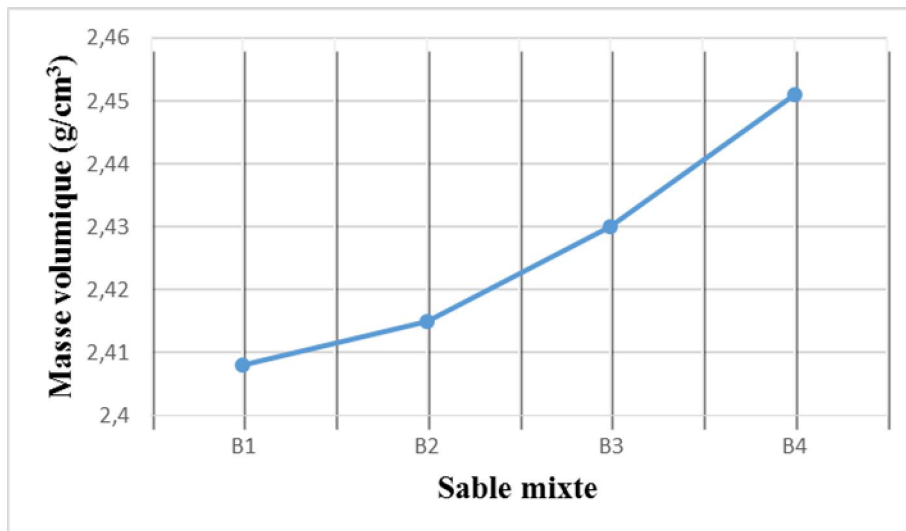
**a. Effet de temps :**



**Figure III.2 : Masse volumique du micro béton en fonction de temps.**

Selon la figure (IV.2) on constate que pour différentes compositions de micro béton la masse volumique ne présente pas une variation significative pour toutes les mélanges au cours du temps.

**b. Effet de sable concassée :**

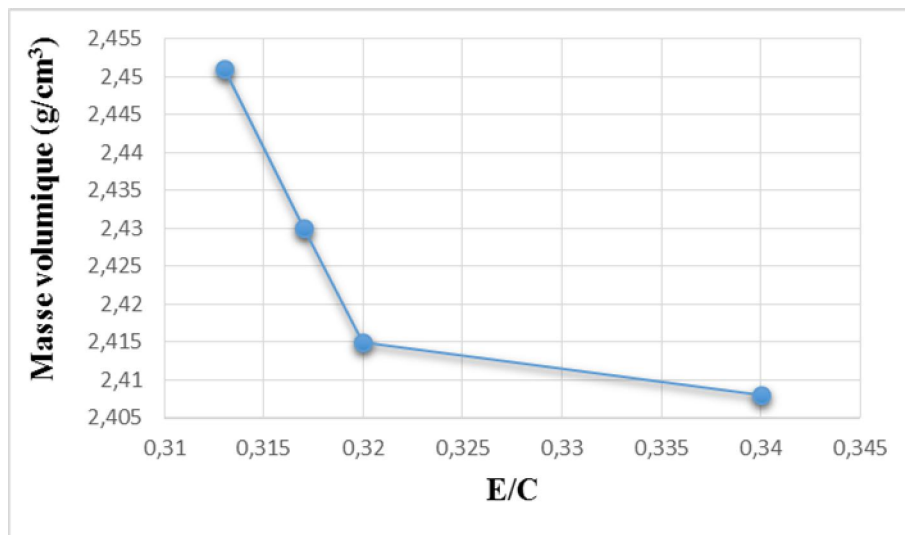


**Figure III.3 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de sable concassée.**

On remarque sur la figure (IV.3), l'augmentation du sable concassé dans la mixture (composition) engendre une hausse significative de la masse volumique. Cela est dû principalement à la réduction de pores existant entre les grains. À titre d'exemple, le béton B1

(0% SC) à 28 jours a une masse volumique de  $2.408 \text{ g/cm}^3$  et pour le béton B4 (60% SC) la masse volumique atteint la valeur de  $2.451 \text{ g/cm}^3$ .

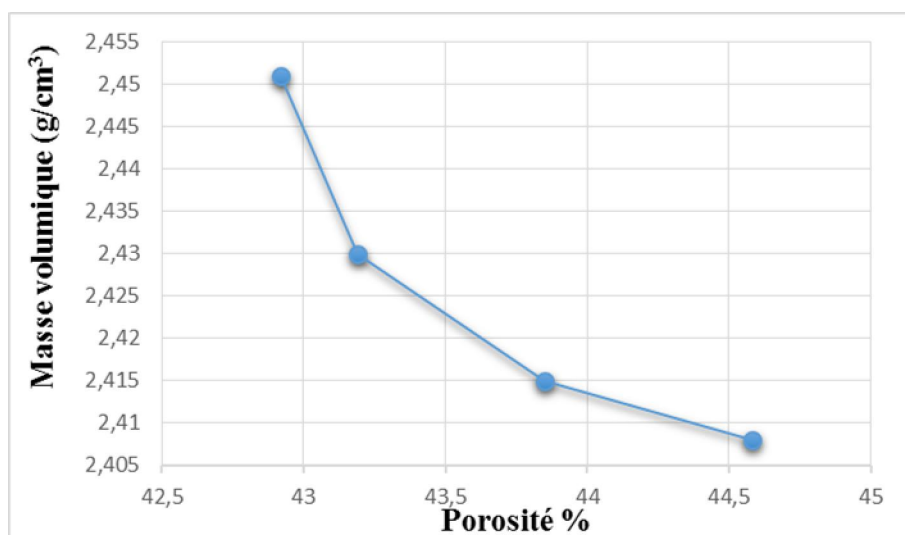
**c. Effet de rapport E/C :**



**Figure III.4 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de rapport E/C.**

On remarque sur la figure (IV.4), l'évolution de la masse volumique du béton en fonction du rapport E/C. Avec l'augmentation de ce dernier la masse volumique chute, l'excès d'eau occupe un volume dans l'échantillon et qui est de densité inférieure aux autres composants, on note comment la masse volumique diminué à partir de 2.45 pour béton **B1** (0% SC) jusqu'à  $2.408 \text{ g/cm}^3$  pour béton **B4** (60% SC) à chaque fois que le rapport E/C augmente.

**d. Effet de la porosité :**



**Figure III.5 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de la porosité.**

On remarque sur la figure (IV.5), la hausse de la porosité est suivie par une diminution de la masse volumique cela est due aux pores entre les grains du micro béton, car une partie de l'eau de gâchage est emprisonnée dans les pores qui s'évaporent lentement, l'évapore alors réduit la masse volumique du micro-béton.

#### III.3.2 Fluidité :

##### a. Rapport E/C en fonction de sable concassée :

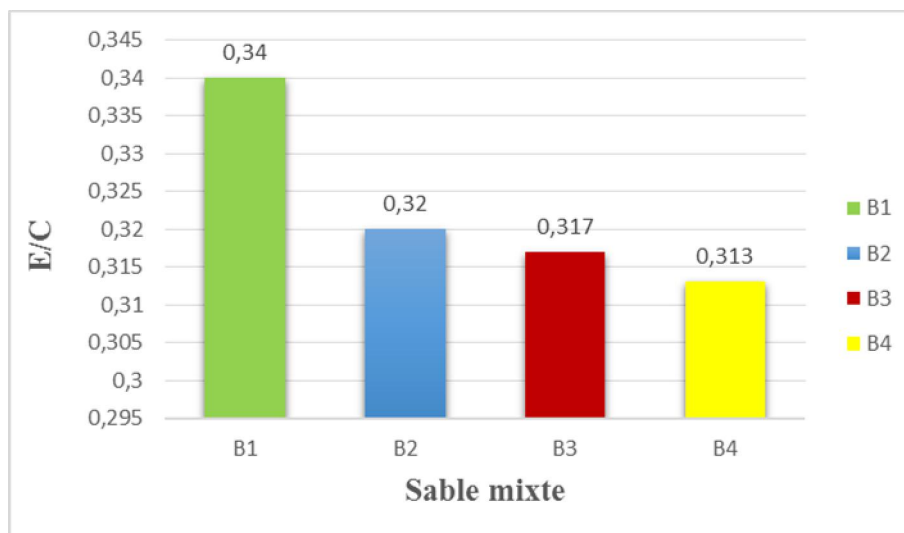
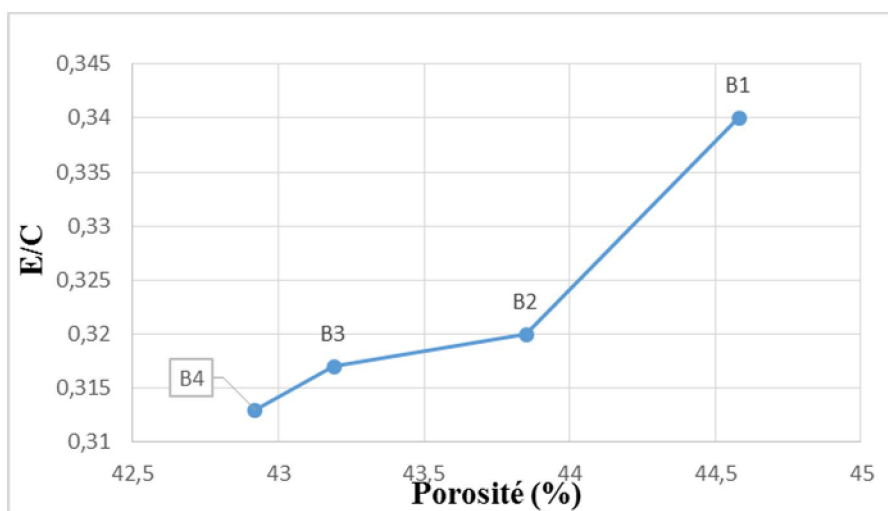


Figure III.6 : E/C en fonction de sable concassé.

D'après la figure (IV.6) on constate que l'ajout de sable concassé est suivi par une diminution du rapport E/C, car le sable concassé améliore le mode de serrage (diminution des pores entre grains), à titre d'exemple l'ajout de 60% de sable concassé entraîne une baisse du rapport E/C de 8%.

##### b.



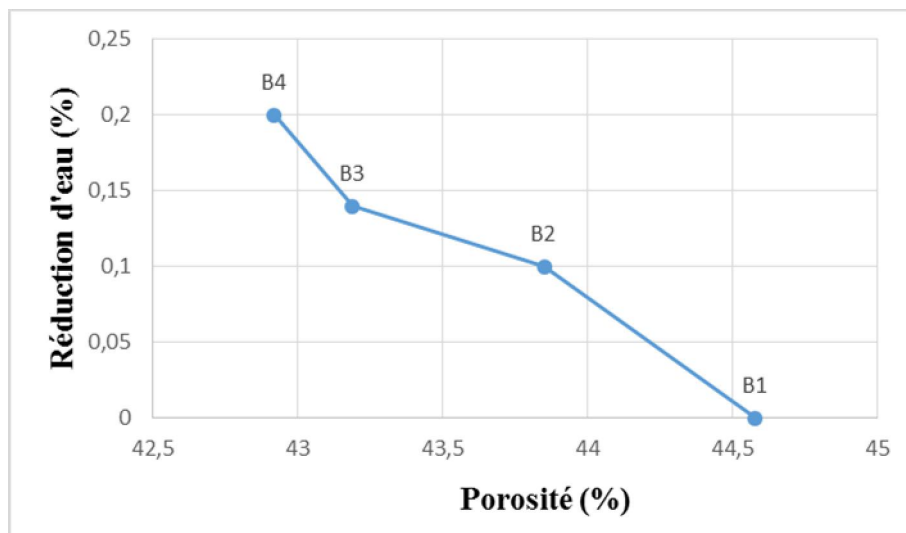
Effet de la porosité sur le rapport E/C

D'après la figure (IV.7), on remarque que l'augmentation de la porosité est accompagnée par une

**Figure III.7 : E/C en fonction de la porosité.**

augmentation du rapport E/C, cette augmentation est due au nombre important de vide entre les grains qui retient une quantité importante d'eau, on peut dire que la porosité a une grande influence sur le rapport E/C.

**c. Effet de la porosité sur la réduction d'eau :**

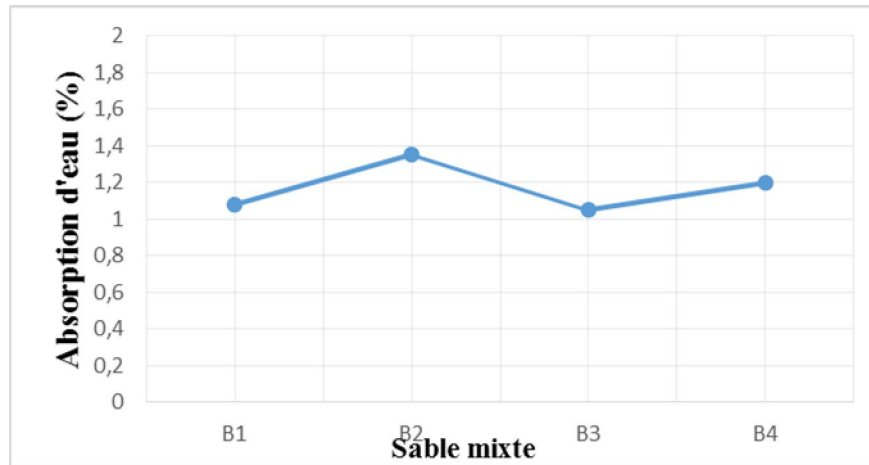


**Figure III.8 : Réduction d'eau en fonction la porosité.**

D'après la figure (IV.8), on observe une diminution de la réduction d'eau à chaque fois que la porosité augmente, on note que plus le nombre de pores augmente la quantité d'eau consommée par chaque types de micro béton augmente.

**III.3.3 Absorption d'eau :**

**a. Effet de sable concassé :**



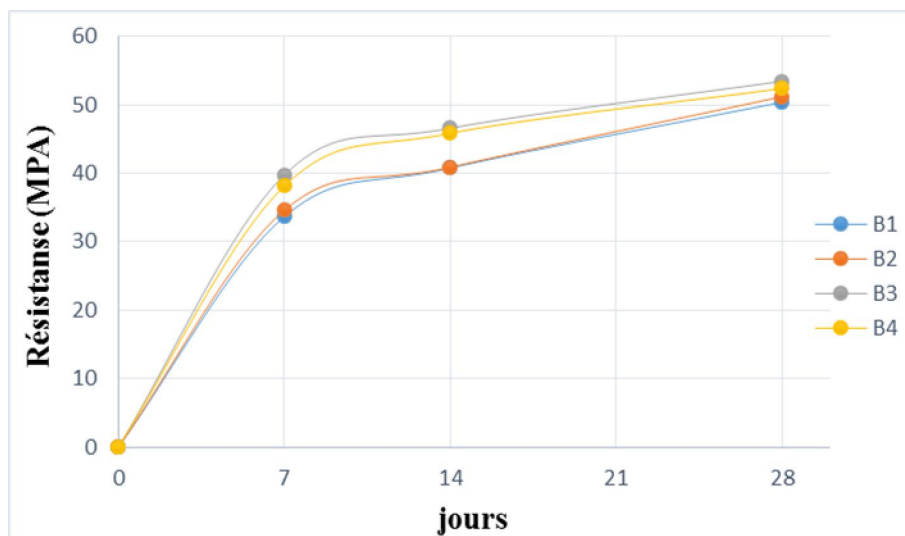
**Figure III.9 : l'absorption d'eau à 28 jours en fonction de sable concassé.**

D'après la figure (IV.9), on constate que l'ajout du sable concassé n'as pas une grande influence sur l'absorption d'eau du micro béton.

**III.3.4 Essais des résistances mécaniques :**

**III.3.4.1 Résistance à la compression :**

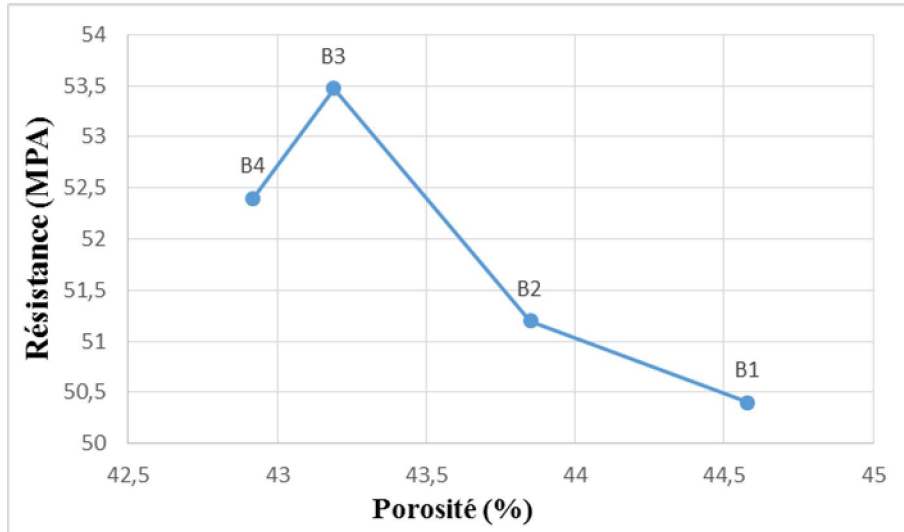
**a. Effet de temps :**



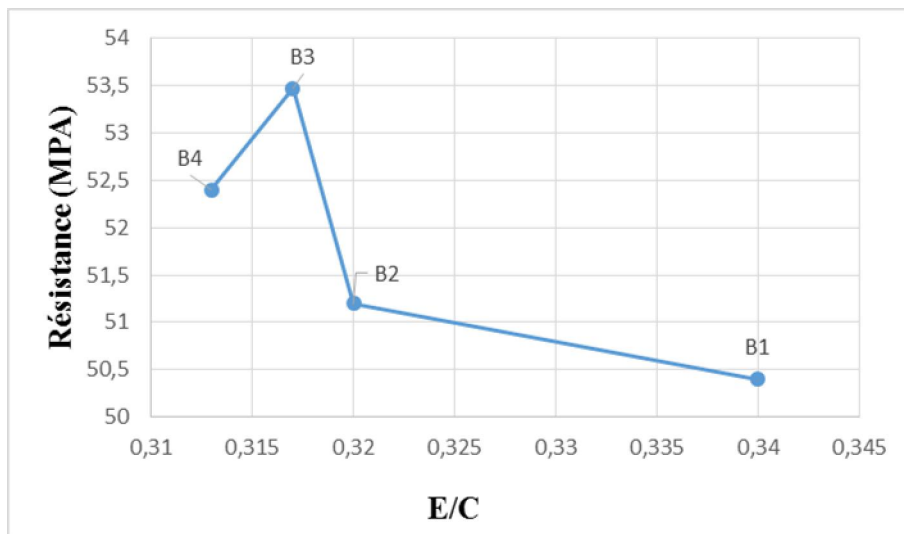
**Figure III.10 : Résistance à la compression en fonction de temps.**

D'après la figure (IV.10), on remarque que la résistance en compression des micros bétons (B1, B2, B3 et B4) suis une loi parabolique rapide dans l'intervalle (0 ; 7j), et lente dans l'intervalle (7 ; 28j).

**b. Effet de la porosité et de rapport E/C :**



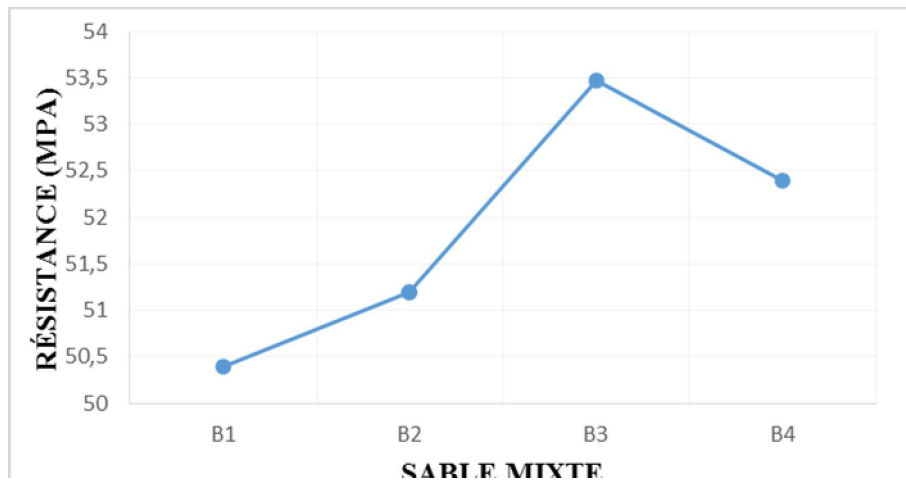
**Figure III.11 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de la porosité.**



**Figure III.12 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de rapport E/C.**

D'après la figure (IV.11) et figure (IV.12), on remarque que l'augmentation de la porosité et le rapport E/C engendre une diminution de résistance à la compression, mais pour le béton B3 (50% SC ; 43.19% P) ont obtient une résistance optimum (53.47 MPa), car la quantité de fines ramenée par le sable concassé est inférieure que pour le béton B4.

**Effet de Sable concassée :**

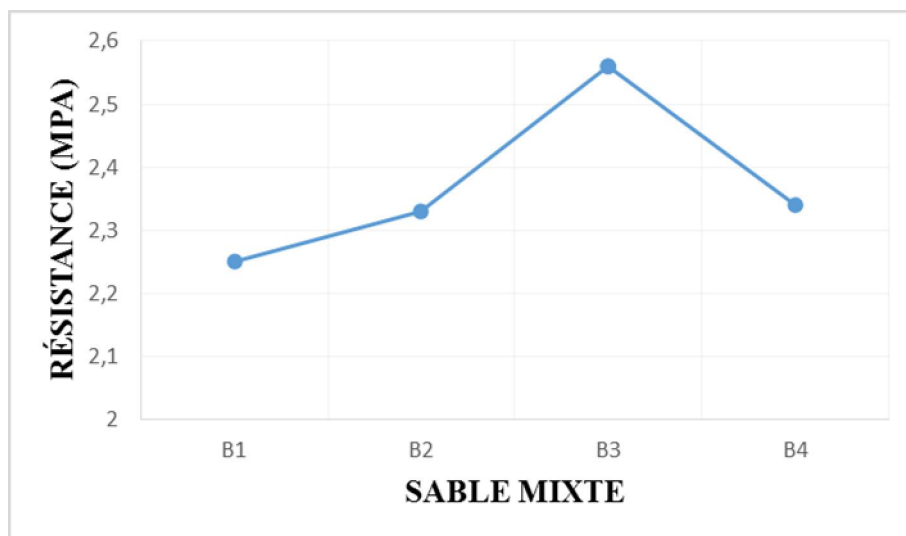


**Figure III.13 : Résistance à la compression à 28 jours en fonction de sable concassé.**

D'après la figure (IV.13), on remarque que la résistance en compression de différents types du micro béton augmenté avec l'augmentation de l'ajout de sable concassé et atteint son max de 53.47 MPa à micro béton B3 (50% SC), au-delà de cet ajout on note une diminution de résistance.

### III.3.4.2 Résistance à la traction par flexion :

#### a. Effet de sable concassé :



**Figure III.14 : Résistance à la traction par flexion à 28 jours en fonction de sable concassé.**

D'après la figure (IV.14), on remarque que la résistance à la traction par flexion de différents types du micro béton augmenté avec l'augmentation de l'ajout de sable concassé et atteint son

max de 2.56 MPa à micro béton B3 (50% SC), au-delà de cet ajout on note une diminution de résistance.

## **Conclusion générale et perspective**

### **Conclusion générale et perspective**

Notre travail consiste à caractériser les effets de sable concassé pour améliorer la résistance mécanique, la densité du micro-béton et l'ajout de l'adjuvant pour régler le comportement du micro-béton étudié cette étude nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'étude bibliographique est basée sur les différents matériaux (les granulats, le ciment, l'adjuvant, le pigment, le béton).

La première étape de notre travail expérimentale consiste à faire une caractérisation générale des matériaux utilisés :

- Le ciment utilisé est un ciment blanc CPJ-CEM II/A 52.5 N (MALAKI) de poids spécifique inférieur à la moyenne habituelle des ciments, une finesse élevée et une prise satisfaisante aux spécifications des ciments courants.
- L'adjuvant utilisé est un super plastifiant (haut réducteur d'eau) de type SUPERIOR 126 de pH neutre et de faible teneur en chlore et qui a pour effet d'améliorer l'ouvrabilité à un rapport E/C constant.
- L'eau de gâchage est celle de robinet de faible salinité.
- Le gravier utilisé est un gravier de fraction 3/8 de la carrière de COSIDER (MAAZA).
- Deux types de sables sont utilisés, sable de dune (SD) de la région de (OUED MAITER) de BOUSAADA (M'SILA), et sable concassée de la carrière de MAAZA.

Alors nous avons utilisé 4 types de sable mixte dans la composition de différents micro-bétons :

- ✓ B1 : 100% sable de dune et 0% sable concassé.
- ✓ B2 : 60% sable de dune et 40% sable concassé.
- ✓ B3 : 50% sable de dune et 50% sable concassé.
- ✓ B4 : 40% sable de dune et 60% sable concassé.

Les résultats obtenus dans cette étude expérimentale nous a permis de tirer les conclusions suivantes :

- L'ajoute du 60% sable concassé à améliorer le squelette du micro-béton et à donner une compacité optimale (minimisation des vides et pores entre grains) et l'obtention d'une masse volumique supérieure à (2.45 g/cm<sup>3</sup>).
- L'ajout du 50% sable concassé a permis un gain de résistance supérieur à (2.56 MPa de résistance à la traction par flexion et 53.47 MPa de résistance à la compression).

- La résistance à la compression et à la traction par flexion diminue avec l'augmentation du rapport E/C et aussi avec l'augmentation de la porosité.
- La quantité d'eau utilisée dans la formulation du micro-béton augmente avec l'augmentation de la porosité
- 2% d'adjuvant permet de réduire la quantité d'eau de gâchage et améliore la résistance mécanique.

### **Recommandations et perspectives :**

A la lumière des conclusions rapportées précédemment, pour obtenir un micro-béton de qualité il est recommandé d'utiliser :

Un sable mixte composé de 50% de sable de dune et 50% de sable concassé avec dosage de 2% d'adjuvant.

## **Reference :**

- [1] FICHES TECHNIQUES. CT-G10. Chapitre 2. Les constituants des bétons et des mortiers. Les granulats pour béton. Page 32. janvier 2013
- [2] BRUNO.S : « Etude des mouvements d'eau dans les matériaux poreux appliquée à la résistance au gel et au comportement des crépis sur la maçonnerie. » Thèse No 848 (1990). Département des matériaux. Ecole Polytechnique Fédérale de LAUSANNE pour l'obtention du grade de docteur est sciences techniques.
- [3] Fascicule de documentation de FD P 18-542 : « Granulats - Critères de qualification des granulats naturels pour béton hydraulique vis-à-vis de l'alcali-réaction. » Février 2004.
- [4] GSM. ITALCEMENTI Group : Aide-mémoire qualité des granulats. 05/2009. Wwww .gsm-granulats.fr
- [5] Norme NA 2608- 1992. Granulats - Mesure du coefficient de fiabilité des sables.
- [6] GHOMARI. F., BENDI – OUIS A : « Sciences des matériaux. » Université Aboubekr Belkaid. Département de génie civil.
- [7] LIBRAIRIE TECHNIQUE TECHNOSCIENCES : « Granulats sols ciments bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. 03 / 2009. 344 pages.
- [8] KHANOUS. A : « OPTIMISATION DU TAUX DE CALCAIRE POUR LA PRODUCTION D'UN NOUVEAU CIMENT BLANC 42,5N ». (2014). Département de Génie des Matériaux. UNIVERSITE DES SCIENCES ET DE LA TECHNOLOGIE D'ORAN Mémoire pour l'obtention du diplôme de MASTER PROFESSIONNEL
- [9] Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1 : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.
- [10] francois de larrard, 2002 : « construire en béton : l'essentiel sur les matériaux »
- [11] Betoncib. Prescriptions techniques : les bétons à base de ciment blanc. Edition 2000.
- [12] LAABOUS. Les ciments. Les Bâtiments et Travaux Publics -BTP-. 18 May 2014
- [13] BARON. J et OLLIVIER.J : « Les bétons : bases et données pour leur formulation » Edition Eyrolles. 1999

- [14] OLLIVIER. J.P et VICHOT A. pour l'ATILH : « La durabilité du béton.»- Presses de l'école des Ponts et Chaussées - Paris - 2008.
- [15] DREUX G., FESTA J. : 1995, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles.
- [16] DREUX. G 1979 : « Nouveau guide du béton. »
- [17] GABRYSIA. F : Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007
- [18] ADAMM.N : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000
- [19] Groupe Eyrolles : « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010
- [20] EN-12350-6 : masse volumique du béton frais.
- [21] résistance à la compression des éprouvettes.
- [22] résistance à la flexion sur éprouvettes.
- [23] KETTAB RATIBA « contribution à la valorisation du sable de dunes », Mémoire de Magister, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE
- [24] Norme français, « Mesure des masses volumique, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables » NF P 18-555 décembre 1990.

# **Annexes**



ALGÉRIE

ملكي  
Malaki



### *La Haute performance pour vos ouvrages architecturaux*

CPJ - CEM II/A 52.5 N

**Malaki** Ciment blanc pour bétons de haute-performance ; destiné à la construction des Ouvrages d'Art esthétiques et éléments décoratifs.

**Malaki**  
CPJ - CEM II/A 52.5 N.

**Malaki** est certifié, conforme à la norme algérienne (NA 442) et européenne (EN CE 197-1)

#### AVANTAGES PRODUIT



- Le ciment le plus résistant de la gamme.
- Idéal pour les structures en béton apparent.
- Permet de réaliser des éléments en béton avec un niveau de finition inégalé.

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art esthétiques et éléments décoratifs.



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 
Dosage pour béton	+ X 1 	+  X7	+  X5 +  X4	+ 25 L

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	6.0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2.5±0.5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.7±0.5
Teneur en Chlorures(NA5042) (%)	0.02-0.09

### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	55±3
C3A (%)	9.0±1

### • Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	28±3.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	4 300 - 5 200
Retrait à 28 days (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	160±40
Fin de prise (min)	250±40

### • Résistance à la compression

	Norme
2 jours (MPa)	≥ 20.0
28 jours (MPa)	≥ 52.5

## CONSIGNES DE SÉCURITÉ

**1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU :** Portez les équipements adaptés dans vos chantiers: casques, lunettes, gants, genouillères, chaussures et vêtements de sécurité.

**2- MANUTENTION :** levez le sac en pliant les genoux et en gardant le dos droit.



### LAFARGE ALGÉRIE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tour n°02,  
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie

Tél: + 213 (0) 21 98 54 54

Fax: + 213 (0) 23 92 42 94

www.lafargealgerie.com

**LAFARGE**  
لافارج

# SUPERIOR 126

SUPER PLASTIFIANT HAUT REDUCTEUR D'EAU MAINTIEN D'OUVRABILITE ELEVE - A EFFET RETARD



## DESCRIPTION

**SUPERIOR 126**, est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible avec la majorité des ciments.

Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité, résistances mécaniques et chimiques.

## PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique : .....Liquide  
Couleur : .....Brune  
Densité (g/cm<sup>3</sup>, à 20°C):.....1,130 ± 0,03  
PH à 20°C : .....5,5 ± 1  
Chlorure : .....< 0,1 %

## CARACTERISTIQUES

Le **SUPERIOR 126** est particulièrement recommandé pour la fabrication de béton à faible rapport E/C, à très long maintien d'ouvrabilité et aux performances mécaniques élevées à jeune âge avec réduction des retraits et l'obtention de résistances finales élevées. Il donne une excellente imperméabilité et une grande résistance à l'agression chimique.

Le produit peut être formulé pour un long maintien de l'ouvrabilité avec des résistances élevées à la compression et flexion à 28 jours, et une diminution du retrait hygrométrique, avec une excellente finition esthétique et meilleure durabilité.

Le **SUPERIOR 126** est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Béton à très long maintien d'ouvrabilité.
- Fondations profondes (parois moulés, pieux...).
- Pompages longues distances.
- Bétons de bâtiment.
- Bétons de Génie- Civil (ouvrages d'art, tunnels).
- Bétons à faible rapport E/C.

## DOSAGE

- Le dosage de **SUPERIOR 126** varie entre 0,6 à 2 % du poids de ciment.
- Le dosage optimal est déterminé en fonction des caractéristiques désirées, selon la composition du béton.
- **SUPERIOR 126** présente un léger effet retardateur, quand le dosage est supérieur à 1,2 %.
- Pour un dosage supérieur à 1,2 %, il est conseillé de contacter l'ingénieur conseil de la région, notamment pour des bétons particulièrement compacts avec des réductions élevées du rapport E/C, ou le dosage du **SUPERIOR 126** peut aller jusqu'à 2% du poids du ciment.

## MODE D'EMPLOI

L'addition du **SUPERIOR 126** ne doit jamais se faire sur un béton sec (c'est-à-dire avant l'ajout de l'eau). Il sera absorbé par les agrégats et le sable d'où son inefficacité avec le ciment.

Il est conseillé d'ajouter le **SUPERIOR 126** après l'ajout des composants du béton et environ 90% de l'eau de gâchage nécessaire.

[www.teknachem.com](http://www.teknachem.com)



**TEKNA CHEM ALGERIE Sarl**  
Au capital social de : 120.000.000,00 DZD  
**Siège & Usine :**  
B.P 203 Zone Industrielle Sidi-Bel-Abbès 22000  
Tél. : +213 (0) 48 70 34 63 / Fax : +213 (0) 48 70 34 62  
**E-mail :** [info@teknachem.com](mailto:info@teknachem.com)

**Antenne Alger :**  
Rue de la Soummam lot N°06 Z.I. Oued Smar – Alger  
Tél. : +213 (0) 21 50 88 78 / Fax : +213 (0) 21 50 88 79  
**Antenne Sétif :**  
Zone d'Activité 6<sup>ème</sup> tranche – Sétif  
Tél. : +213 (0) 36 93 90 10 / Fax : +213 (0) 36 93 90 60





# SUPERIOR 126

SUPER PLASTIFIANT HAUT REDUCTEUR D'EAU MAINTIEN D'OUVRABILITE ELEVE - A EFFET RETARD

## DESCRIPTION

**SUPERIOR 126**, est un adjuvant super plastifiant à base de poly-carboxylates de nouvelle génération, qui permettent de réaliser des bétons très fluides avec des rapports E/C très réduits. Il est compatible avec la majorité des ciments.

Par son action dispersante et la bonne synergie de ses composants il confère au béton un maintien prolongé de l'ouvrabilité avec des bonnes caractéristiques de compacité, résistances mécaniques et chimiques.

## PROPRIETES CHIMIQUES ET PHYSIQUES

Etat physique : .....Liquide  
Couleur : .....Brune  
Densité (g/cm<sup>3</sup>, à 20°C): .....1,130 ± 0,03  
PH à 20°C : .....5,5 ± 1  
Chlorure : .....< 0,1 %

## CARACTERISTIQUES

Le **SUPERIOR 126** est particulièrement recommandé pour la fabrication de béton à faible rapport E/C, à très long maintien d'ouvrabilité et aux performances mécaniques élevées à jeune âge avec réduction des retraites et l'obtention de résistances finales élevées. Il donne une excellente imperméabilité et une grande résistance à l'agression chimique.

Le produit peut être formulé pour un long maintien de l'ouvrabilité avec des résistances élevées à la compression et flexion à 28 jours, et une diminution du retrait hygrométrique, avec une excellente finition esthétique et meilleure durabilité.

Le **SUPERIOR 126** est donc adapté à l'industrie du béton prêt à l'emploi et aux chantiers de Génie Civil.

## DOMAINES D'APPLICATION

- Béton à très long maintien d'ouvrabilité.
- Fondations profondes (parois moulées, pieux...).
- Pompages longues distances.
- Bétons de bâtiment.
- Bétons de Génie- Civil (ouvrages d'art, tunnels).
- Bétons à faible rapport E/C.

## DOSAGE

- Le dosage de **SUPERIOR 126** varie entre 0,6 à 2 % du poids de ciment.
- Le dosage optimal est déterminé en fonction des caractéristiques désirées, selon la composition du béton.
- **SUPERIOR 126** présente un léger effet retardateur, quand le dosage est supérieur à 1,2 %.
- Pour un dosage supérieur à 1,2 %, il est conseillé de contacter l'ingénieur conseil de la région, notamment pour des bétons particulièrement compacts avec des réductions élevées du rapport E/C, ou le dosage du **SUPERIOR 126** peut aller jusqu'à 2% du poids du ciment.

## MODE D'EMPLOI

L'addition du **SUPERIOR 126** ne doit jamais se faire sur un béton sec (c'est-à-dire avant l'ajout de l'eau). Il sera absorbé par les agrégats et le sable d'où son inefficacité avec le ciment.

Il est conseillé d'ajouter le **SUPERIOR 126** après l'ajout des composants du béton et environ 90% de l'eau de gâchage nécessaire.

[www.teknachem.com](http://www.teknachem.com)



**TEKNA CHEM ALGERIE Sarl**  
Au capital social de : 120.000.000,00 DZD  
**Siège & Usine :**  
B.P 203 Zone Industrielle Sidi-Bel-Abbès 22000  
Tél. : +213 (0) 48 70 34 63 / Fax : +213 (0) 48 70 34 62  
**E-mail :** info@teknachem.com

**Antenne Alger :**  
Rue de la Soummam lot N°06 Z.I. Oued Smar – Alger  
Tél. : +213 (0) 21 50 88 78 / Fax : +213 (0) 21 50 88 79  
**Antenne Sétif :**  
Zone d'Activité 6<sup>ème</sup> tranche – Sétif  
Tél. : +213 (0) 36 93 90 10 / Fax : +213 (0) 36 93 90 60



...pour une fleur en béton





# SUPERIOR 126

SUPER PLASTIFIANT HAUT REDUCTEUR D'EAU MAINTIEN D'OUVRABILITE ELEVE - A EFFET RETARD



Terminer le mélange en ajoutant graduellement l'eau restant (10 %) jusqu'à l'obtention de la consistance désirée.

Les dosages sont évalués au poids du ciment.

## CONDITIONNEMENT

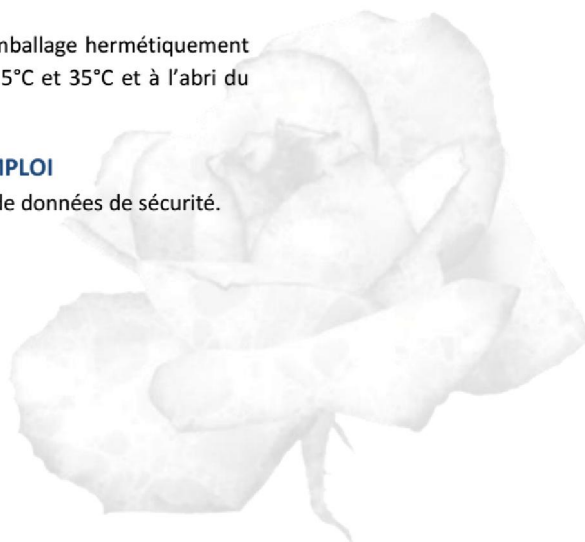
- Bidon de 20 L.
- Fût de 225 L.
- Cubitainer de 1000 L.

## VALIDITE

12 mois dans son emballage hermétiquement fermé, stocké entre 5°C et 35°C et à l'abri du soleil.

## PRECAUTION D'EMPLOI

Se référer à la fiche de données de sécurité.



*...pour une Fleur en Béton*

