

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

FACULTE : De technologie

DEPARTEMENT : GENIE CIVIL

N° : .....



DOMAINE : Technologie

FILIERE : Génie civil

OPTION : Matériaux

Mémoire présenté pour l'obtention  
Du diplôme de Master

Par:

**BELKHIR Zakaria**

**DEFAF Noureddine**

Intitulé

**Micro béton adjuvanté au ciment blanc avec  
polystyrène**

Soutenu le 01 / 06 /2017 devant le jury composé de :

<b>Pr. BENCHEIKH Mohamed</b>	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Président
<b>Dr. MAZA Mekki</b>	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Encadreur
<b>Dr. CHIKOUCHE Mohamed Aziz</b>	Université Mohamed Boudiaf - M'sila	Examinateur

**Année universitaire : 2016/2017**

# *Dédicaces*

*Avec l'aide du tout Puissant, j'ai pu réaliser ce modeste travail  
que je dédie :*

*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.*

# Remercîment

*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'sîla. J'adresse mes vifs remerciements à notre encadreur : Mr MAZA Mekki docteur à l'université du M'sîla, 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 ..... 4**

**I.1 Les granulats ..... 5**

**I.1.1 Définition ..... 5**

**I.1.2 Caractéristiques ..... 5**

**I.1.3 Classification des granulats ..... 10**

**I.1.4 Type des granulats ..... 11**

**I.1.5 Production des granulats ..... 12**

**I.2 Le ciment Blanc ..... 16**

**I.2.1 Introduction ..... 16**

**I.2.2 Performances et caractéristiques normalisées ..... 18**

**I.2.3 Propriétés physiques et mécaniques ..... 18**

**I.2.4 Propriétés chimiques ..... 19**

**I.3 Adjuvants ..... 21**

**I.3.1 Introduction ..... 21**

**I.3.2 Différentes familles d'adjuvants ..... 21**

**I.4 L'eau de gâchage ..... 22**

**I.4.1 Convenances ..... 22**

**I.4.2 Les catégories de l'eau de gâchage ..... 22**

**I.4.3 Les catégories d'eaux ne devant pas être utilisées comprennent ..... 22**

**I.4.4 Importance du rapport eau/ciment (E/C) ..... 23**

<b>I.5</b>	<b>Le béton .....</b>	<b>23</b>
<b>I.5.1</b>	<b>Définition .....</b>	<b>23</b>
<b>I.5.2</b>	<b>Types de bétons .....</b>	<b>24</b>
<b>I.5.3</b>	<b>Propriétés du béton .....</b>	<b>25</b>
	<b>Conclusion .....</b>	<b>28</b>

## **CHAPITRE II : Caractéristiques des matériaux**

<b>II.1</b>	<b>Introduction .....</b>	<b>30</b>
<b>II.2</b>	<b>Caractéristiques du sable utilisés .....</b>	<b>30</b>
<b>II.2.1</b>	<b>Analyse granulométrique .....</b>	<b>30</b>
<b>II.2.2</b>	<b>Module de finesse .....</b>	<b>32</b>
<b>II.2.3</b>	<b>Masse volumique absolue .....</b>	<b>33</b>
<b>II.2.4</b>	<b>Masse volumique apparente .....</b>	<b>34</b>
<b>II.2.5</b>	<b>Porosité .....</b>	<b>35</b>
<b>II.2.6</b>	<b>Compacité .....</b>	<b>35</b>
<b>II.2.7</b>	<b>L'indice des vides .....</b>	<b>36</b>
<b>II.2.8</b>	<b>Equivalent de sable .....</b>	<b>36</b>
<b>II.2.9</b>	<b>Degré d'absorption d'eau .....</b>	<b>38</b>
<b>II.2.10</b>	<b>Teneur en eau .....</b>	<b>39</b>
<b>II.2.11</b>	<b>Les caractéristiques chimiques du sable de Djamaa .....</b>	<b>40</b>
<b>II.3</b>	<b>Gravier roulée .....</b>	<b>40</b>
<b>II.3.1</b>	<b>Origine de gravier .....</b>	<b>40</b>
<b>II.3.2</b>	<b>Caractéristiques physiques du gravier utilisé .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3.2.1</b>	<b>Masse volumique apparente .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3.2.2</b>	<b>Masse volumique absolue .....</b>	<b>41</b>
<b>II.3.2.3</b>	<b>La densité absolue .....</b>	<b>42</b>
<b>II.3.2.4</b>	<b>Porosité, compacité et indice des vides .....</b>	<b>42</b>
<b>II.3.2.5</b>	<b>Degré d'absorption d'eau .....</b>	<b>43</b>

II.3.2.6	Teneur en eau .....	43
II.3.2.7	Analyse granulométrique .....	43
II.3.2.8	Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) .....	44
II.4	Le ciment .....	46
II.4.1	Analyse chimique du ciment .....	46
II.4.2	Propriété physique .....	46
II.4.3	Temps de prise .....	46
II.4.4	Résistance à la compression .....	47
II.4.5	Composition minéralogique du clinker .....	47
II.4.6	La masse volumique .....	47
II.5	Adjuvant .....	47
II.5.1	Description du produit .....	47
II.5.2	Caractéristiques .....	48
II.5.3	Dosage .....	48
II.6	Polystyrène .....	48
II.6.1	Les caractéristiques techniques .....	49
II.7	Eau de gâchage .....	49
II.7.1	Caractéristique chimique de l'eau utilisée .....	49
II.8	Formulation du béton .....	50
II.8.1	Méthode de calcul de la composition du béton .....	50
II.8.2	Composition du micro béton pour 1 m <sup>3</sup> par la méthode du volume absolue..	54
II.9	Conclusion .....	54

### CHAPITRE III : Résultats et discussions

III.1	Introduction .....	56
III.2	Essais et procédures .....	56
III.2.1	Détermination de la composition .....	56
III.2.2	Détermination de la masse volumique .....	57

<b>III.2.3</b>	<b>Détermination de la fluidité .....</b>	<b>57</b>
<b>III.2.4</b>	<b>Absorption d'eau (A%) .....</b>	<b>58</b>
<b>III.2.5</b>	<b>Détermination de la résistance du micro béton durci .....</b>	<b>59</b>
<b>III.3</b>	<b>Discutions des résultats .....</b>	<b>60</b>
<b>III.3.1</b>	<b>Masse volumique .....</b>	<b>60</b>
<b>III.3.2</b>	<b>La fluidité .....</b>	<b>62</b>
<b>III.3.3</b>	<b>La résistance à la compression .....</b>	<b>64</b>
	<b>Conclusion général et perspective .....</b>	<b>68</b>

## List des tableaux

<b>Tableau I.1 : Classification des granulats.</b>	<b>11</b>
<b>Tableau I.2 : Composition chimique du clinker blanc et gris.</b>	<b>17</b>
<b>Tableau I.3 : Types, classes et domaines d’application de ciment blanc.</b>	<b>18</b>
<b>Tableau I.4 : Résistances à la compression en MPa.</b>	<b>19</b>
<b>Tableau I.5 : Temps de prise en min.</b>	<b>19</b>
<b>Tableau I.6 : Teinte blanche de ciment blanc.</b>	<b>19</b>
<b>Tableau I.7 : Propriétés chimiques du ciment portland blanc.</b>	<b>20</b>
<b>Tableau I.8 : Types de béton en fonction de leur destination.</b>	<b>24</b>
<b>Tableau I.9 : Types de béton en fonction de leur masse volumique.</b>	<b>24</b>
<b>Tableau I.10 : Types de béton en fonction de D max.</b>	<b>25</b>
<b>Tableau I.11 : Types de béton en fonction de leur consistance.</b>	<b>25</b>
<b>Tableau II.1 : Analyse granulométrique de sable de Djamaa.</b>	<b>32</b>
<b>Tableau II.2 : Masse volumique absolue du sable de Djamaa.</b>	<b>33</b>
<b>Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable de Djamaa à l’état lâche.</b>	<b>34</b>
<b>Tableau II.4 : Masse volumique apparente du sable de Djamaa à l’état compact.</b>	<b>35</b>
<b>Tableau II.5: La porosité, la compacité et l’indice de vide pour le sable de Djamaa.</b>	<b>36</b>
<b>Tableau II.6 : Equivalent du sable de Djamaa.</b>	<b>38</b>
<b>Tableau II.7 : Comparaison des résultats.</b>	<b>38</b>
<b>Tableau II.8 : Degré d'absorption du sable de Djamaa.</b>	<b>39</b>
<b>Tableau II.9 : Teneur en eau du sable de Djamaa.</b>	<b>40</b>
<b>Tableau II.10 : Analyse chimique du sable Djamaa.</b>	<b>40</b>
<b>Tableau II.11: Masse volumique apparente du gravier utilisé.</b>	<b>41</b>
<b>Tableau II.12 : Masse volumique absolue du gravier utilisé</b>	<b>42</b>
<b>Tableau II.13 : La densité du gravier utilisé.</b>	<b>42</b>
<b>Tableau II.14 : Porosité, Compacité Et Indice Des Vides pour gravier utilisé.</b>	<b>42</b>
<b>Tableau II.15 : Degré d'absorption d'eau du gravier utilisé.</b>	<b>43</b>
<b>Tableau II.16 : Teneur en eau du gravier utilisé.</b>	<b>43</b>
<b>Tableau II.17 : Analyse granulométrique du gravier utilisé.</b>	<b>43</b>

<b>Tableau II.18. : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.</b>	<b>45</b>
<b>Tableau II.19 : Classification des roche en fonction du coefficient LA.</b>	<b>45</b>
<b>Tableau II.20 : Analyse chimique de ciment blanc MALAKI.</b>	<b>46</b>
<b>Tableau II.21 : Propriété physique de ciment blanc MALAKI.</b>	<b>46</b>
<b>Tableau II.22 : Début et fin de prise de ciment blanc MALAKI.</b>	<b>46</b>
<b>Tableau II.23 : Résistance à la compression de ciment blanc MALAKI.</b>	<b>47</b>
<b>Tableau II.24 : Composition minéralogique de clinker.</b>	<b>47</b>
<b>Tableau II.25 : La masse volumique apparent et absolue de ciment blanc MALAKI.</b>	<b>47</b>
<b>Tableau II.26 : Caractéristiques chimique d'eau.</b>	<b>50</b>
<b>Tableau II.27 : Valeurs des coefficients A et A'.</b>	<b>52</b>
<b>Tableau II.28 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.</b>	<b>53</b>
<b>Tableau II.29 : Valeur de coefficient <math>\alpha</math>.</b>	<b>54</b>
<b>Tableau II.30 : Composition 1m<sup>3</sup> du béton.</b>	<b>54</b>
<b>Tableau III.1 : Symbole et composants des types des micro-bétons.</b>	<b>56</b>
<b>Tableau III.2 : Composition des micros béton.</b>	<b>56</b>
<b>Tableau III.3 : La masse volumique des micros bétons.</b>	<b>57</b>
<b>Tableau III.4 : Fluidité des micros bétons.</b>	<b>58</b>
<b>Tableau III.5 : Capacité d'absorption des micros bétons.</b>	<b>59</b>
<b>Tableau III.6 : Résistance à la compression des micros bétons.</b>	<b>60</b>

## List des figures

<b>Figure I.1 : Les différents types des granulats.</b>	<b>5</b>
<b>Figure I.2: Appareille de los Angeles.</b>	<b>6</b>
<b>Figure I.3: Essai de l'équivalent de sable.</b>	<b>10</b>
<b>Figure I.4 : Ciment blanc Malaki.</b>	<b>18</b>
<b>Figure I.5 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams.</b>	<b>26</b>
<b>Figure I.6 : Béton frais.</b>	<b>27</b>
<b>Fig II.1 : Les tamis.</b>	<b>31</b>
<b>Figure II.2 : La courbe granulométrique du sable de Djamaa.</b>	<b>32</b>
<b>Figure II.3 : La courbe granulométrique du gravier utilisé.</b>	<b>44</b>
<b>Figure II.4 : Appareil de l'essai Los Angeles.</b>	<b>44</b>
<b>Figure II.5 : Des billes de polystyrène.</b>	<b>49</b>
<b>Figure III.1 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de polystyrène.</b>	<b>61</b>
<b>Figure III.2 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de l'adjuvant.</b>	<b>61</b>
<b>Figure III.3 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de rapport E/C.</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.4 : Rapport E/C en fonction de polystyrène.</b>	<b>62</b>
<b>Figure III.5 : Rapport E/C en fonction de l'adjuvant.</b>	<b>63</b>
<b>Figure III.6 : Réduction d'eau en fonction de polystyrène.</b>	<b>63</b>
<b>Figure III.7 : Réduction d'eau en fonction de l'adjuvant.</b>	<b>64</b>
<b>Figure III.8 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de polystyrène.</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.9 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de l'adjuvant.</b>	<b>65</b>
<b>Figure III.10 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de rapport E/C.</b>	<b>66</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 alléger le micro-béton par l'ajout de différents pourcentages de polystyrène, 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 30% de polystyrène qui obtient le plus allègement, 1,5% d'adjuvant donne bonne fluidité et augmenté la résistance mécanique.

**Mots clés :** polystyrène, adjuvant, allègement, 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 يرتكز على تخفيف الخرسانة الدقيقة وذلك بإضافة نسب متغيرة من البوليسترين, و لتحسين السيولة و المقاومة الميكانيكية للخرسانة بمساعدة مادة مضافة. نتائج هذا البحث تؤكد ان نسبة 30% من البوليسترين يقدم افضل تخفيف للخرسانة, 1,5% من المادة الضافة تمنح مقاومة عالية للخرسانة.

**الكلمات المفتاحية :** البوليسترين، مادة مضافة، التخفيف، 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 objective of our work is to lighten the micro-concrete by adding different percentages of polystyrene, and to improve the fluidity and the mechanical strength of the micro-concrete by the incorporation of adjuvant.

The results obtained from this research confirm that the rate of 30% of polystyrene gives the most alleviation, 1.5% of adjuvant gives good fluidity and increases the mechanical strength.

**Keywords :** polystyrene, adjuvant, alleviation, strength.

# **Introduction générale**

## **Introduction générale :**

Le béton est un des matériaux le plus utilisé dans le domaine de la construction, ses performances ne cessent de s'améliorer, en l'occurrence les résistances mécaniques et la durabilité.

L'intérêt des bétons légers réside dans le gain important qu'on peut réaliser sur le poids propre de l'ouvrage.

L'utilisation d'un béton de masse volumique plus faible peut donc être bénéfique en termes d'éléments portants de sections plus petites et de la réduction correspondante des fondations. Occasionnellement l'utilisation d'un béton de masse volumique plus faible peut permettre de construire sur un sol de faible capacité portante, ainsi avec ces faibles densités les coffrages subissent une pression moindre qu'avec un béton de densité normale.[1]

Dans ce travail de recherche, nous proposons l'introduction du micro béton au ciment blanc avec polystyrène en différentes pourcentages, et un adjuvant pour améliorer la résistance et la fluidité.

## **Objectif de l'étude :**

L'étude entreprise de ce mémoire vise à atteindre un objectif principal c'est la formulation d'un micro béton allégés avec différents pourcentages du polystyrène, pour compenser la perte de résistance on ajoutent l'adjuvant (**MEDAFLOW 30**).

## **Organisation du mémoire**

Notre mémoire est structuré en une introduction générale et trois chapitres.

- **Introduction générale.**
- **Le premier chapitre :** une recherche bibliographique traite les différents matériaux constituant le micro béton.
- **Le deuxième chapitre :** étude sur les caractéristiques des matériaux utilisés dans les micros bétons.
- **Le troisième chapitre :** l'interprétation des résultats des essais obtenus à partir de l'expérimentation.
- **Conclusion générale et perspectives.**

# **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 dépassent pas 8 ou 10 mm), permet la reconstitution d'un matériau qui présente des caractéristiques (physico-chimiques et mécaniques) proches de celles du béton. Il est 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.

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). [2]

**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. [3]

**❖ 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 intergranulaires.

❖ **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. [4] 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. [5]

❖ **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. [6]

❖ **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 granulat, elle sert à classer le granulat.

**b. Classe granulaire :**

La classe granulaire désigne un granulat 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 granulat. 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 tamisats 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 Cc.
- ✓ L'uniformité (granulométrie serrée ou étalée) à l'aide du coefficient d'uniformité Cu.
- ✓ La continuité ou la discontinuité. [7]

**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 :**

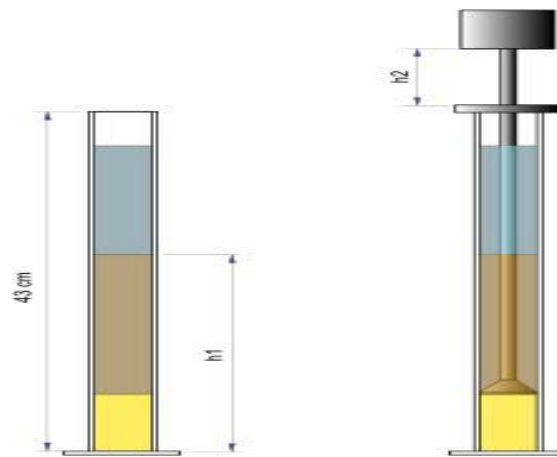
Le coefficient d'aplatissement A est le rapport de la somme des masses de passant sur les grilles à fentes correspondantes d'écartement  $D_i/2$  en gramme à la somme des masse des granulats élémentaires  $d_i/D_i$  en grammes. Ce rapport représenté ci-dessous est exprimé en pourcentage et arrondi au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

**e. Propriétés des granulats : [8]**

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 : [7]**

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. [8]

<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 $D \leq 4$ mm
Graves	0/D	$D \geq 6,3$ mm
Gravillons	d/D	$d \geq 2$ mm et $D \leq 63$ 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 (grès, 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, en 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  $D_0$  de la maille de l'équipement du crible. En général,  $D$  est de l'ordre de  $0.85$  à  $0.9 D_0$ .

### **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  $150\mu\text{m}$ .

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%. [9]



**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.**

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

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

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

**I.2.3.3 Teinte Blanche :**

<b>Classes</b>	<b>Luminosité moyenne (en %)</b>
<b>CEM II/ A-LL 42, 5 N</b>	85
<b>CEM I 42, 5 N LA</b>	82
<b>CEM I 52,5 N LA</b>	84
<b>CEM I 52,5 R LA</b>	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>
<b>Mgo</b>	3.5% maximum.	4.5% maximum.
<b>Cl</b>	-	0,10% Maximum
<b>Résidus Insolubles</b>	1,5% Maximum	5% maximum.
<b>Perte au Feu</b>	4% maximum	5% maximum.
<b>Facteur de Saturation de Chaux</b>	0,66-1,02	-

**Tableau I.7 : Propriétés chimiques du ciment portland 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 [10] 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.4 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.4.1 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.4.2 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.4.3 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.4.4 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. [11]

## **I.5 Le béton :**

### **I.5.1 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.5.2 Types de bétons :**

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

#### **I.5.2.1 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 construction	destinés à la construction courante des bâtiments ou des ouvrages de 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. [12]**

#### **I.5.2.2 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>	<b>Béton léger</b>	<b>Béton normal</b>	<b>Béton lourd</b>
<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. [13]**

**I.5.2.3 Leur granularité :**

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

Classes du béton	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
<b>D max</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  $D_{max}$ . [10]**

**I.5.2.4 Leur consistance (cône d'Abrams) :**

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

Affaissement (A) en cm	Classe des bétons
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. [14]**

**I.5.3 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.5.3.1 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.[15]

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. [16]

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. [1]

### I.5.3.1.1 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. [17]

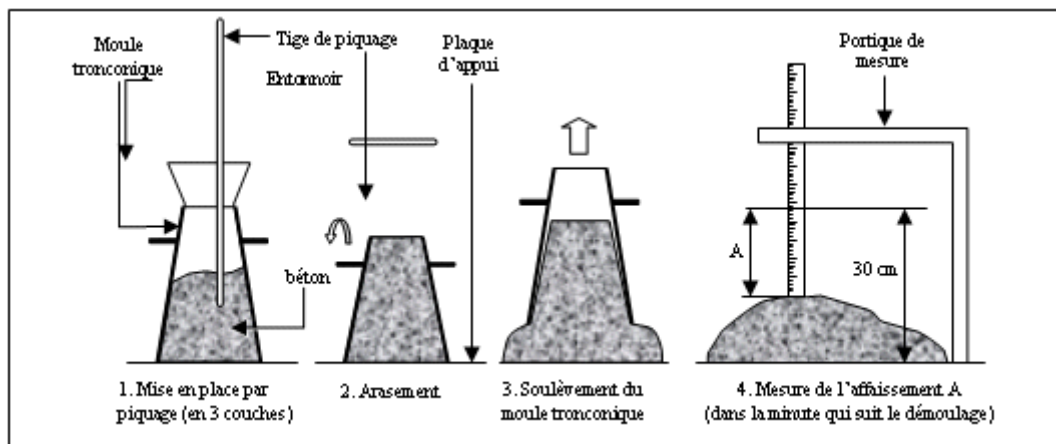


Figure I.5 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams. [17]

### I.5.3.1.2 La masse volumique du béton frais : [18]

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 :

$$D = \frac{m_2 - m_1}{V}$$

- ✓ **D** : est la masse volumique du béton frais ( $\text{kg/m}^3$ )
- ✓ **m1** : 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.6 : Béton frais.**

### **I.5.3.2 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.5.3.2.1 Résistance à la compression : [19]**

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.

### **Conclusion :**

Cette partie théorique nous permet de conclure que le béton est un matériau hétérogène dont le choix des composants est en fonction des critères qui lui sont recherchés. Ces critères sont essentiellement les résistances mécaniques et la durabilité, elles dépendent de la porosité et de la qualité de ces composants.

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

### **II.1 Introduction :**

Nous présenterons 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.

Les matériaux utilisés sont :

- ✓ Le sable de dune de la région d'Oued Souf (Djamaa).
- ✓ Le ciment blanc CPJ de l'usine de LA FARGE Algérie (région de Mascara, Oggaz)
- ✓ Les adjuvants : **MEDAFLOW 30** de Granitex. (super-plastifiant).
- ✓ L'eau potable du laboratoire.
- ✓ Gravier roulée (BOUSAADA).

### **II.2 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 un sable de dune de la région de (Djamaa) d'Oued Souf

#### **II.2.1 Analyse granulométrique : (NF P 18-560)**

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

1. Tamisage.
2. Sédimentation.

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

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

### ❖ Mode opératoire :

Prélever (2 kg) de matériau (sable sec).

✓ Peser chaque tamis à vide à 1 g près, soit  $m_i$  la masse du tamis.

✓ Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des mailles est respectivement

de haut en bas : **5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125** et éventuellement **0,08mm**. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.

✓ Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine



**Fig II.1 : Les tamis.**

d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.

✓ Peser chaque tamis séparément à **1** g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.

✓ Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.

✓ Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumuler du tamis 2 ( $R_2=R_1$ +Refus partiel sur tamis).

✓ Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masses des différents refus cumulés  $R_3, R_4, \dots$

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivante :  **$T= 100 - R_c$**

Où :

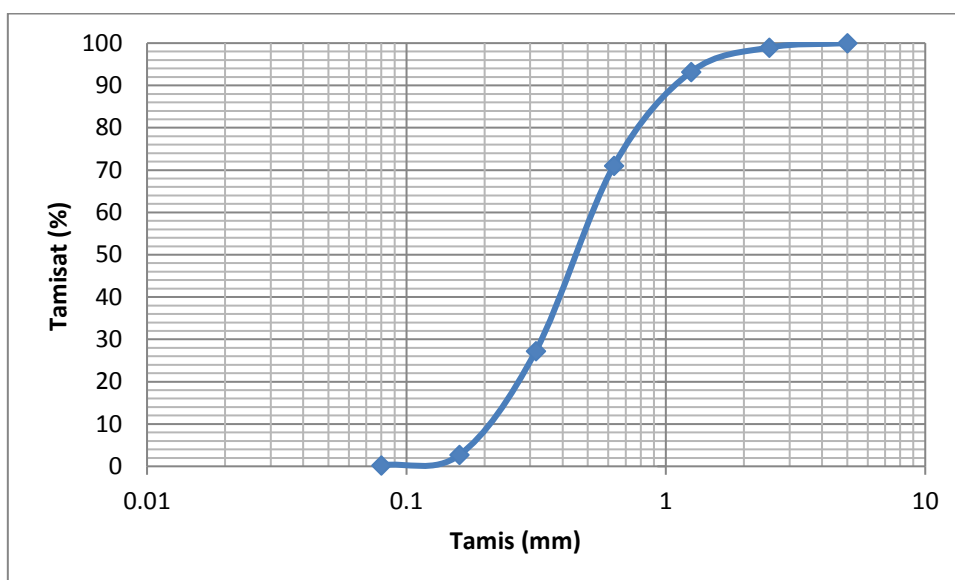
✓ T: Tamisât en %

✓  $R_c$  : Refus cumulés en %

Les résultats sont les tableaux suivants :

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	0	0	0	100
2.5	21	21	1.05	98.95
1.25	115	136	6.80	93.20
0.63	443	579	28.96	71.04
0.315	876	1455	72.78	27.22
0.16	485	1940	97.04	2.69
0.08	54	1994	99.75	0.25
Fond	5	1999	100	0.0

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



**Figure II.2 : La courbe granulométrique du sable de Djamaa.**

**II.2.2 Module de finesse :**

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

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

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

Où :  $R_c$  : Refus cumulé.

Pour le sable de Djamaa  $Mf = 2.06$

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

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

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

Pour le sable de Djamaa :  $2 < Mf < 2.5$  : C'est un **sable moyen**.

### II. 2.3 Masse volumique absolue : NF P 18-555

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

#### ❖ Mode opératoire :

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

On place l'échantillon dans le récipient de capacité **1000** ml et on y verse **250** ml d'eau préparé préalablement dans **2<sup>ème</sup>** récipient gradué, puis on malaxe soigneusement le contenu pour chasser l'air qui y existe. Après cette opération, on détermine le volume final occupé par le mélange sable – eau. Soit ( $V$ ) ce volume.

Sachant que le volume ( $V_e$ ) d'eau versé est 250 ml, il serait facile de déterminer le volume occupé par le sable seul.

Volume de sable :  $V_1 = V - 250$  ( ml ).

La masse volumique absolue du sable est déterminée par la formule:  $\rho = \frac{M}{V_1}$

Avec :  $M = 300$ g.

#### ❖ Résultats obtenus :

$N^{\circ}$ d'essai	M (g)	$V_e$ ( $cm^3$ )	$V_1$ ( $cm^3$ )	$\rho$ ( $g/cm^3$ )	$\rho_{moy}$ ( $g/cm^3$ )
<b>1</b>	300	250	365	2.61	2.61
<b>2</b>	300	250	366	2.59	
<b>3</b>	300	250	364	2.63	

**Tableau II.2 : Masse volumique absolue du sable de Djamaa.**

**II.2.4 Masse volumique apparente : NF P 18-554**

**II.2.4.1 Masse volumique apparente à l'état lâche :**

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

❖ **Mode opératoire :**

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

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

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

N° d'essai	M <sub>1</sub> (g)	M <sub>2</sub> (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app}$ moye (g/cm <sup>3</sup> )
<b>01</b>	114	1549	1.59	1.59
<b>02</b>	114	1537	1.58	
<b>03</b>	114	1550	1.60	

**Tableau II.3 : Masse volumique apparente du sable de Djamaa à l'état lâche.**

**II.2.4.2 Masse volumique apparente à l'état compact :**

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

❖ **Mode opératoire :**

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

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Où :

$M_1$  : Masse du récipient à vide.

$M_2$  : Masse du récipient plus le sable.

$V_r$  : Volume du récipient  $V_r=900\text{cm}^3$ .

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	$\rho_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{app\ moy}$ (g/cm <sup>3</sup> )
<b>01</b>	114	1697	1.76	1.74
<b>02</b>	114	1672	1.73	
<b>03</b>	114	1665	1.72	

**Tableau II.4 : Masse volumique apparente du sable de Djamaa à l'état compact.**

### II.2.5 Porosité : (NF P 18-554)

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

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

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

On distingue deux cas :

Pour le sable de Djamaa :

- Etat lâche :  $\rho_L = 39.08\%$ .
- Etat compacte :  $\rho_c = 33.33\%$ .

### II.2.6 Compacité :

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

La compacité donnée par la formule :

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

On distingue deux cas :

Pour le sable de Djamaa :

- Etat lâche :  $C_L = 60.92 \%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 66.66\%$ .

### II.2.7 L'indice des vides :

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

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

Avec P en pourcent (%).

Pour le sable de Djamaa :

- Etat lâche :  $e = 0.641\%$
- Etat compacte :  $e = 0.50\%$

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

Porosité P%		Compacité C%		Indice des vides e	
Lâche	Compact	Lâche	Compact	Lâche	Compact
39.08	33.33	60.92	66.66	0.641	0.50

**Tableau II.5: la porosité, la compacité et l'indice de vide pour le sable de Djamaa.**

### II.2.8 Equivalent de sable : NF P 18-598

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

#### ❖ Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieure à **500 g**).
- Prendre une pesée de **120 g**.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (**10cm**).
- A l'aide de l'entonnoir verser la prise d'essai (**120g**) dans l'éprouvette et taper fortement à plusieurs reprises avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant **10 minutes**.

- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer **90** cycles de **20**cm de cours horizontale en **30** secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vanteau dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le **2<sup>ème</sup>** repère. Laisser ensuite reposer pendant **20** minutes.

### ❖ **Equivalent de sable visuel (ESV) :**

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

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

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

### ❖ **Equivalent de sable visuel (ESP) :**

- ✓ Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. A cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- ✓ Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston. Soit  $h'_2$  la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

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

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

N° d'essai	$h_1$ (cm)	$h_2$ (cm)	ESV (%)	$h'_2$ (cm)	ESP (%)
01	10.5	8.7	82.86	8.1	77.14
02	10.4	8.5	81.73	8.1	77.88
03	10.4	8.7	83.65	8.4	80.77

**Tableau II.6 : Equivalent du sable de Djamaa.**

$$(ESV)_{moy} = 82.74 \%$$

$$(ESP)_{moy} = 78.59\%$$

Donc:  $75 \leq ESV \leq 85$

$70 \leq ESP \leq 80$

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

**Tableau II.7 : Comparaison des résultats.**

❖ **Pour le sable de Djamaa :** C'est un sable propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de hautes qualité.

❖ **Commentaire :**

$ES_{moy} = 80.67\% \Rightarrow$  Le sable de dune (Djamaa) est propre.

$\Rightarrow$  Le sable (0/5) est un sable moyen.

Donc : le sable qui utilisé propre et gradué (acceptable).

### II.2.9 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

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

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

Où :

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

N° d'essai	$M_1$ (g)	$M_2$ (g)	A (%)	$A_{moy}$ (%)
<b>1</b>	300	307,98	2,66	2,67
<b>2</b>	300	308,66	2,88	
<b>3</b>	300	308,86	2,95	

**Tableau II.8 : Degré d'absorption du sable de Djamaa.**

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

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

### **II.2.10 Teneur en eau : NF P 18-555**

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre **20** à **25 %** de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de **0** à **3%**, on l'appelle sec.

#### **❖ Mode opératoire :**

- ✓ Peser un échantillon de sable humide, soit  $M_h$  son poids (**300 g**).
- ✓ Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de **105°C** à **110 °C** pendant **24** heures.
- ✓ Peser l'échantillon de nouveau, soit  $M_s$  son poids.

La teneur en eau du sable est :

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

Où :

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

N° d'essai	M <sub>h</sub> (g)	M <sub>s</sub> (g)	W(%)	W <sub>moy</sub> (%)
1	300	298,78	0.41	0.38
2	300	298,96	0.35	
3	300	298,86	0.38	

**Tableau II.9 : Teneur en eau du sable de Djamaa.**

### II.2.11 Les caractéristiques chimiques du sable de Djamaa :

La composition chimique du sable de dune (Djamaa) est établie en 10 mars 2017, à la cimenterie de LAFARGE (M'sila).

Constituants		
Élément	Symbole	Teneur en (%)
Silice	SiO <sub>2</sub>	98.26
Chaux	CaO	1.04
Oxyde de ferrique	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.29
Alumine	AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1.16
Oxyde de magnésium	MgO	0.10
Sulfate	SO <sub>3</sub>	0.57
Oxyde de sodium	Na <sub>2</sub> O	0.04
Oxyde de potassium	K <sub>2</sub> O	0.33

**Tableau II.10 : Analyse chimique du sable Djamaa.**

#### Commentaire :

Le sable de Djamaa est un sable à haute teneur en silice.

### II.3 Gravier roulée :

#### II.3.1 Origine de gravier :

Le gravier roulé de base de notre recherche provient: des abords d'Oued MAITAR (BOUSAADA)

#### II.3.1.1 Classes granulaires :

Les fractions du gravier sont :

- ✓ Fraction 3/8.

**II.3.2 Caractéristiques physiques du gravier utilisé :**

**II.3.2.1 Masse volumique apparente :**

❖ **Mode opératoire :**

- ✓ Sécher le matériau jusqu'au poids constant.
- ✓ Peser le récipient à l'état vide ( $M_1$ ).
- ✓ Poser le récipient sur une table et à l'aide d'une pelle le remplir de gravier avec un certain excédent que l'on relève au ras de la surface du récipient. La distance séparant le récipient de la pelle doit être aux environs de 10cm.
- ✓ Peser de nouveau le récipient plein de gravier. Soit  $M_2$  ce poids.

La masse volumique apparente est déterminée par la formule suivante :

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

Où :

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

Fraction	Essai	$M_1$ (kg)	$M_2$ (kg)	$\rho_{app}$ (kg/l)	$\rho_{app}$ moyen (kg/l)
3/8 V=7 L	1	2.921	12.966	1.435	1.434
	2		12.994	1.439	
	3		12.917	1.428	

**Tableau II.11: Masse volumique apparente du gravier utilisé.**

**II.3.2.2 Masse volumique absolue :**

❖ **Mode opératoire :**

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

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

Graviers	N° d'essai	$M_1(g)$	$V_e(cm^3)$	$V(cm^3)$	$\rho_{abs}(g/cm^3)$	$\rho_{moy}(g/cm^3)$
3/8	01	300	250	360	2.73	2.67
	02	300	250	362	2.68	
	03	300	250	365	2.61	

**Tableau II.12 : Masse volumique absolue du gravier utilisé.**

**II.3.2.3 La densité absolue :**

La densité est le rapport entre la masse volumique absolue du matériau et la masse volumique de l'eau.

Les résultats sont regroupés dans le tableau suivant :

<i>Les fractions</i>	Gravier 3/8
<i>Densité normale</i>	2.67

**Tableau II.13 : la densité du gravier utilisé.**

**II.3.2.4 Porosité, compacité et indice des vides : NF P 18-554**

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

On calcule la porosité selon la formule :

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

La compacité donnée par la formule :

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

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

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

<i>fraction de gravie</i>	<b>Porosité (%)</b>	<b>Compacité (%)</b>	<b>l'indice de vide</b>
3/8	46.44	53.56	0.86

**Tableau II.14 : Porosité, Compacité et Indice des vides pour gravier utilisé.**

**II.3.2.5 Degré d'absorption d'eau : NF P 18-554**

Graviers	N°d'essai	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A (%)	$A_{moy}$ (%)
3/8	01	300	312,06	4,02	3.92
	02	300	311,77	3,92	
	03	300	311,53	3,84	

**Tableau II.15 : Degré d'absorption d'eau du gravier utilisé.**

**II.3.2.6 Teneur en eau : NF P 18-555**

Graviers	N°d'essai	$M_h(g)$	$M_s(g)$	W (%)	$W_{moy}$ (%)
3/8	01	350	347,86	0,61	0.58
	02	350	348,04	0,56	
	03	350	347,98	0,58	

**Tableau II.16 : Teneur en eau du gravier utilisé.**

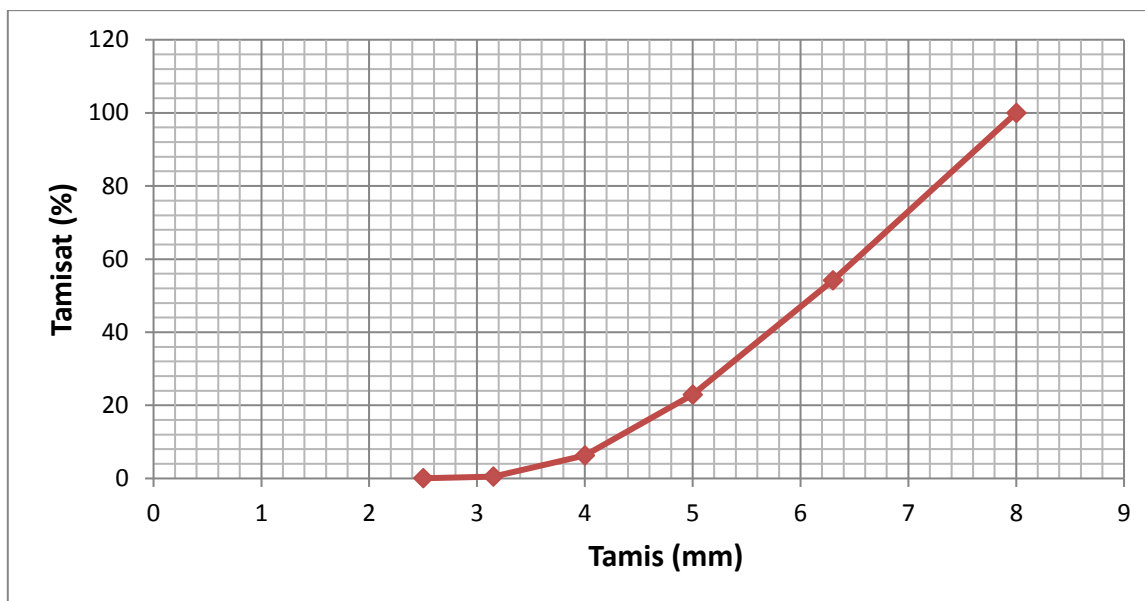
**II.3.2.7 Analyse granulométrique :**

Les résultats obtenus sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

**a)- Fraction 3/8 (2Kg) :**

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulé (g)	Refus cumulé (%)	Tamisât (%)
8	0	0	0	100
6,3	917	917	45.85	54.15
5	625	1542	77.10	22.90
4	332	1874	93.70	6.3
3,15	116	1990	99.50	0.50
2,5	9	1999	99.95	0.05
Fond	1	2000	100	0

**Tableau II.17 : Analyse granulométrique du gravier utilisé.**



**Figure II.3 : La courbe granulométrique du gravier utilisé.**

### **II.3.2.8 Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573**

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



**Figure II.4 : Appareil de l'essai Los Angeles.**

#### **❖ Principe de l'essai :**

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

### ❖ Formulation :

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

Les résultats obtenus sont présentés au tableau suivant :

<i>Fraction de Gravier</i>	<i>Nombre de boules</i>	<b>M (Kg)</b>	<b>m (Kg)</b>	<b>Coef <math>L_A</math> %</b>
<b>Gravier 3/8</b>	7	5	0.538	10.76%

**Tableau II.18 : Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.**

### ❖ Classification :

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

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

**Tableau II.19 : Classification des roche en fonction du coefficient  $L_A$ .**

### ❖ Commentaire :

- Le gravier (3/8) : c'est un gravier très dure ( $L_A=10.76\%$ ) / ( $L_A < 20$ ).

**II.4 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.4.1 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.20 : Analyse chimique de ciment blanc MALAKI.**

**II.4.2 Propriété physique :**

<b>Propriété physique</b>	<b>Norme</b>
Consistance Normal	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.21 : Propriété physique de ciment blanc MALAKI.**

**II.4.3 Temps de prise :**

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

**Tableau II.22 : Début et fin de prise de ciment blanc MALAKI.**

### II.4.4 Résistance à la compression :

<b>2 jours (MPa)</b>	$\geq 20.0$
<b>28 jours (MPa)</b>	$\geq 52.5$

**Tableau II.23 : Résistance à la compression de ciment blanc MALAKI.**

### II.4.5 Composition minéralogique du clinker :

<b>C3S (%)</b>	$55 \pm 3$
<b>C3A (%)</b>	$9.0 \pm 1$

**Tableau II.24 : Composition minéralogique de clinker.**

### II.4.6 La masse volumique :

<b>Masse volumique apparent</b>	<b>Lâche</b>	$1.14 \text{ g/cm}^3$
	<b>compact</b>	$1.19 \text{ g/cm}^3$
<b>Masse volumique absolue</b>		$3.1 \text{ g/cm}^3$

**Tableau II.25 : La masse volumique apparent et absolue de ciment blanc MALAKI.**

## II.5 Adjuvant :

### II.5.1 Description du produit :

Nous avons utilisée **MEDAFLOW 30**, est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer le teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

Il peut être utilisé dans plusieurs domaines à savoir :

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

Son utilisation permet :

### **A- Sur le béton frais :**

- Obtention d'un rapport E/C très faible.
- Amélioration considérable de la fluidité.
- Une très bonne maniabilité.
- Eviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

### **B- Sur le béton durci :**

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

### **II.5.2 Caractéristiques :**

- Aspect.....Liquide.
- Couleur.....Brun clair.
- PH.....6 - 6.5.
- Densité..... $1.07 \pm 0.01$ .
- Teneur en chlore..... $< 0.1$  g/l.
- Extrait sec.....30 %.

### **II.5.3 Dosage :**

La page de dosage recommandée est : 0,5 à 2 % du poids de ciment, soit 0,46 à 1.85 litre pour 100 Kg de ciment.

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

### **II.6 Polystyrène :**

Le polystyrène est une matière plastique très utilisée, essentiellement dans l'emballage, mais également dans des accessoires de la vie de tous les jours. Il existe différents types de polystyrène, homopolymère (plus rigide) ou copolymère (plus résistant au choc) appelé HIPS, ou encore sous la forme expansée, très légère.

### II.6.1 Les caractéristiques techniques :

- ✓ Le polystyrène est un thermoplastique amorphe.
- ✓ Le polystyrène peut être injecté en très fine épaisseur, on peut donc en faire de petites pièces.
- ✓ Aspect et toucher plutôt sec ; bruit "métallique" lorsqu'il tombe.
- ✓ **Transparent** : nouveaux grades pouvant être transparents et résistants au choc.
- ✓ **Rigidité** : parmi les plus rigides : Module de 3 Gpa.
- ✓ **Résistance au choc** : plutôt fragile ; de 0 à +80°C ; mais résistant si expansé.
- ✓ **Densité** : 1.04 kg/l ; mais expansé, on divise sa densité par 10.
- ✓ **Perméabilité aux gaz et à l'humidité** : modérée.
- ✓ **Température d'utilisation** : de 0° à +100°C.
- ✓ **Température de mise en œuvre** : 190 à 250°C.
- ✓ **Soudabilité** : soudure à chaud. Se colle bien.



Figure II.5 : Des billes de polystyrène.

### II.7 Eau de gâchage :

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

#### II.7.1 Caractéristique chimique de l'eau utilisée :

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

<b>La mesure</b>	<b>Teneur en (mg /l)</b>
<b>Degré de température</b>	24.7
<b>PH</b>	7.78
<b>Conductibilité</b>	1799
<b>Chlore <math>Cl^-</math></b>	234.3
<b>Sulfate <math>SO_4^-</math></b>	351.60
<b>Magnésium <math>Mg^{2+}</math></b>	110.8
<b>Sodium <math>Na^+</math></b>	/
<b>Calcium <math>Ca^{2+}</math></b>	267.2
<b>Sédiment sec</b>	1412
<b>rééligibilité d'oxydation en eau</b>	1024

**Tableau II.26 : Caractéristiques chimique d'eau.**

## **II.8 Formulation du béton :**

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

### **II.8.1 Méthode de calcul de la composition du béton :**

Il existe plusieurs méthodes de détermination de la composition du béton proposé et appliquées dans les différents pays du monde , parmi ces méthodes on peut citer :

- ✓ Méthode de BOLOMEY (méthode à granularité continue).
- ✓ Méthode de d'ABRAMS.
- ✓ Méthode de FAURY.
- ✓ Méthode de JOISEL.
- ✓ Méthode de VALETTE.
- ✓ Méthode de DREUX GORISSE.
- ✓ Méthode des volumes absolus.
- ✓ Méthode générale du CES (Centre d'Essais des Structures).

### **II.8.1.a Méthode des volumes absolus :**

Dans le présent chapitre on va utiliser la méthode appelée la méthode des volumes absolus (méthode de SCRAMTAIEV).

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme de tous les matériaux composants pour un dosage de 1 m<sup>3</sup> de béton frais est égal à 1000 litres. C'est une méthode de calcul purement expérimentale.

Pour confectionner un béton, il faut connaître les méthodes de calcul en vigueur (calcul des dépenses en matières premières) et leur mise en œuvre.

On choisit alors les composants du béton d'une façon convenable dans des proportions bien définies.

Les données de base servant pour le calcul de la composition du béton sont :

- ✓ la classe de résistance requise du béton (R<sub>b</sub>).
- ✓ Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- ✓ Les caractéristiques des matériaux d'origine :

1- Activité du ciment (R<sub>c</sub>).

2- Masse spécifique (absolue) du ciment.

3- Masses spécifiques (absolues) et masses volumiques (apparentes) du sable, ou gravier.

4- La porosité des pierres concassées ou du gravier.

Les principes étapes de calcul de la composition du béton sont :

1- On définit le rapport «ciment / eau » (C/ E) qui assure l'obtention d'un béton de résistance requise.

2- On détermine la dépense en eau (E).

3- On fait le calcul de la quantité de ciment (C), ensuite des pierres concassées (PC) ou gravier (G) et de sable (S).

### **II.8.1.b Présentation de la méthode :**

#### **A- Définition du rapport «ciment / eau » :**

Le professeur Scramtaiev à établi la relation suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (R<sub>b</sub>) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

a)- pour :  $C/E \leq 2.5$  on a :  $R_b = A \cdot R_c \cdot [(C/E) - 0.5]$

d'ou' :  $C/E = R_b / (A \cdot R_c) + 0.5.$  (1)

b)- pour :  $C/E > 2.5$

on a :  $R_b = A' \cdot R_c \cdot [(C/E) + 0.50].$

d'ou' :  $C/E = R_b / (A' \cdot R_c) - 0.5.$  (2)

**Avec :**

- **R<sub>b</sub>** : classe de béton (résistance à la compression du béton après 28 jours de durcissement).
- **R<sub>c</sub>** : Activité ou classe du ciment.
- A, A' : coefficients admis d'après le tableau II.27 selon les propriétés et la qualité des matériaux utilisés.
- **C/E** : Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange.

<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.27 : Valeurs des coefficients A et A'.**

La formule (1) correspond aux bétons ordinaires plastiques.

La formule (2) correspond aux bétons plutôt secs de haute résistance mécanique.

### **B-Détermination de la dépense en eau :**

- Elle est établie approximativement d'après le tableau II.28, qui tient compte de la qualité des matériaux utilisés.

Caractéristiques du mélange de béton	Dosage en eau (1/m <sup>3</sup> ) par rapport					
	À la grosseur D max (mm)					
	Pierres concassées			Pierres roulées		
Affaissement au cône « Ac » (cm)	10	20	40	10	20	40
1	195	185	170	185	170	155
2-2.5	200	190	175	190	175	160
3-4	205	195	180	195	180	165
5	210	200	185	200	185	170
7	215	205	190	205	190	175
8	220	210	195	210	195	180
10-12	225	215	200	215	200	190

**Tableau II.28 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.**

**C - Détermination de la dépense en ciment :  $C = [(C/E).E]$**

**D - La détermination du dosage en agrégats** (sables et pierres concassées ou gravier pour un mètre cube de béton frais)

1- 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 :

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

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:

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

**Avec :**

**P<sub>g</sub>**: Porosité des pierres concassées.

$\gamma_g$  : Masse volumique ou masses volumique apparente des pierres concassées en (Kg/litre)

$\alpha$  : Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le tableau II.29.

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	E/C	E/C	E/C	E/C	E/C
	0.40	0.50	0.60	0.70	0.80
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.29 : 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 :

$$G = 1000 / [ P_g \cdot (\alpha/\Gamma g) + (1/\rho_g)] \quad (3)$$

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

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

**II.8.2 Composition du micro béton pour 1 m<sup>3</sup> par la méthode du volume absolue :**

<u>E</u> en ( L)	<u>C</u> en (Kg)	<u>G</u> en (kg)	<u>S</u> en (Kg)
200	400	1186	592

**Tableau II.30 : Composition 1m<sup>3</sup> du béton.**

**II.9 Conclusion :**

Le deuxième 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**

**III.1 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 (adjuvant et polystyrène).

On a utilisé les abréviations suivantes :

<b>Abréviations</b>	<b>Adjuvant (%)</b>	<b>Polystyrène (%)</b>
<b>M1</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
<b>M2</b>	<b>1</b>	<b>/</b>
<b>M3</b>	<b>1.5</b>	<b>/</b>
<b>M4</b>	<b>/</b>	<b>10</b>
<b>M5</b>	<b>/</b>	<b>20</b>
<b>M6</b>	<b>/</b>	<b>30</b>
<b>M7</b>	<b>1</b>	<b>10</b>
<b>M8</b>	<b>1</b>	<b>20</b>
<b>M9</b>	<b>1</b>	<b>30</b>
<b>M10</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>
<b>M11</b>	<b>1.5</b>	<b>20</b>
<b>M12</b>	<b>1.5</b>	<b>30</b>

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

**III.2 Essais et procédures :****III.2.1 Détermination de la composition :**

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

	<b>Composition (%)</b>		<b>Ciment (g)</b>	<b>Sable (g)</b>	<b>Gravier (g)</b>	<b>Adjuvant (g)</b>	<b>Polystyrène (l)</b>
	<b>A</b>	<b>P</b>					
<b>M1</b>	<b>/</b>	<b>/</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
<b>M2</b>	<b>1</b>	<b>/</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>41.4</b>	<b>/</b>
<b>M3</b>	<b>1.5</b>	<b>/</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>62.1</b>	<b>/</b>
<b>M4</b>	<b>/</b>	<b>10</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>/</b>	<b>1.04</b>
<b>M5</b>	<b>/</b>	<b>20</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>/</b>	<b>2.08</b>
<b>M6</b>	<b>/</b>	<b>30</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>/</b>	<b>3.12</b>
<b>M7</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>41.4</b>	<b>1.04</b>
<b>M8</b>	<b>1</b>	<b>20</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>41.4</b>	<b>2.08</b>
<b>M9</b>	<b>1</b>	<b>30</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>41.4</b>	<b>3.12</b>
<b>M10</b>	<b>1.5</b>	<b>10</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>62.1</b>	<b>1.04</b>
<b>M11</b>	<b>1.5</b>	<b>20</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>62.1</b>	<b>2.08</b>
<b>M12</b>	<b>1.5</b>	<b>30</b>	<b>4140</b>	<b>6130</b>	<b>12280</b>	<b>62.1</b>	<b>3.12</b>

**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 (III.3), donnant les valeurs moyennes de trois essais.

	Composition (%)		La masse volumique (kg/l)			
	A	P	1J	7J	14J	28J
M1	/	/	2.334	2.343	2.347	2.351
M2	1	/	2.384	2.391	2.395	2.398
M3	1.5	/	2.392	2.395	2.401	2.408
M4	/	10	2.213	2.215	2.223	2.225
M5	/	20	2.109	2.112	2.116	2.118
M6	/	30	1.991	1.996	1.998	2.007
M7	1	10	2.280	2.285	2.288	2.292
M8	1	20	2.177	2.183	2.187	2.193
M9	1	30	2.072	2.077	2.081	2.087
M10	1.5	10	2.309	2.317	2.321	2.328
M11	1.5	20	2.226	2.235	2.239	2.247
M12	1.5	30	2.134	2.142	2.147	2.155

**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 cout du béton et l'ouvrabilité requise pour la mise en œuvre du béton.

Les résultats d'essais au cône sont regroupés dans le tableau (III.4). L'affaissement est maintenu presque constant dans un intervalle de [4 à 6 cm].

	Composition (%)		Fluidité	
	A	P	Réduction d'eau (%)	E/C
M1	/	/	-6.75	0.53
M2	1	/	23.55	0.38
M3	1.5	/	31.13	0.34
M4	/	10	-6.29	0.56
M5	/	20	-10.64	0.58
M6	/	30	-11.99	0.59
M7	1	10	-11.31	0.41
M8	1	20	-12.62	0.42
M9	1	30	-13.67	0.43
M10	1.5	10	-6.78	0.36
M11	1.5	20	-8.92	0.37
M12	1.5	30	-9.57	0.38

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

#### **III.2.4 Absorption d'eau (A%):**

Cet essai mesure le taux d'absorption de l'eau des éprouvettes de micro-béton saturées. Avant les mesures de l'absorption, les demi prismes d'éprouvettes cubiques 10 x 10 x 10 $cm^3$  seront prés conditionnés dans l'étuve à environ 105 C jusqu'à une masse constante. Après ça on les place dans un bac contenant de l'eau, on les laisse dans l'eau 24 heures.

Après les 24 heures on prend les demi éprouvettes de l'eau, on les laisse 20 minutes après on mesure l'absorption.

$$W(\%) = [(Mh - Ms) / Ms] * 100$$

Où : **Mh** : la masse de l'éprouvette contenue d'eau absorbée

**Ms** : la masse de l'éprouvette sec (après l'étuve pendant 24 h à 105)

Les résultats sont regroupés dans le tableau [III.5] :

	Composition (%)		Absorption d'eau (%)		
	A	P	7J	14J	28J
M1	/	/	5.16	4.81	3.32
M2	1	/	3.92	3.53	2.61
M3	1.5	/	3.77	3.38	2.26
M4	/	10	5.35	4.97	3.92
M5	/	20	5.49	5.08	4.15
M6	/	30	5.68	5.29	4.42
M7	1	10	4.05	3.62	2.73
M8	1	20	4.17	3.74	2.81
M9	1	30	4.26	3.98	2.94
M10	1.5	10	3.86	3.44	2.52
M11	1.5	20	4.01	3.65	2.63
M12	1.5	30	4.16	3.79	2.75

**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.

#### **❖ 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
- ✓ Ac : l'aire de la section de l'éprouvette sur laquelle la force de compression est appliquée.

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

	Composition (%)		Résistance en compression (Mpa)		
	A	P	7J	14J	28J
M1	/	/	28.39	32.54	36.18
M2	1	/	38.08	41.83	48.32
M3	1.5	/	42.31	45.61	51.13
M4	/	10	22.43	24.78	27.31
M5	/	20	14.89	17.41	19.12
M6	/	30	12.44	14.74	17.19
M7	1	10	27.48	29.46	34.85
M8	1	20	24.88	27.03	32.46
M9	1	30	22.01	24.17	29.09
M10	1.5	10	30.02	33.12	39.64
M11	1.5	20	26.37	28.73	34.53
M12	1.5	30	23.85	25.63	31.07

**Tableau III.6 : Résistance à la compression des micros bétons.**

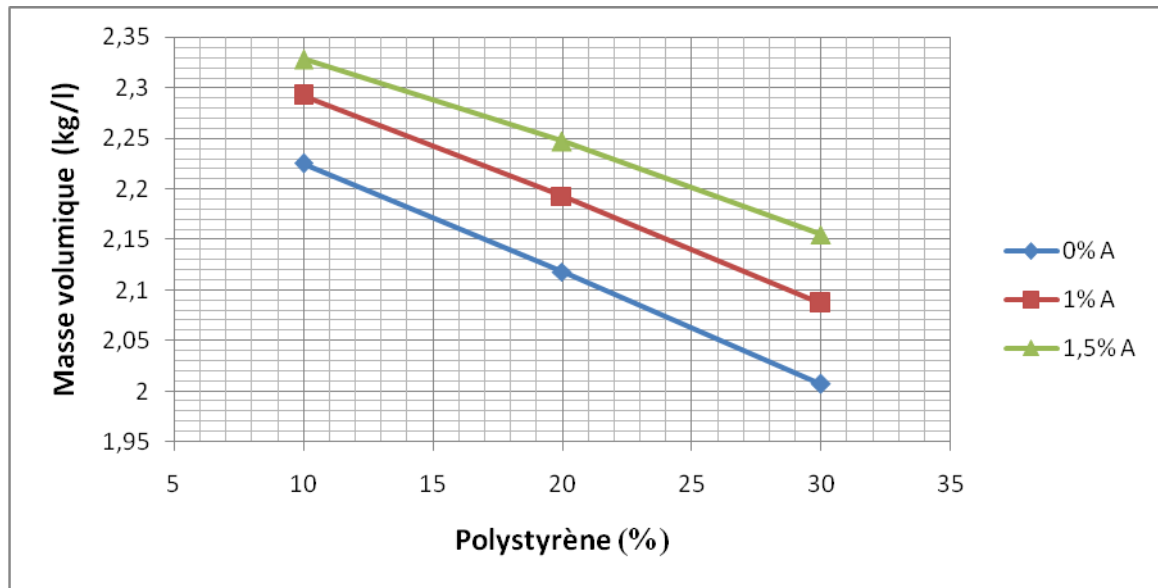
### III.3 Discussion des résultats :

#### III.3.1 Masse volumique :

Les résultats d'essais obtenus et représentés aux tableaux précédents sont discutés en fonction de l'incorporation du polystyrène, du dosage en adjuvant et du rapport E/C.

##### a) Effet de polystyrène :

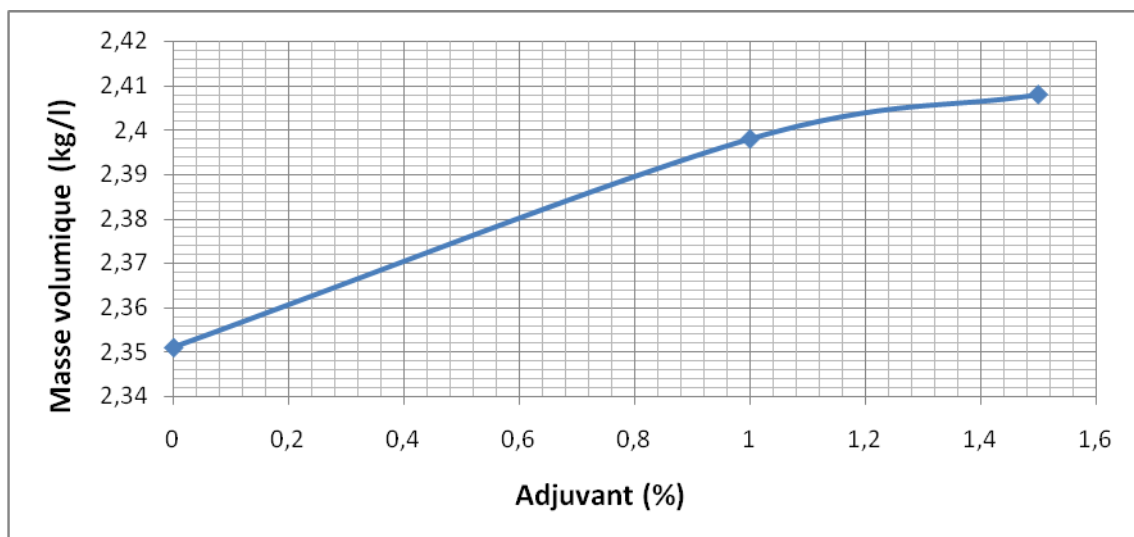
On remarque sur la figure (III.1), l'ajout du polystyrène avec tous dosages et toutes âges est suivit par une baisse continue de la masse volumique du béton quelque soit son dosage en adjuvant , à titre d'exemple la masse volumique du micro-béton témoin avec l'incorporation de 10% de polystyrène passe de 2,225kg/l à 2,007kg/l pour l'incorporation de 30% de polystyrène ce qui permet de réduire la masse volumique de 218kg par tonne, avec un dosage de 1,5% d'adjuvant qui améliore le mode de serrage l'augmentation du taux de polystyrène dans le micro-béton de 10% à 30% de polystyrène fait réduire la masse volumique de 173kg par mètre cube ce qui est très remarquable.



**Figure III.1 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de polystyrène.**

**b) Effet de l'adjuvant :**

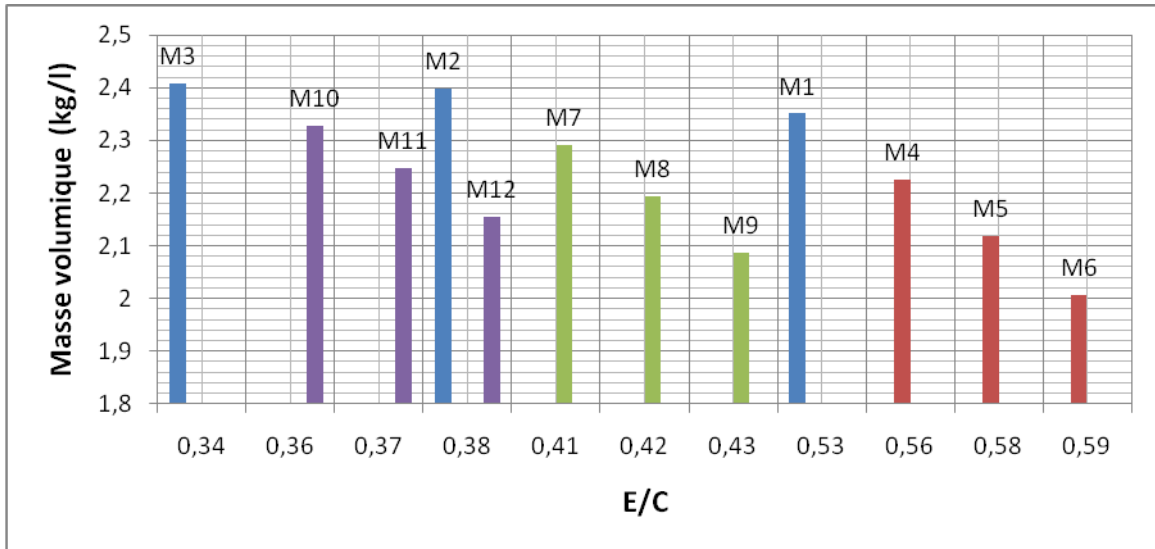
L'ajout de l'adjuvant est bien connu par la lubrification des particules de la matrice cimentaire qui conduit automatiquement à l'amélioration du mode de serrage qui fait augmenter la masse volumique ce qui est bien illustré par la figure (III.2), à titre d'exemple la masse volumique pour le micro-béton témoin passe de 2,35kg/l à 2,409kg/l pour un dosage en adjuvant de 1,5% ce qui a conduit à un gain de 59kg par m<sup>3</sup>.



**Figure III.2 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de l'adjuvant.**

**c) Effet du rapport E/C :**

La réduction du rapport E/C est suivit par une augmentation de la masse volumique du micro-béton, ce qui est bien illustré sur la figure (III.3), ce comportement est identique pour tout incorporation de polystyrène sans et avec adjuvant.



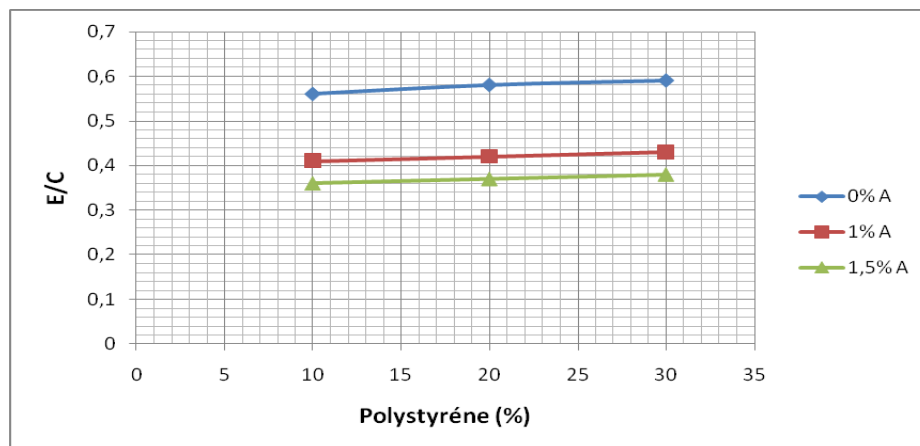
**Figure III.3 : Masse volumique du micro béton à 28 jours en fonction de rapport E/C.**

**III.3.2 La fluidité :**

Les résultats d'essais obtenus et représentés aux tableaux précédents sont discutés en fonction de l'incorporation du polystyrène et du dosage en adjuvant.

**a) Rapport E/C en fonction de polystyrène :**

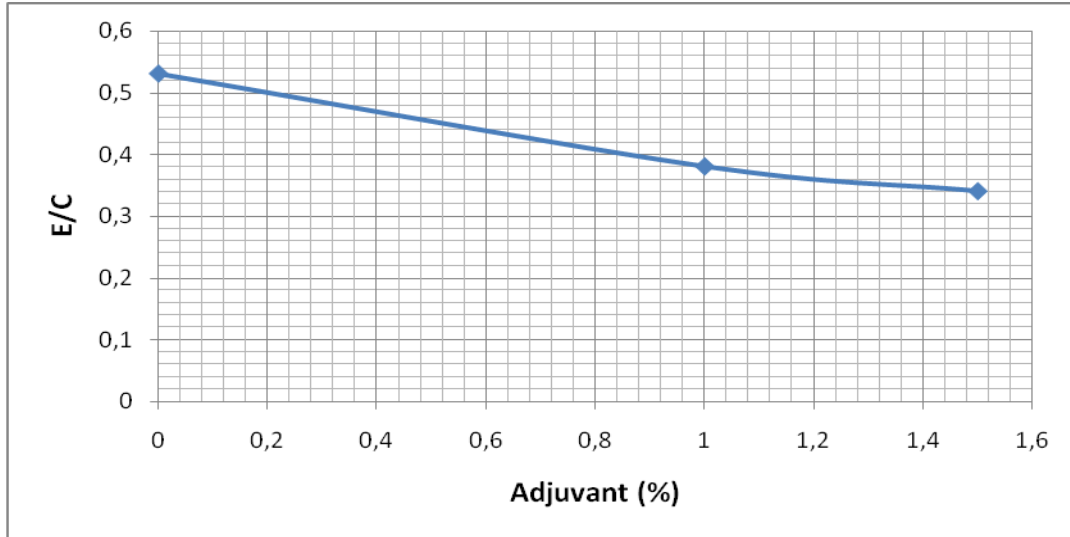
On constate que l'incorporation du polystyrène dans le micro-béton adjuvanté avec des taux croissant (10,20,30%) est suivit par une légère hausse du rapport E/C ce qui est bien illustré par la figure (III.4).



**Figure III.4 : Rapport E/C en fonction de polystyrène.**

**b) Rapport E/C en fonction de l'adjuvant :**

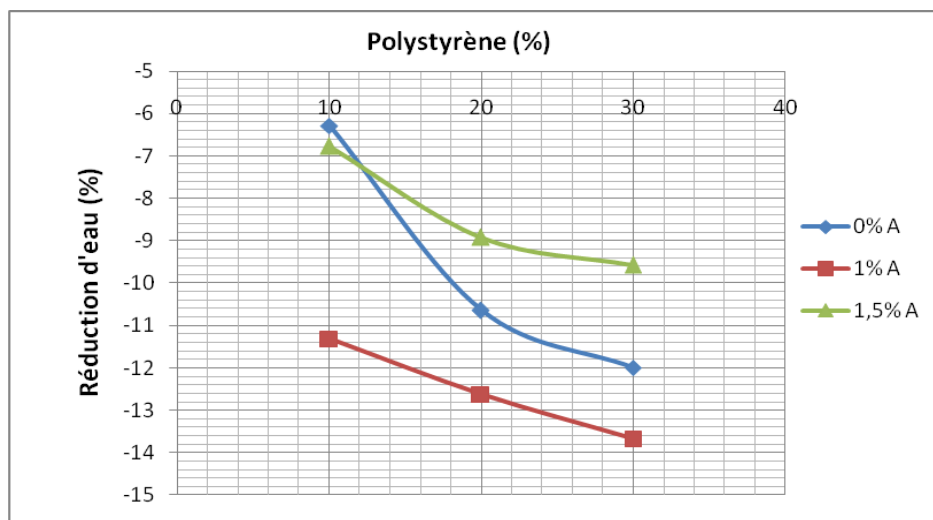
L'ajout de l'adjuvant est bien connu pour son effet de réducteur d'eau et cela est bien visible sur la figure (III.5), tous dosage en adjuvant est bien suivie par une réduction d'eau de gâchage du micro-béton, à titre d'exemple cette réduction passe de 0,53 à 0,34 pour le micro-béton sans polystyrène, et passe de 0,59 à 0,38 pour le micro-béton avec 30% de polystyrène.



**Figure III.5 : Rapport E/C en fonction de l'adjuvant.**

**c) Réduction d'eau en fonction de polystyrène :**

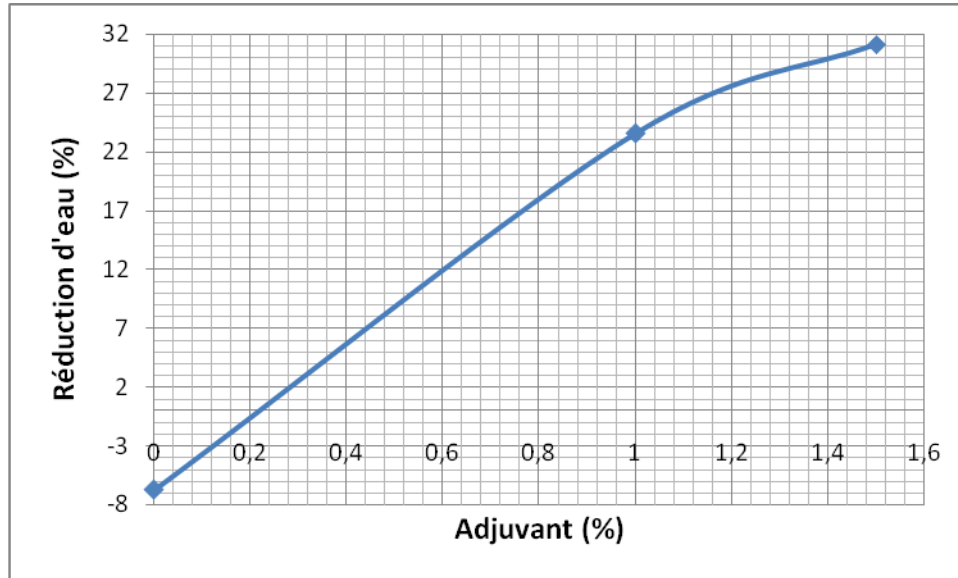
L'incorporation du polystyrène avec des taux croissants dans le micro-béton fait augmenter l'excès d'eau de gâchage malgré le dosage en adjuvant mais en remarque que cet excès d'eau est atténué par l'incorporation de 1,5% d'adjuvant ce qui est bien illustré sur la figure (III.6).



**Figure III.6 : Réduction d'eau en fonction de polystyrène.**

**d) Réduction d'eau en fonction de l'adjuvant :**

Le rôle essentielle de l'adjuvant est la réduction d'eau, cela est bien confirmé par les résultats obtenus lors de cette investigation ce qui est illustré par la figure (III.7), l'augmentation du dosage en adjuvant est bien suivi par une réduction d'eau malgré l'incorporation de polystyrène avec de forte proportion.



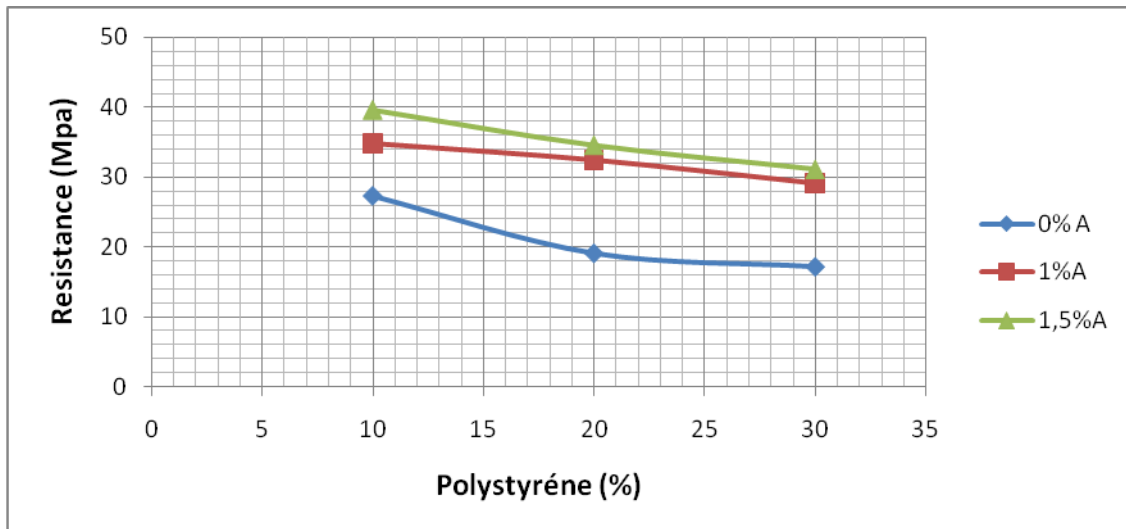
**Figure III.7 : Réduction d'eau en fonction de l'adjuvant.**

**III.3.3 La résistance à la compression :**

Les résultats d'essais obtenus et représentés aux tableaux précédents sont discutés en fonction de l'incorporation du polystyrène, du dosage en adjuvant et du rapport E/C.

**a) Effet de polystyrène :**

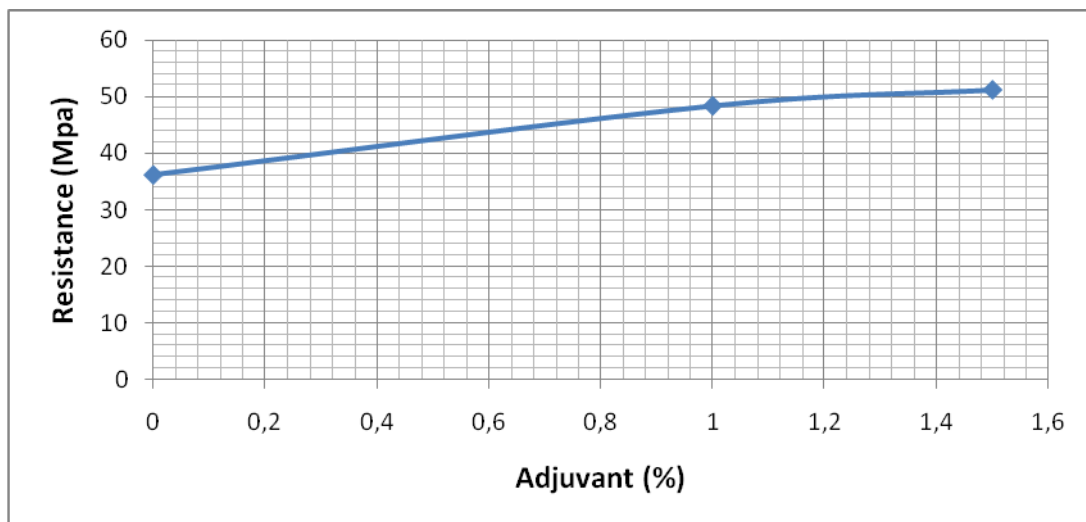
L'ajout de polystyrène au micro-béton est rapidement suivi par une dégression de la résistance en compression surtout si pour le micro-béton sans adjuvant, cette perte de résistance est remarquable elle dépasse même 37%, en combinant l'utilisation du polystyrène avec adjuvant cette baisse de résistance est bien atténuée, on remarque bien sur la figure (III.8) que cette perte de résistance ne dépasse pas 22% en augmentant le taux d'incorporation de 10 à 30% de polystyrène avec un dosage en adjuvant de 1,5% et cette perte de résistance est inférieure à 17% en augmentant le taux d'incorporation de 10 à 30% de polystyrène avec un dosage en adjuvant de 1%.



**Figure III.8 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de polystyrène.**

**b) Effet de l'adjuvant :**

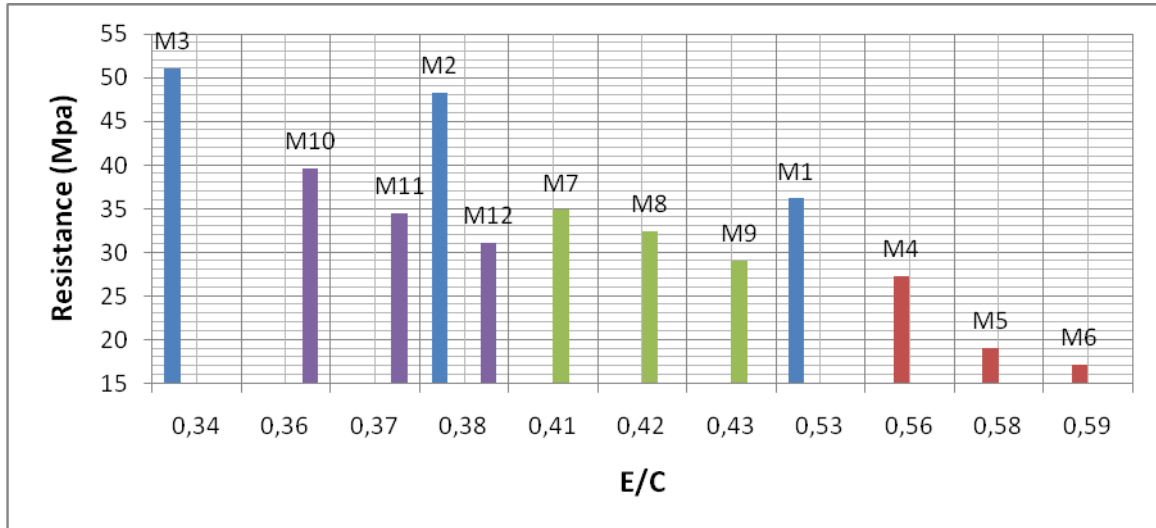
L'analyse des résultats obtenus est représentés par la figure (III.9), montrent que le dosage progressive en adjuvant permet d'améliorer la résistance du micro-béton pour n'importe quel ajout de polystyrène ce la est du essentiellement à la réduction d'eau de gâchage, la résistance optimale atteint une valeur de 51,13 Mpa pour le micro béton M3



**Figure III.9 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de l'adjuvant.**

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

La baisse du rapport E/C est engendré par la hausse de résistance pour tous les micro-béton avec et sans adjuvant et pour toute incorporation de polystyrène, cela est bien illustré sur la figure III.10.



**Figure III.10 : Résistance à la compression a 28 jours en fonction de rapport E/C.**

## **Conclusion générale et perspective**

**Conclusion générale :**

Notre travail consiste à étudier les effets de polystyrène pour alléger le micro béton, et l'ajout de l'adjuvant pour réglée 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 béton).

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

- ✓ Le sable de dune de la région d'Oued Souf (Djamaa).
- ✓ Le ciment blanc CPJ de l'usine de LA FARGE Algérie (région de Mascara, Oggaz)
- ✓ Les adjuvants : **MEDAFLOW 30** de Granitex. (super-plastifiant).
- ✓ L'eau potable du laboratoire.
- ✓ Gravier roulée (BOUSAADA).

Cette modeste investigation nous a permet de tirer plusieurs conclusions dont on cite les plus importantes.

Incorporation du polystyrène dans le micro-béton :

- ✓ Permet une réduction de la masse volumique du micro-béton ;
- ✓ Augment la quantité d'eau de gâchage du micro-béton ;
- ✓ Le rapport E/C est affecté par l'ajout de polystyrène ;
- ✓ Baisse la résistance à la compression du micro-béton ;

La combinaison du polystyrène avec adjuvant :

- ✓ Augmente légèrement la masse volumique ;
- ✓ La réduction d'eau est amélioré sensiblement ;
- ✓ Le rapport E/C est réduit ;
- ✓ La résistance en compression est optimisée.

**❖ Recommandations et perspectives :**

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

Un pourcentage de 30% de polystyrène, avec dosage de 1,5% d'adjuvant.

## **Référence :**

- [1] ADAMM.N : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000.
- [2] FICHES TECHNIQUES. CT-G10. Chapitre2. Les constituants des bétons et des mortiers. Les granulats pour béton. Page 32. janvier 2013.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] GSM. ITALCEMENTI Group : Aide- mémoire qualité des granulats. 05/2009. Www .gsm-granulats.fr.
- [6] Norme NA 2608- 1992. Granulats - Mesure du coefficient de fiabilité des sables.
- [7] GHOMARI. F., BENDI – OUIS A : « Sciences des matériaux. » Université Aboubekr Belkaid. Département de génie civil.
- [8] LIBRAIRIE TECHNIQUE TECHNOSCIENCES : « Granulats sols ciments bétons. Caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire. 03 / 2009. 344 pages.
- [9] 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.
- [10] Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1 : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.
- [11] LAABOUS. Les ciments. Les Bâtiments et Travaux Publics -BTP-. 18 May 2014.
- [12] BARON. J et OLLIVIER.J : « Les bétons : bases et données pour leur formulation » Edition Eyrolles. 1999.

[13] OLLIVIER. J.P et VICHOT A. pour l'ATILH : « La durabilité du béton.»- Presses de l'école des Ponts et Chaussées - Paris - 2008.

[14] DREUX G., FESTA J. : 1995, "Nouveau guide du béton et de ses constituants", Huitième édition, Eyrolles.

[15] DREUX. G 1979 : « Nouveau guide du béton. ».

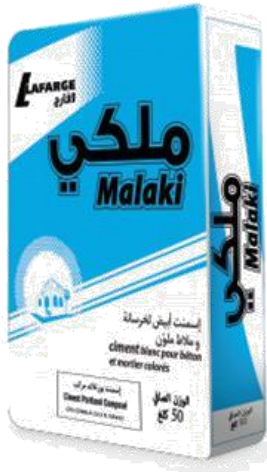
[16] GABRYSIA. F : Matériaux. (Chapitre 2 les granulats et chapitre 4 bétons). 2007.

[17] Groupe Eyrolles : « Cône d'Abrams. » Edition Eyrolles.2010.

[18] EN-12350-6 : masse volumique du béton frais.

[19] Résistance à la compression des éprouvettes.

# **Annexes**



ALGÉRIE

ملكي  
" Malaki



### *Ciment blanc pour béton et mortier colorés*

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 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.
- Le ciment le mieux adapté pour votre ligne de production de bicouche et monocouche.

## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art esthétiques et éléments décoratifs.
- Carreaux de dalle: monocouche et bicouche.



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 0/1 	Gravillons (sec) 8/15mm / 15/25mm 	Eau (litres) 
Dosage pour béton C30/37	X 1 	+ X7 	+ X5  + X4 	+ 25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### • Analyses chimiques

	Valeur
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

### • Temps de prise à 20° (NA 230)

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

### • Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Valeur
C3S (%)	55±3
C3A (%)	9.0±1

### • Résistance à la compression

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

### • Propriétés physiques

	Valeur
Consistance Normale (%)	28±3.0
Finesse suivant la méthode de Blaine (cm²/g) (NA231)	4400 - 5400
Retrait à 28 jours (µm/m)	< 1 000
Expansion (mm)	≤ 3.0

## 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

# MEDAFLOW 30

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

**Super plastifiant  
Haut réducteur d'eau**

## DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.

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

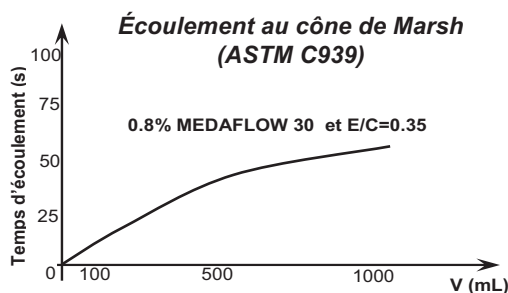
## DOMAINES D'APPLICATION

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

## PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :  
Sur béton frais :

- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :

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

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

## CARACTÉRISTIQUES

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

## MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.

Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

## DOSAGE

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

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

## CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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



## MEDAFLOW 30

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

### Délai de conservation :

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

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

### PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

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

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

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

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



Granitex

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

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

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



## 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 connait 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 alléger le micro-béton par l'ajout de différents pourcentages de polystyrène, 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 30% de polystyrène qui obtient le plus allégement, 1,5% d'adjuvant donne bonne fluidité et augmenté la résistance mécanique.

**Mots clés :** polystyrène, adjuvant, allégement, 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 تخفيف الخرسانة الدقيقة وذلك بإضافة نسب متغيرة من البوليسترين, و لتحسين السيولة و المقاومة الميكانيكية للخرسانة بمساعدة مادة مضافة.

نتائج هذا البحث تؤكد ان نسبة 30% من البوليسترين يقدم افضل تخفيف للخرسانة, 1,5% من المادة الضافة تمنح مقاومة عالية للخرسانة.

**الكلمات المفتاحية :** البوليسترين، مادة مضافة، التخفيف، 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 objective of our work is to lighten the micro-concrete by adding different percentages of polystyrene, and to improve the fluidity and the mechanical strength of the micro-concrete by the incorporation of adjuvant.

The results obtained from this research confirm that the rate of 30% of polystyrene gives the most alleviation, 1.5% of adjuvant gives good fluidity and increases the mechanical strength.

**Keywords :** polystyrene, adjuvant, alleviation, strength.