



**Ministère de l'enseignement supérieure  
et de la recherche scientifique**

**Université Mohamed Boudiaf - M'sila**

**Faculté de technologie**



**Département de GENIE CIVIL**

**MEMOIRE**

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

**FILIERE : Génie Civil**

**SPECIALITE : Matériaux.**

**THEME**

**Propriétés des micros bétons  
légers**

**Dirigé par:**

*Encadreur : Pr NACERI Abdelghani  
CO- Encadreur : Mr MAZA Mekki*

**Présenté par : Abdelbaki**

*Mohamed Madani*

**Promotion : 2015/2016.**

## **Remerciements**

*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. Je tiens à remercier chaleureusement les membres du jury, je leur exprime toute ma gratitude.*

*Je remercie chaleureusement Monsieur MAZA.M pour avoir toujours été présent durant ces trois mois. Ce fut avec grand plaisir d'avoir pu discuter, expliquer ou concevoir de nouvelles approches. Merci pour votre patience et votre soutien.*

*Je voudrais également remercier le Professeur NACERI. A de diriger cette thèse. Mes remerciements s'adressent de même à tous ceux qui m'ont aidé au cours de ces trois mois dans le laboratoire*

*Je tiens à remercier toutes les personnes du laboratoire de bétons à M'sila et précisément Mlle BAKHTI.Y pour les nombreuses aides et en plus le grand bénéfice que j'ai tiré au contact de sa expérience.*

## *Dédicaces*

*Je dédie cet événement marquant de ma vie à mon père à celle qui est toujours présente et continue de l'être pour faire mon bonheur. . Merci pour t'être sacrifiée pour que tes enfants grandissent et prospèrent.*

*Merci de trimer sans relâche. Enfin !  
Merci tout simplement d'être...  
mon père.*

*Je dédie ce travail à ma mère qui me comble par ses prières  
A mes très chers frères qui m'ont soutenu encourage et pour  
terminer ce travail ,  
A mes chères sœurs,  
A tous mes familles,  
A mes professeurs,  
A mes adorables amies qui sont ma deuxième famille .*

*A tous les êtres chers à mon cœur.  
Enfin , j'espère du fond du cœur que l'effort  
déployé dans le présent travail répond e aux  
attentes des uns et des autres.*

## sommaire

Remerciements et Dédicaces	
Table des matières	
Liste des tableaux	
Liste des figures	
Résumé	
<b>Chapitre I : Introduction générale</b>	<b>2</b>
<b>Chapitre II : généralité sur les matériaux</b>	
<b>Chapitre II: Généralité</b>	<b>5</b>
Introduction	5
II. 1. Définition	5
II. 2. Historique	5
II. 3. Les granulats	6
II.3. 1. Définition	6
II. 3. 2. Différents types de granulats	7
II. 3. 3. Utilisation	7
II. 3. 4. Classification des granulats	8
II. 3. 5. Propriétés	10
II. 4. Le Mortier	16
II. 4. 1. Définition	16
4.2. Les différentes types des mortiers	16
II. 5. Constitution du béton	18
II. 5.1. Sable	18
II. 5. 2. Les ciments	22
II. 5.2.1. Définition	22
II. 5.2.2. Les caractéristiques du ciment	23
II. 5. 3. L eau de gâchage	23
II. 5. 4. Les adjuvants	23
II. 6 micro béton Béton	24
II. 6.1. Les débuts du béton	25
II. 6.1,1 Types de bétons	25
II. 6.1.3 Propriétés du béton	27
II.7. Formulation du béton	30
II. 7.1. Essai en laboratoire	30
II. 7.2. Méthodes de formulation	31

## Chapitre III: caractéristiques des matériaux utilisés

Introduction.....	39
III.1 Méthodes d'essais et matériaux utilisés .....	40
III.1 .1 SABLES.....	40
IV.1.1.1.Sable de dune II.1.1.1.1.Analyse chimique.....	40
1.3 Essai d'équivalent de sable NF P 18-591.....	47
III.1.1.1.4 Module de finesse (Mf) .....	50
III.1.1.1.5. Masse volumique absolue : NF P 18-301.....	50
III.1.1.1.6. Masse volumique apparente NF P 18-554.....	52
III.1.1.1.6. 1 Masse volumique apparente à l'état lâche.....	52
III.1.1.1.6. 2 Porosité : (NF P 18-554) .....	55
III.1.1.1.6. 3 Compacité.....	56
III.1.1.1.6. 4 L'indice des vides.....	57
III.1.1.1.6. 5 Teneur en eau : NF P 18-555.....	58
III.1.1.1.6. 6 Foisonnement des sables.....	59
III.1 .2 Gravillon 3/8.....	60
III.1 .3 Le ciment.....	66
III.1 .3.1 Caractéristiques chimiques et minéralogique.....	67
III.1 .3.2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé.....	68
III.1 .4 L'eau de gâchage.....	68
III.1.5.Adjuvant.....	69
III.1.6. Le polystyrène.....	71
II.1.7 Formulation et préparation du béton (NF EN 206-1) .....	72
Conclusion.....	72

## CHAPITRE IV : Résultats et discussion

Introduction :	74
IV.1 Caractérisation de micro bétons :	75
IV.1.1 Détermination de la composition :	75
IV.1.2 Détermination de la Masse Volumique :	76
IV.1.3 Le rapport E/C .....	77
IV.1.4 Détermination de la capacité d'absorption :	78
IV.1.5 Compression simple : EN 12390-3.....	79
IV.2 Discussion.....	81
IV.2.1 La Masse volumique :.....	81
IV.2.2 La fluidité.....	86
IV.2.3 Absorption d'eau.....	90
IV.2.3 Résistance à la compression : .....	92
Conclusion: .....	100
<b>CHAPITRE V: Conclusion générale et perspective.....</b>	<b>102</b>

Annexe

Références bibliographiques

<b>Liste des tableaux</b>	
<b>Tableau (II.1):</b> classification suivant la granulaire.	<b>09</b>
<b>Tableau (II.2):</b> Les principaux constituants du ciment Portland.	<b>21</b>
<b>Tableau (II .3) :</b> Types de ciment	<b>22</b>
<b>Tableau (II .4):</b> Types de béton en fonction de leur destination	<b>24</b>
<b>Tableau (II .5):</b> Types de béton en fonction de leur masse volumique	<b>25</b>
<b>Tableau (II .6):</b> Types de béton en fonction de D <sub>max</sub>	<b>25</b>
<b>Tableau (II .7):</b> Types de béton en fonction de leur consistance	<b>25</b>
<b>Tableau (II .8):</b> Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions	<b>34</b>
<b>Tableau (III.1):</b> Analyse chimique du sable de dune.	<b>42</b>
<b>Tableau(III.2) :</b> Analyse granulométrique du 100% sable dune	<b>44</b>
<b>Tableau (III.3) :</b> Analyse granulométrique du sable mixte (50% Sable de dune et 50% Sable concassé).	<b>45</b>
<b>Tableau (III.4) :</b> Analyse granulométrique du sable mixte (60% Sable de dune et 40% Sable concassé).	<b>46</b>
<b>Tableau (III.5) :</b> Analyse granulométrique du sable mixte (40% Sable de dune et 60% Sable concassé).	<b>47</b>
<b>Tableau (III.6) :</b> classification de sable	<b>49</b>
<b>Tableau (III.7) :</b> Équivalent de sable mixte E.S.V	<b>50</b>
<b>Tableau (III.8) :</b> Équivalent de sable concassé E.S.P	<b>50</b>
<b>Tableau (III.9) :</b> Résultats de la masse volumique absolue du sable mixte	<b>53</b>
<b>Tableau (III.10) :</b> Résultats de la masse volumique apparente du sable mixte à l'état lâche.	<b>54</b>
<b>Tableau( III.11) :</b> Résultats de la masse volumique apparente du sable mixte à l'état compact.	<b>55</b>
<b>Tableau (III.12) :</b> Résultats de Porosité du sable mixte à l'état lâche.	<b>56</b>
<b>Tableau (III.13) :</b> Résultats de Porosité du sable mixte à l'état compact.	<b>56</b>
<b>Tableau (III.14) :</b> Résultats de Compacité du sable mixte à l'état lâche.	<b>57</b>
<b>Tableau (III.15) :</b> Résultats de Compacité du sable mixte à l'état ompacte.	<b>57</b>
<b>Tableau (III.16) :</b> Résultats de L indice des vides du sable mixte à l'état lâche.	<b>58</b>
<b>Tableau (III.17) :</b> Résultats de L indice des vides du sable mixte à l'état ompacte	<b>58</b>
<b>Tableau (III.18):</b> Teneur en eau du sable de dune	<b>59</b>

<b>Tableau (III.19) : Foisonnement du sable de dune.</b>	<b>60</b>
<b>Tableau (III.20) : Analyse granulométrique du Gravillon 3/8</b>	<b>62</b>
<b>Tableau(III.21) : Résultats de la masse volumique absolue du Gravillon3/8</b>	<b>63</b>
<b>Tableau (III.22): Résultats de la masse volumique apparente à l'état lâche du Gravillon <u>3/8</u></b>	<b>64</b>
<b>Tableau (III.23): Résultats de la masse volumique apparente à l'état compact du ' Gravillon <u>3/8</u></b>	<b>64</b>
<b>Tableau (III.24): Caractéristiques chimiques du CPJ.</b>	<b>66</b>
<b>Tableau (III. 25) : Caractéristiques minéralogique du CPJ.</b>	<b>66</b>
<b>Tableau( III.26) : Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment.</b>	<b>67</b>
<b>Tableau (III.27): Caractéristiques Chimique d'eau.</b>	<b>68</b>
<b>Tableau (IV.1) : composition et fluidité de micro béton étudié</b>	<b>75</b>
<b>Tableau (IV.2) : Masse Volumiques de micro béton étudié</b>	<b>76</b>
<b>Tableau (IV.3) : fluidité du micro béton</b>	<b>77</b>
<b>Tableau (IV.4) :Absorption du micro béton</b>	<b>78</b>
<b>Tableau (IV.5) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant sans polyester</b>	<b>80</b>
<b>Tableau (IV.6) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant avec 10 % polyester</b>	<b>80</b>
<b>Tableau (IV.7) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant avec 15 % polyester</b>	<b>80</b>

<b>Liste des Figures</b>	
<b>Figure II.1</b> : Différents types de granulats	<b>7</b>
<b>Figure II.2</b> : Décapage des terres arables en vue du futur réaménagement de la carrière.	<b>10</b>
<b>Figure II.3</b> : Exploitation de granulats alluvionnaire à la chargeuse en terrain sec.	<b>11</b>
<b>Figure II.4</b> : Extraction en terrain immergé.	<b>11</b>
<b>Figure II.5</b> : Exploitation de granulats alluvionnaire à la chargeuse en terrain sec.	<b>12</b>
<b>Figure II.6</b> : criblage des granulats.	<b>13</b>
<b>Figure II.7</b> : Stockage des éléments les plus fins.	<b>13</b>
<b>Figure II.8</b> : Stockage à l'air libre	<b>13</b>
<b>Figure II.9</b> : Silos pour stockage	<b>14</b>
<b>Figure II.10</b> : sable de concassage.	<b>19</b>
<b>Figure II.11</b> : sable de dune.	<b>20</b>
<b>Figure II .12</b> : Essai d'affaissement au cône d'Abrams	<b>26</b>
<b>Figure II .13</b> : Mesure de l'affaissement	<b>27</b>
<b>Figure II .14</b> : Béton frais	<b>27</b>
<b>Figure II. 15</b> : es billes de polystyrène.	<b>30</b>
<b>Figure III.1</b> : Colonne des tamis.	<b>43</b>
<b>Figure III.2.</b> Courbe granulométrique du 100% sable dune	<b>44</b>
<b>Figure III.3.</b> Courbe granulométrique du sable mixte (50% Sable de dune et 50% Sable concassé).	<b>45</b>
<b>Figure III.4.</b> Courbe granulométrique du sable mixte (60% Sable de dune et 40% Sable concassé).	<b>46</b>
<b>Figure III.5.</b> Courbe granulométrique du sable mixte (40% Sable de dune et 60% Sable concassé).	<b>47</b>
<b>Figure III.6</b> : Essai d'équivalent de sable	<b>49</b>
<b>Figure III.7.</b> Essai de la masse volumique absolue.	<b>52</b>
<b>Figure III.8.</b> Essai de la masse volumique apparente.	<b>54</b>
<b>Figure III.9.</b> Essai de foisonnement de sable	<b>60</b>
<b>Figure III.10.</b> Courbe de la variation du volume de sable en fonction de sa teneur en eau.	<b>61</b>
<b>Figure III.11</b> Gravillon 3/8 (carrière ENG)	<b>62</b>
<b>Figure III.12.</b> Courbe granulométrique du Gravillon 3/8	<b>63</b>
<b>Figure III.13</b> : Ciment MATINE.	<b>65</b>
<b>Figure III.14.</b> Adjuvant MEDAFLOW 30	<b>68</b>
<b>Figure III.15</b> : les billes de polyester.	<b>71</b>
<b>Figure IV.1</b> : Dispositif de rupture en compression	<b>79</b>

<b>Figure IV.2 :</b> Masse volumique du micro béton à 28 j en fonction polyester	<b>81</b>
<b>Figure IV.3 :</b> Masse volumique du micro béton à 28 j en fonction sable concassé.	<b>82</b>
<b>Figure (IV.4):</b> Masse volumique à 28jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester	<b>83</b>
<b>Figure (IV.5):</b> Masse volumique à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10% polyester	<b>83</b>
<b>Figure (IV.6):</b> Masse volumique à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester	<b>84</b>
<b>Figure (IV.7):</b> Masse volumique à 28jours en fonction de E/C sans polyester	<b>84</b>
<b>Figure (IV.8):</b> Masse volumique à 28jours en fonction de E/C avec 10 % polyester	<b>85</b>
<b>Figure (IV.9):</b> Masse volumique à 28jours en fonction de E/C avec 15 % polyester	<b>85</b>
<b>Figure IV.10 :</b> E/C en fonction du polyester	<b>86</b>
<b>Figure IV.11 :</b> E/C du micro béton à 28 j en fonction du sable concassé.	<b>87</b>
<b>Figure (IV.12):</b> E/C du micro béton à 28jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester	<b>88</b>
<b>Figure (IV.13):</b> E/C du micro béton à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10 % polyester	<b>88</b>
<b>Figure (IV.14):</b> E/C du micro béton à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester	<b>89</b>
<b>Figure IV.15 :</b> Absorption d'eau du béton avec polyester à 28 j	<b>90</b>
<b>Figure IV.16.</b> Absorption d'eau du béton à 28 j en fonction du sable concassé	<b>91</b>
<b>Figure IV.17.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du polyester à 28 j.	<b>92</b>
<b>Figure IV.18.</b> Résistance à la compression en fonction du sable concassé avec polyester à 28 j	<b>93</b>
<b>Figure (IV.19):</b> Résistance à la compression à 28jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester	<b>94</b>
<b>Figure (IV.20):</b> Résistance à la compression à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10 % polyester	<b>94</b>
<b>Figure (IV.21):</b> Résistance à la compression à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester	<b>95</b>

<b>Figure IV.22.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du temps sans polyester	<b>96</b>
<b>Figure IV.23.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du temps (10%) polyester	<b>96</b>
<b>Figure IV.24.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du temps avec 15 % polyester	<b>97</b>
<b>Figure IV.25.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique sans polyester	<b>98</b>
<b>Figure IV.26.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique avec 10 % polyester	<b>98</b>
<b>Figure IV.27.</b> Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique avec 15 % polyester	<b>99</b>

# **Chapitre I:**

## **Introduction générale**

## Introduction générale

Le béton est devenu le symbole de la construction contemporaine, matériau de structure le plus utilisé au monde indispensable pour la construction des ouvrages (ponts, murs de soutènement), des bâtiments (poutres, dallage,...etc), mélange en proportion de ciment, d'agrégats (gravier, sables) et d'eau convenable.

Dans ce travail de recherche, nous proposons l'introduction de sable concassé au sable de dune (comme traitement) dans le but d'améliorer la granulométrie du sable de dune, le polyester avec différentes pourcentages pour alléger le matériau et un adjuvant afin d'améliorer les caractéristiques physico mécaniques du micro béton.

### **Objectif de l'étude :**

L'étude entreprise de ce mémoire vise à atteindre un objectif principal c'est l'amélioration des caractéristiques mécaniques et physiques du micro béton par les différentes ajouts (sable concassé, polyester et adjuvant), on ajoute le sable concassé au micro béton pour diminuer la porosité du mélange d'une part et améliorer la résistance mécanique d'autre part, l'adjuvant pour améliorer la résistance et la fluidité, et l'ajout de polyester pour alléger le micro béton.

## Organisation du mémoire

Le contenu du mémoire englobe les chapitres suivants

- **Le premier chapitre** : est une introduction générale.
- **Le deuxième chapitre** Est une recherche bibliographique traitant les différents matériaux constituant le micro béton.
- **Le troisième chapitre** : est consacré à la caractérisation des constituants et à la formulation du micro béton.
- **Le quatrième chapitre** : Contient l'interprétation des résultats des essais obtenus à partir de l'expérimentation
- **Le cinquième chapitre** : une conclusion générale et quelques recommandations et perspectives.



# **Chapitre II:**

## **Généralité**

## Chapitre II: Généralité

### Introduction

Les granulats constituent une matière première indispensable au bâtiment et au génie civil, sans laquelle la réalisation des ouvrages serait aujourd'hui impossible dans l'état actuel des techniques de construction. Ils forment notamment le squelette des bétons hydrauliques, l'ossature des couches de chaussées, et de leur qualité dépend en grande partie celle des logements, des ouvrages d'art et des routes. [1]

### II. 1. Définition

Le béton est un matériau artificiel obtenu par un mélange d'un liant (généralement du ciment), d'eau, de granulats (sables et gravier), et éventuellement d'adjuvant, le tout choisi de façon rationnelle. lorsque uniquement de sables, on parle alors des mortiers.

### II. 2. Historique

Le béton avait pris ses pas après le mortier. Il est à noter que le mortier serait très ancien, citant les colonnes d'Egypte, en pierre artificielle qui date de 3600 ans avant notre ère. Les plus anciens mortiers reconnus sont ceux des maçonneries de remplissage, des pyramides et ceux des citernes et de tombeaux étrusques. Ce sont les Romains qui développèrent l'art des mortiers de chaux grasses, en y associant la pouzzolane (cendre du Vésuve à Pouzzoles) pour la prise hydraulique et qui en fixèrent la technique. Dans cette période, du règne de la chaux grasse, à durcissement trop lent pour permettre la tenue du béton en élévation, il ne fut employé que pour les aires (routes, dallages, planchers...) et les fondations.

Vicat obtint systématiquement les chaux hydrauliques en 1818 en partant de calcaires argileux. Le ciment ne fut utilisé qu'à partir du milieu du XIXème siècle pour les bétons en élévation.

En 1847 Coignet exécuta, le premier immeuble en béton coffré, puis des pièces moulées, et en 1852 un plancher avec poutrelles en fer et en béton coulé (terrasse à Saint- Denis).

Le béton armé de fers ronds apparut en 1848, avec le bateau Lambot, Le béton armé s'est étendu ensuite à toutes les constructions portantes chargées. Entre 1930 et 1950, on construit les premières réalisations en béton précontraint. Ce nouvel essor est apporté par Eugène FREYSSINET.

Les premières études systématiques sur les bétons eurent lieu en France et sont dues aux Ingénieurs des Ponts et Chaussées.

Les travaux de R.Féret sont considérables. En 55ans, il donne près de 200 publications sur les liants, les mortiers, les bétons, mais son étude de 1892. Complétée par celle de 1896 et qui n'a pas de correspondance nulle part, était déjà déterminante pour la découverte des lois du béton.

En 1925 Bolomey propose une loi continue qui reprend celle de Fuller sur la granulométrie et composition.

Le Clerc du Sablon en 1927 a fait une étude de résistance liée à la compacité du béton. En 1937, A.Caquot met en évidence l'effet de paroi des moules. En 1940, R.Valette a fait une étude de la résistance des bétons en fonction du rapport gravier / sable.

En 1942, Faury donna une étude générale du béton et proposa une nouvelle granulation type, variante assouplie des granulations continues antérieures

Actuellement, les recherches et les études sur les bétons ne cessent d'évoluer, dans le but d'améliorer leurs performances et aussi pour les rendre plus économique. [2]

## II. 3. Les granulats

### II.3. 1. Définition

On appelle granulats les matériaux inertes, sables graviers ou cailloux, qui entrent dans la composition des bétons. C'est l'ensemble des grains compris entre 0.02 et 125 mm, dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage. Ces matériaux sont parfois encore appelés «agrégats». Les intervalles  $d/D$  et  $0/D$  sont appelés classes granulaires. [3]

La dimension de ces granulats varie d'un dixième à plusieurs dizaines de millimètres. La norme française XP P 18-540 donne une définition des principales divisions granulométriques des granulats :

- ◆ Sable  $0/D$  avec  $1 \text{ mm} < D \leq 6,3 \text{ mm}$ .
- ◆ Gravillon  $d/D$  avec  $d \geq 1 \text{ mm}$  et  $D \leq 125 \text{ mm}$ .
- ◆ Grave  $0/D$  avec  $D > 6,3 \text{ mm}$ . [3]

### II. 3. 2. Différents types de granulats

Un granulat, en fonction de sa nature et de son origine, peut être...

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



Figure II.1 : Différents types de granulats.

- **Artificiel:** d'origine minérale résultant d'un procédé industriel comprenant des transformations thermiques ou autres.



- **Recyclé**: obtenu par traitement d'une matière inorganique utilisée précédemment dans la construction, tels que des bétons de démolition de bâtiments. [3]



### II. 3. 3. Utilisation

Les granulats sont utilisés pour la réalisation des : filtre sanitaires, drains, bétons, remblais routiers, ... Les deux principales utilisations des granulats sont les bétons et la viabilité, à savoir des couches de roulement des routes et autoroutes, des aéroports et des voies de chemin de fer. Les granulats les plus couramment utilisés dans le bâtiment et le génie civil ont une masse volumique réelle comprise entre 2 et 3 Mg/m<sup>3</sup>. [4]

Les granulats utilisés pour la confection des bétons sont :

- les fillers ;
- les sables ;
- les gravillons ;
- les graves

### II. 3. 4. Classification des granulats

#### II. 3. 4. 1- Selon la nature minéralogique

- ❖ roches magmatiques : granulats de bonne qualité (granites, quartz)
- ❖ roches sédimentaires : non recommandé dans le béton (calcaire)
- ❖ roches métamorphiques non recommandé dans le béton (schistes) ; bon granulats (gneiss).

### II. 3. 4. 2- Selon la forme des grains :

Elle est soit naturelle, soit artificielle. La forme naturelle est en général roulée. ces granulats proviennent des mers, dunes, rivières, carrières, ... La forme artificielle est issue du concassage de roches dure (roches mères).

### II. 3. 4. 3- Selon les caractéristiques physiques

- ❖ la masse volumique absolue : c'est la masse d'un mètre cube du matériau, déduction faite de tous les vides entre les grains.
- ❖ la masse volumique apparente : c'est la masse d'un corps par unité de volume total, y compris les vides entre les grains et le constituant (volume apparent). elle dépend de la forme et la granulométrie des grains ainsi que le degré de compactage et d'humidité.
- ❖ Absorption.
- ❖ Porosité et compacité.
- ❖ Teneur en eau.

### II 3. 4. 4- Selon les caractéristiques mécaniques :

Les caractéristiques mécaniques des granulats sont déterminées par des plusieurs essais tels que:

- ✓ essai micro Deval (NF P18-572).
- ✓ essai Los Angeles (NE P 18-573).

### I. 3. 4. 5- Selon la nature des granulats :

- **Les granulats courants**: sont ceux de masse volumique 2 jusque 3 t/m<sup>3</sup>, ce sont généralement les basaltes, grès, schistes, granite, diorite.
- **Les granulats lourds** : sont employés pour la confection des bétons lourds utilisés pour la construction d'ouvrage nécessitant une protection contre les rayonnements produits ; ce sont généralement les riblons, la barytine, la magnétite.
- **Les granulats légers** : sont utilisés pour la confection de bétons légers. Ces bétons présentent en général des résistances d'autant plus faibles qu'ils sont plus légers, comme l'argile expansée, schistes expansées, pouzzolanes.[4]

II. 3. 4. 1.6- *Classifications suivant la granularité (NF P18 -101)* : La norme définit cinq (05) classes granulaires principales:

<b>Fines</b>	0/D	Avec	D	0,08mm
<b>Sable</b>	0/D	Avec	D	63mm
<b>Gravier</b>	d/D	Avec	D	2mm et D 31,5mm
<b>Cailloux</b>	d/D	Avec	D	20mm et D 80mm
<b>Graves</b>	0/D	Avec		6,3mm et D 80mm

**Tableau (II.1): classification suivant la granulature.**

### II. 3. 5. Propriétés

Les granulats employés pour la confection des bétons doivent satisfaire à un certain nombre de conditions visant particulièrement : Les caractéristiques physiques et chimiques de leur roche d'origine ils doivent provenir des roches inertes, c'est à dire sans action sur le ciment et inaltérable à l'air et à l'eau. Ils ne doivent pas contenir d'impuretés nuisibles aux propriétés essentielles du béton ou susceptibles d'altérer les armatures et les autres matériaux. [4]

### II.3. 6. Extraction et traitement des granulats

La production des granulats nécessite deux types d'opérations : l'extraction et le traitement.

Les matériaux de construction (pierres naturels) sont utilisés en :

- blocs de grosseur et de tailles variables pour la confection des maçonneries,
- petits éléments pour les bétons et les matériaux routiers,
- éléments fins ; pour les mortiers.

L'extraction se fait dans les carrières. On distingue :

- carrières à ciel ouvert,
- carrières souterraines : on peut être amené à exploiter une carrière souterraine si aucun gisement en surface n'existe dans la région.

#### II. 3.6.1-Extraction

L'extraction s'effectue dans des carrières qui utilisent des techniques différentes selon qu'il s'agit de matériaux meubles de type sable et graviers naturels ou de roches massives exploités à sec ou en milieu hydraulique. Aujourd'hui aucune exploitation de carrière ne se conçoit plus sans un projet préalable et précis de réaménagement.

Dans tous les cas la production de granulats passe par cinq étapes principales de production :

- 1-L'opération de découverte ou décapage des niveaux non exploitables et le stockage des bonnes terres et des matériaux stériles en vue du réaménagement.
- 2-L'extraction par une technique ou une autre selon la nature du gisement.
- 3-Le transfert vers les centres de traitement.
- 4-Les différentes opérations de traitement pour obtenir des produits fini prêt à la livraison chez les clients.
- 5-Et la remise en état du site de la carrière au fur et à mesure et en fin d'exploitation. [4]

#### ***a) décapage***

Cette technique consiste à retirer les terrains situés au dessus des niveaux à exploiter (terre végétale, roche altérées, niveaux stériles). Les matériaux de découverte sont stockés de coté en vue du réaménagement de la carrière. La prise en compte de la quantité des terrains à découvrir importe dans l'étude d'un gisement.



**Figure II.2 : Décapage des terres arables en vue du futur réaménagement de la carrière**

#### **b) Extraction en terrain meuble**

S'agissant de matériaux meubles non consolidés, l'extraction s'effectue par décapage du gisement avec différentes sortes d'engin en fonction des contextes, soit en site terrestre à sec, soit en site immergé en eau.

##### ***1. Extraction en terrain sec***

Quand le gisement de granulats alluvionnaire se situe au-dessus du niveau de la nappe phéatique, on exploite directement avec des engins traditionnels de travaux publics tels que des pelles mécaniques ou des chargeuses.



Figure II.3 : Exploitation de granulats alluvionnaire à la chargeuse en terrain sec.

## 2. *Extraction en terrain immergé*

En site immergé (milieu hydraulique), l'extraction peut être réalisée par des engins flottants (dragage à godets, à grappin ou drague suceuse).



Figure II.4 : Extraction en terrain immergé.

Dans le cas de site immergés peu profonds, l'exploitation pourra avoir lieu depuis la rive avec des pelles à câble équipées en dragline, des pelles hydrauliques ou des excavateurs à godets.

### *c)Extraction des roches massives*

L'extraction des roches massives compactes et dures, nécessite l'emploi des explosifs. Un tir de mine provoque l'abattage d'une grande quantité de matériaux éclatés qui sont ensuite repris par une pelle ou un chargeur et transportés par camion dumper ou tombereau, ou par bandes transporteuses jusqu'au centre de traitement.

Procéder à un tir nécessite un plan de tir comprenant :

- Le forage des trous (disposition, profondeur, nombre),
- Le choix des explosifs,

- Le déclenchement du tir avec le respect de toutes les règles de sécurité associées.



Figure II.5 : Exploitation de granulats alluvionnaire à la chargeuse en terrain sec.

### II. 3.6.2. Traitement

Les opérations de traitement ont pour but d'obtenir à partir des matériaux d'origine alluvionnaires ou massifs, toute une gamme très variée de granulats pour répondre aux demandes et spécificités des chantiers.

#### a) chargement

Les matériaux extraits sont transportés vers le centre de traitement situé en général à proximité de la carrière. Ce transfert s'effectue :

- soit en continu par des transporteurs à bandes.
- soit en discontinu, les matériaux sont alors acheminés par des camions.

#### b) le concassage

Les différentes phases de concassage s'effectuent dans des concasseurs qui permettent de réduire la taille des éléments. Il en existe différents types : concasseurs à mâchoires, à percussion, giratoires, à projection centrifuge. Les différentes opérations de concassage sont séparées par des étapes de criblage.

Les matériaux constitutifs des mortiers et bétons modernes doivent avoir une certaine granulométrie, ce qui amène très souvent à faire subir aux produits directs de la carrière des opérations de concassage :

- Le concassage primaire : les moellons bruts (50 à 30 cm) sont transformés en grosses pierres cassées de 10 à 6 cm de diamètre. (Concasseur à mâchoires).
- Le concassage secondaire : les grosses pierres de 10 à 6 cm sont transformées en graviers de 3 à 1 cm de diamètre. (Concasseur giratoire).

-Le concassage tertiaire : les graviers de 3 à 1 cm sont transformés en sable de 5 mm de diamètre maximal (concasseur à cylindre).

**c) Le criblage**

Les opérations de criblage (triai ou tamisage) ont pour but de sélectionner les grains en fonction de leur taille. Les mailles du crible(ou tamis) ne laissant passer que les éléments inférieur à une certaine taille.

Les opérations de criblage sont complétées par celles de dépoussiérage et de lavage.



**Figure II.6: criblage des granulats.**

**II. 3.6. 3. Stockage**

- ✓ stockage à l'air libre.
- ✓ stockage en silos. [5]



**Figure II.8 : Stockage à l'air libre**



**Figure II.9 : Silos pour stockage**

### II. 3.7. Normes de référence

Les granulats comme la grande majorité des matériaux de construction doivent être conformes à des normes, la régularité de leurs caractéristiques conditionne celles du béton. Les granulats pour bétons font l'objet de deux principales normes de référence. [06]

#### II. 3.7.1- La norme NF EN 12620 (août 2003)

##### ▪ Granulats pour béton

Cette norme définit les termes relatifs aux granulats pour béton relevant de la Directive des Produits de Construction. Elle définit des catégories pour chaque caractéristique des granulats et des fillers utilisés dans la fabrication des bétons. Elle concerne en particulier les bétons conformes à la norme NF EN 206-1. Elle spécifie les caractéristiques (physiques et chimiques) relatives à l'évaluation de la conformité des granulats et au système de maîtrise de la production.

#### II. 3.7.2- La norme XP P 18-545 (février 2004)

Cette norme définit les règles générales permettant d'effectuer les contrôles des granulats. Elle regroupe en codes les catégories définies dans la norme NF EN 12620 pour les divers usages possibles : granulats pour chaussées (couches de fondation, de base et de liaison, couche de roulement utilisant des liants hydrocarbonés et bétons de ciment), granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, granulats pour voies ferrées (assises et ballast).

##### II. 3.7.2.1. Spécifications sur les granulats de la norme XP P 18-545

La norme XP P 18-545 précise :

- Granulats pour bétons hydrauliques et mortiers, les spécifications sur les granulats destinés à constituer des bétons. Les spécifications concernent les caractéristiques détaillées ci-dessous.
- *Caractéristiques applicables aux sables et graves*
  - Granularité et teneur en fines : Gr
  - Module de finesse : FM
  - Propreté : P.
  - Polluants organiques.
  - Absorption d'eau : Ab.
  - Sulfates solubles dans l'acide : SA
  - Alkali-réaction, Chlorures. [06]

## II. 4. Le Mortier

### II. 4. 1. Définition

Dans toute construction, il est indispensable de réunir entre eux les différents éléments (blocs de béton, briques, moellons, ...etc.) au moyen d'un mortier de ciment ou de chaux. Un mortier est un mélange, durci ou non, de sable, de liant (ciment) et d'eau, avec ou sans adjuvants et/ou additifs. Le mortier a pour rôle :

- De solidariser les éléments entre eux ;
- D'assurer la stabilité de l'ouvrage ;
- De combler les interstices entre les blocs de construction. [7].

### II. 4.2. Les différents types des mortiers :

✚ **Les mortiers de ciments** : les mortiers de ciments très résistants, il présente une meilleure résistance à la compression et sa prise est plus rapide. En revanche, il est davantage sujet au retrait.

✚ **Les mortiers de chaux** : les mortiers de chaux sont gras et onctueux. Ils durcissent plus lentement que les mortiers de ciments.

✚ **Les mortiers bâtards** : Le mortier bâtard est composé de ciment et de chaux aérienne ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). plus élastique et plus facile à mettre en œuvre que le mortier de ciment pur. Son retrait est en outre moins marqué. Le temps de durcissement relativement long, surtout en cas de menace de gel. A titre de comparaison:

- ✓ le mortier de ciment:  $1.900 \text{ kg/m}^3$ .
- ✓ le mortier bâtard:  $1.600 \text{ kg/m}^3$ .

✚ **Les mortiers (légers) isolants** : Un mortier léger ou isolant permet d'améliorer quelque peu la résistance thermique de la maçonnerie. Son poids volumique sec après durcissement est inférieur à  $1.300 \text{ kg/m}^3$ . [08]

🔧 **Le mortier humide préparé en usine** : est un mortier composé et mélangé en usine, pour un usage sur le chantier, contient des inhibiteurs de prise qui maintiennent l'ouvrabilité du mortier pendant 24 heures. Ces inconvénients:

- Le ralentissement de la prise ne permet pas d'atteindre la hauteur d'étage en un seul jour
- Dans la pratique, le temps de mise en œuvre spécifié est souvent dépassé.

🔧 **Le mortier sec préparé en usine** : est un mortier composé et mélangé en usine, que l'on mélange avec de l'eau sur le chantier selon les prescriptions d'utilisation du fabricant. Le mélange sec pour mortier est livré dans un silo.

Ces inconvénients:

- Lors du remplissage sur chantier, le mélange sec est injecté dans le silo, ce qui entraîne une démixtion partielle due au fait que les particules plus lourdes aboutissent plus vite au fond.
- Le coefficient eau-ciment dépend de l'opérateur.

🔧 **Le mortier partiellement préparé en usine** : est un mortier où les composants sont stockés à l'usine dans un silo à plusieurs compartiments. Le dosage et l'ajout d'eau se font sur chantier selon les prescriptions d'utilisation du fabricant. Le silo comprend deux compartiments: un pour le sable et un pour le liant et les adjuvants éventuels. Il faut à chaque fois acheminer un nouveau silo.

### ***Les avantages du mortier de silo***

- Le dosage est précis et uniforme dans le temps.
- Il est possible d'ajuster la fluidité.
- La préparation du mortier ne fait pas perdre de temps.
- Il ne contient pas d'inhibiteur de prise.
- D'éventuels adjuvants peuvent être ajoutés à l'aide d'un doseur.
- Les composants sont protégés contre les intempéries.
- Il n'y a pas de gaspillage des matières premières ni de déchet d'emballage. [08]

## II. 5. Constitution du béton

### II. 5.1. Sable

#### II. 5.1.1- Définition :

On définit les sables comme étant la fraction des granulats pierreux dont les grains ont des dimensions comprises entre 80  $\mu\text{m}$  et 05 mm. [09].

#### II. 5.1.2. Origine des sables :

Les sables rencontrés sont le résultat d'une décomposition chimique ou d'une désintégration mécanique des roches suivies par un processus de transport qui est à l'origine de leurs caractéristiques physico-chimiques [10].

Les sables ainsi disponibles sont le résultat d'un processus souvent complexe d'érosion et de sédimentation. Les différents processus qui conduisent de la roche massive aux sables sont suffisamment agressifs vis-à-vis des minéraux pour que seul subsistent les plus résistants; c'est ainsi que la plus grande partie des formations sableuses est constituée de quartz qui devient de plus en plus abondant à mesure que la taille des grains décroît. La fraction comprise entre 0,2mm et 0,5mm est le plus souvent constituée de quartz à plus de 75%. Selon leur histoire géologique, les sables se distinguent les uns des autres par une multitude d'aspects: granulométrie, teneur, nature et caractéristiques des fines, composition chimique, pétrologique et minéralogique, forme des grains, dureté.... etc. [10]

#### II. 5. 1. 3 - Propriétés physiques :

- ✓ La masse volumique apparente est généralement comprise entre 1450 et 1650 Kg /  $\text{m}^3$  .
- ✓ La masse volumique absolue entre 2500 et 2700 Kg /  $\text{m}^3$  .
- ✓ La granularité est déterminée par l'essai d'analyse granulométrique. Selon l'épaisseur des grains, on distingue :
  - ✎ Les sables fins : l'épaisseur est comprise entre 0.08 et 0.25 mm.
  - ✎ Les sables moyens : l'épaisseur est comprise entre 0.31 et 1.25 mm
  - ✎ Les sables grossiers : l'épaisseur est comprise entre 1.25 et 5 mm.
- ✓ Propreté et teneur en fines : ces deux propriétés sont quantifiables par la valeur de l'équivalent de sable. Cet essai nous permet de déterminer le degré de pollution du sable et le pourcentage des fines. [10]
  - ES= 100                    sables pure ;
  - ES  $\geq$  80                    sables propre pour béton ;
  - 35  $\leq$  ES  $\leq$  40            sables pouvant être utilisé pour couche de fondation ;
  - ES = 0                        argile pure.

**II. 5. 1.4. Classification des sables :****II. 5. 1.4. 1. Classification des sables selon leurs provenances :**

Selon leurs provenances, les sables peuvent être classés comme suit :

- ❖ Sable de rivière : il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- ❖ Sable de mer : il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- ❖ Sable de carrière : il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants.
- ❖ Sable artificiel : il est obtenu par concassage des roches (calcaire durs, grès...). Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- ❖ Sable de dune : C'est un sable très fin, qu'on retrouve un peu partout au Sahara. [11]

**II. 5. 1.4.2. Classification des sables selon la granulométrie:**

- ❖ Sable grossier : Plus de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 $\mu$ m sont compris entre 0,5 et 5mm. Ces sables ont des propriétés qui se rapprochent des graves.
- ❖ Sable moyen : Moins de 20% des éléments sont supérieurs à 2mm et plus de 50% des éléments supérieurs à 80 $\mu$ m sont compris entre 0,2 et 2mm.
- ❖ Sable fin : Plus de 75% des éléments supérieurs à 80  $\mu$ m, sont inférieurs à 0,5mm. Ces sables doivent être notablement corrigés pour acquérir des propriétés comparables à celles des graves.

Les sables utilisables sont ceux conformes aux définitions des normes NFP18-541 (ESP  $\geq$  75 si le sable est roulé, et ES  $\geq$  65 s'il est broyé) [11].

**II. 5. 1.5-Sable de concassage**

Granulats fins de calcaire, de grès ou de porphyre dont les dimensions se situent entre 0 et 6 mm [12].



Figure II.10 : sable de concassage.

### II. 5.1.5.1-Le produit et ses applications

Les sables de concassage se composent de la fraction fine de granulats provenant du concassage et du criblage de pierres et de roches naturelles. Leurs dimensions se situent entre 0 et 6 mm. Le taux de particules inférieures à 63 microns présentes dans les sables est fonction du processus de fabrication. Des taux particulièrement bas conviennent mieux à certaines applications alors que d'autres demandent un minimum de fines particules. Les sables de concassage sont disponibles dans les carrières (calcaire, grès et porphyre). L'utilisation des sables est déterminée par la dimension des grains et les caractéristiques intrinsèques (mécaniques et chimiques) de la roche dont ils proviennent. En règle générale, ils s'utilisent pour des sous-fondations et fondations, dans des applications liées au ciment, par exemple du béton, et pour la production de mélanges bitumineux.

Les sables sont des produits d'érosion des roches que l'on extrait en carrières dans des dépôts sédimentaires ou dans les lits des rivières. Ce sont des sables «roulés» adaptés à la réalisation d'enduits car plus faciles à talocher que le sable concassé. [12]

### II. 5. 1.6. Sable de dune

#### A/- Mécanismes de formation

Les dunes se forment dans des zones où le sable est abondant et non fixé par la végétation (désert, plage, lit fluvial à l'étiage). Le sable est érodé et pris en charge par le vent (déflation).

Une dune peut se déplacer par érosion du versant au vent et accumulation sur le versant opposer.



**Figure II.11 : sable de dune.**

### **B/- Types des dunes**

- \* *les avant-dunes* : qui sont des bourrelets plus ou moins fixés par la végétation, parallèles au trait de côte et solidaire de la plage, c'est à dire échangeant du sable avec elle, dans un même système sédimentaire. L'avant-dune se forme à partir de fixation du sable en haut de plage, par des plantes pionnières psammophiles.
- \* *les falaises dunaires* : n'est pas une vraie dune mais un profil résultant de l'érosion marine d'une dune ancienne fixée par une pelouse ou un boisement qui ont été à l'origine de la formation d'une couche d'humus ou de sol sableux.
- \* *les dunes perchées* : qui apparaissent au sommet d'une falaise vive; alimentée en sable par le vent à partir de l'estran, voire à partir du profil de pente, quand il s'agit d'une falaise dunaire.
- \* *les cordons dunaires artificiels* : qui sont construits de main d'homme, généralement comme élément de protection contre la mer ou d'une zone cultivée et/ou construite. Ils nécessitent un entretien permanent, sans lequel ils se désintègrent en quelques décennies.

### **C/- Diverses utilisations**

Les sables sont essentiels du processus sédimentaire et représentent une ressource très importante du point de vue économique: remblais, granulats pour béton, matériaux de construction, sables siliceux pour l'industrie. Ces derniers (appelés autrefois sables industriels) constituent l'essentiel de la matière première de l'industrie du verre, des moules, des noyaux de fonderie; ils entrent aussi dans la fabrication des céramiques et des mortiers spéciaux. Les sables jouent également un grand rôle comme réservoirs potentiels pour les nappes d'eau (aquifères) ou les hydrocarbures. [13]

## II. 5. 2. Les ciments

### II. 5.2.1. Définition

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire capable de faire prise dans l'eau. Il se présente sous l'aspect d'une poudre très fine qui mélangée avec l'eau, forme une pâte faisant prise et durcissant progressivement dans le temps. Ce durcissement est dû à l'hydratation de certains composés minéraux, notamment des silicates et des aluminates de calcium. [14]

Le ciment Portland contient 4 principaux constituants :

- le silicate bicalcique (Bélite) :  $2 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$  ou par abréviation  $\text{C}_2\text{S}$ ,
- le silicate tricalcique (Alite) :  $3 \text{ CaO}, \text{ SiO}_2$  ou par abréviation  $\text{C}_3\text{S}$ ,
- l'aluminate tricalcique (Célite) :  $3 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3$  ou par abréviation  $\text{C}_3\text{A}$ ,
- l'alumino-ferrite tetracalcique (Célite) :  $4 \text{ CaO}, \text{ Al}_2\text{O}_3, \text{ Fe}_2\text{O}_3$  ou par abréviation  $\text{C}_4\text{AF}$ . [15]

Constituants	$\text{C}_2\text{S}$	$\text{C}_3\text{S}$	$\text{C}_3\text{A}$	$\text{C}_4\text{AF}$
(%)	7÷30	50÷75	0÷20	0÷16

**Tableau (II.2): Les principaux constituants du ciment Portland. [15]**

### II. 5.2.2. Les caractéristiques du ciment:

- ✎ Masse volumique apparente: varie de  $800$  à  $1300 \text{ kg/m}^3$  ( $1\text{kg/l}$ ) en moyenne.
- ✎ Masse volumique absolue: varie de  $2900$  à  $3150 \text{ kg/m}^3$  suivant le type de ciment.
- ✎ Surface spécifique Blaine: est différente d'un ciment à un autre, généralement est comprise entre  $2700$  et  $5000 \text{ cm}^2/\text{g}$ . [15]

## II. 5.2.3. Les différents types de ciment :

Type de ciments	Désignation	Teneur en clinker	Teneur en autres constituants
Ciment portland	CPA – CEMI	95-100	-
Ciment portland composé	CPJ – CEM II/A	80-94	6-20*
	CPJ – CEM II/B	65-79	21-35*
Ciment de haut fourneau	CHF – CEM III/A	35-64	36-65**
	CHF – CEM III/B	20-34	66-80**
	CLK - CEM III/C	5-19	81-95**
Ciment pouzzolanique	CPZ – CEM IV/A	65-90	10-35***
	CPZ – CEM IV/B	45-64	36-55***
Ciment au laitier et aux cendres	CLC – CEM V/A	40-64	18-30****
	CLC – CEM V/B	20-39	31-50****

Tableau (II .3) : Types de ciment [16].

## II. 5. 3. L eau de gâchage

Nécessaire à l'hydratation du ciment, elle facilite aussi la mise en œuvre du béton ou du mortier (effet lubrifiant) dans la mesure où on n'abuse pas de cette influence par un excès d'eau qui diminue les résistances et la durabilité du béton.

L'eau doit être propre et ne pas contenir d'impuretés nuisibles (matières organiques, alcalis).

L'eau potable convient toujours ; le gâchage à l'eau de mer est à éviter, surtout pour le béton armé. [17]

## II. 5. 4. Les adjuvants:

Un adjuvant est un produit d'addition destiné à renforcer d'une manière définitive certaines qualités ou améliorer certaines caractéristiques d'un béton hydraulique.[18]

Ces produits ont une influence sur la mise en œuvre du mortier ou sur les réactions chimiques générées par la liaison du mortier.

On peut classer ces adjuvants en trois principaux groupes agissant sur des propriétés différentes :

- le degré d'hydratation avec les retardateurs de prise.
- la maniabilité et la porosité avec les rétenteurs d'eau et les super plastifiants .
- la résistance vis-à-vis du gel dégel avec les entraîneurs d'air.

Parmi les divers adjuvants du béton on peut citer :

- Les plastifiants et super plastifiants ou hauts réducteurs ;
- Les entraîneurs d'air;
- Accélérateur de prise et de durcissement ;
- Retardateur de prise ;
- Agent réducteur de bullage ;
- Agent de cure interne ;
- Agent hydrophobe ;
- Antigel ;
- Hydrofuge de masse ;
- Inhibiteur de corrosion ;
- Accélérateur de durcissement. [19]

## **II. 6 Micro béton:**

### **II. 6.1.Définition**

Béton Courant qui est composé de granulats gravier (3/8mm), du sable(0/5mm), du ciment et d'eau pour le gachage éventuellement différents ajouts.

**Les débuts du béton**

Le béton sous sa forme actuelle est le fruit de décennies d'études et d'expérimentations. Pourtant, les Romains et les Egyptiens utilisaient déjà des matériaux semblables pour leurs constructions. D'ailleurs, l'architecture romaine doit beaucoup à l'opus caementicium (du latin caementum = moellon, pierre brute). Cet ancêtre du béton était formé de mortier et de pierres de toutes sortes. Par sa solidité et sa rapidité de mise en oeuvre et associé à d'autres matériaux tels que la brique, il a permis les prouesses architecturales que l'on connaît aux romains.

**II. 6.1.1 Types de bétons**

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

**Leur destination** [21]

Types de béton	Destination
Bétons compactés au rouleau	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 autonivelants (autoplaçants)	Pour les ouvrages présentant un ferrailage vraiment dense ou d'une forme variable difficile à mouler (courbures multiples).
Bétons coulables 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 (II .4)::Types de béton en fonction de leur destination** [21]

**II. 6.1.2 Leur masse volumique**

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

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

Tableau 5. Types de béton en fonction de leur masse volumique [22]

**Leur granularité**

La classification se fait en fonction de la dimension maximale des granulats D<sub>max</sub> :

Classes du béton	Béton fin	Béton moyen	Béton gros
Dimension maximale des granulats D <sub>max</sub>	$8 \leq D_{max} < 16\text{mm}$	$16 \leq D_{max} < 31.5 \text{ mm.}$	$31.5 \leq D_{max} < 63$

Tableau 6: Types de béton en fonction de D<sub>max</sub> [23]

**Leur consistance (cône d’Abrams)**

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

Affaissement (Aff.) 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 7: Types de béton en fonction de leur consistance [24]

### II. 6.1.3 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.

#### II. 6.1.3.1 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[25].

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. [26]

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. [27], [28]

#### 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. [37]

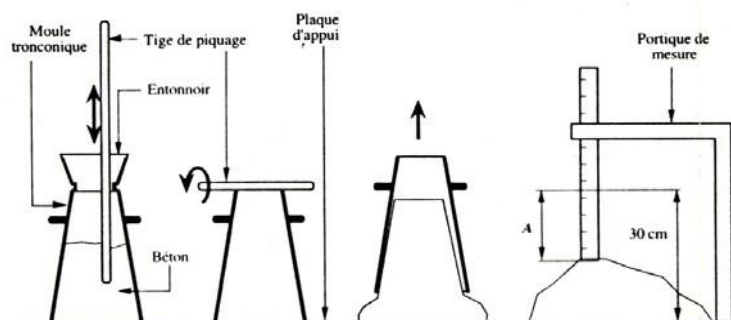


Figure 12 : Essai d'affaissement au cône d'Abrams [29]



Figure 13 : Mesure de l'affaissement. [29]

### La masse volumique du béton frais

On mesure la masse volumique du béton frais à l'aide d'un récipient étanche à l'eau et suffisamment rigide. Le béton est mis en place dans le récipient et vibré à l'aide d'une aiguille vibrante, une table vibrante ou un serrage manuel en utilisant une barre ou tige de piquage, après un arasement approprié. Le récipient et son contenu doivent être pesés afin de déterminer la masse volumique qui sera calculée en utilisant la formule suivante :

$$D = m_2 - m_1 / V$$

D : est la masse volumique du béton frais ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

$m_1$  : est la masse du récipient (kg).

$m_2$  : est la masse du récipient plus la masse du béton contenu dans le récipient (kg).

V : est le volume du récipient en mètre cube ( $\text{m}^3$ )

La masse volumique du béton est arrondie aux  $10 \text{ kg}/\text{m}^3$  les plus proches.



Figure 14 : Béton frais [30]

### II. 6.1.3.2 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.

### II. 6.1.4 Résistance à la compression [31]

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.

La résistance à la compression doit être exprimée à 0,5 MPa ( $N/mm^2$ ) près.

## **II. 7. Formulation du béton**

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

On a recours, dans ce cas aux méthodes de détermination des proportions des différents composants ou on trouve soit :

- Les méthodes semi-empiriques (Faury, Bolomey, Vallette).
- Les méthodes graphiques (Joisel, Dreux-gorisse).

### **II. 7.1. Essai en laboratoire**

En plus de l'optimisation expérimentale de la formule qui ne couvre que le squelette granulaire et la pâte du ciment on a recours à un autre outil complémentaire qui va donner plusieurs informations sur le ressuage et la ségrégation, sur la simulation d'effets particuliers (mise en œuvre du béton, la durabilité, traitement thermique, la détermination de la maturité du béton, évaluation de la durabilité par des mesures telles que la perméabilité, la carbonatation ,pénétration des ions(Cl<sup>-</sup>) ,alcali réaction, etc.) sur le rendement de la formule, et sur le bilan économique. Pour cela on fait des essais en laboratoire pour affiner les différentes estimations.

### **Remarque**

Il y a lieu de parler de :

- l'épreuve d'étude : c'est-à-dire de tester la sensibilité de la formule à une variation possible de l'un des composants.
- l'épreuve de convenance : permet de vérifier avec les outils de fabrication et de transport, sur chantier, la conformité de la formule nominale avec le cahier des charges du maître d'œuvre.

### **II. 7.2. Méthodes de formulation** [33]

Il existe plusieurs méthodes pour la composition du béton. Elles aboutissent à des dosages volumétriques ou de préférence pondéraux, mais le passage de l'une à l'autre peut toujours se faire, si nécessaire, par la connaissance de la densité apparente des granulats en vrac.

On distingue en fonction de la granularité du mélange constituant le béton deux types de méthodes de composition du béton :

- à **granularité continue** : lorsque l'analyse du mélange constituant le béton donne sur le graphique granulométrique une courbe s'élevant d'une façon continue du plus petit grain de ciment au plus gros grain des graviers, toutes les grosseurs intermédiaires sont représentées.
- à **granularité discontinue** : lorsque la courbe granulométrique correspondante présente un palier qui équivaut à un manque d'éléments intermédiaires.

### II. 7.3. Méthode de Bolomey

Par une formule appropriée on trace une courbe granulométrique de référence et l'on s'efforce de réaliser avec les granulats dont on dispose une composition granulaire totale (ciment compris) dont la courbe granulométrique soit aussi proche que possible de la courbe de référence théorique.

La formule de base est la suivante :  $P=A+(100-A)\sqrt{d}/D$

P : est le pourcentage de grains passant à la passoire de diamètre d

D : est le diamètre du plus gros granulat

A : coefficient varie entre 8 et 16 en fonction du dosage en ciment, sa valeur étant d'autant plus élevée que le dosage en ciment est plus fort.

Cette méthode aboutit, théoriquement tout au moins, à une granularité continue.

### II. 7.4. Méthode d'Abrams

C'est une règle de mélange basée sur l'obtention d'un certain module de finesse globale pour le mélange de granulats à partir de la connaissance des modules de finesse des granulats à employer. Le module de finesse du mélange est choisi de telle manière que les vides dans ce mélange soient, en principe, réduits au minimum.

Les modules optimaux pour béton de granulats roulés sont déterminés expérimentalement par Abrams et sont indiqués dans des valeurs tabulées en fonction du dosage en ciment et de la dimension D du plus gros granulat.

Dosage en ciment kg/m <sup>3</sup>	Dimension maximale D des granulats						
	10	15	20	25	30	40	60
275	4.05	4.45	4.85	5.25	5.60	5.80	6.00
300	4.25	4.60	5.00	5.40	5.65	5.85	6.20
350	4.30	4.70	5.10	5.50	5.73	5.88	6.30
400	4.40	4.80	5.20	5.60	5.80	5.90	6.40

Tableau 8 : Valeurs optimales d'après Abrams du module de finesse des compositions

La règle du mélange d'Abrams permet de calculer les pourcentages relatifs de granulats de module de finesse  $MF_S$  et  $MF_G$  pour obtenir un module de finesse  $MF$  choisi pour le mélange.

$$S_s = MF_G - MF \quad \text{et} \quad S_g = MF - MF_S$$

La proportion de gravier est : % gravier =  $(S_g / S) * 100$

La proportion de sable est : % sable =  $(S_s / S) * 100$

Où  $S = S_s + S_g$

### II. 7.5. Méthode de Faury

Faury proposa une nouvelle loi de granulation de type continu, il s'est inspiré pour cela de la théorie de Caquot relative à la compacité d'un granulat de dimension uniforme correspondant à un serrage moyen.

La loi de granulation qui en découle est une loi fonction de  $\sqrt[5]{d}$ . La courbe granulométrique idéale conduisant à la compacité maximale est alors théoriquement une droite ; cependant Faury a distingué les grains fins et moyens ( $<D/2$ ), des gros grains ( $>D/2$ ) et la pente de la droite n'est pas la même pour chacune de ces deux catégories. On trace pour l'ensemble du mélange, ciment compris une courbe granulométrique de référence qui est composée de deux droites si l'on opère sur un graphique gradué, en abscisse, en  $\sqrt[5]{d}$ . L'abscisse du point de rencontre de ces deux droites est fixé à  $D/2$  et son ordonnée Y est donnée par une formule tenant compte de la grosseur D du granulat et comportant certains paramètres dont la valeur est une valeur tabulée en fonction de types des granulats (roulés ou concassés) et de la puissance du serrage (simple piquage ou vibration plus ou moins intense).

Y, se calcule par la formule suivante :

$$Y = A + 17\sqrt[5]{D} + \frac{B}{D^{-0.75}}$$

A : valeur tabulée

B : varie de 1 à 2 selon que le béton ferme ou mou.

D : est exprimé en dimension de passoire.

R : est le rayon moyen du moule

### **II. 7.6. Méthode de Valette**

R. Valette a mis au point une méthode essentiellement expérimentale mais qui nécessite cependant un certain nombre de calculs préparatoires. Cette méthode est souvent désignée par « dosage des bétons à compacité maximale » ou « dosage des bétons à minimum de sable » ou « dosage des bétons à granularité discontinue ».

La méthode Valette proprement dite est quelquefois utilisée avec certaines variantes. Dans les cas les plus courants on parlera en général d'un béton binaire: un sable et un gravier présentant le plus souvent une certaine discontinuité (par exemple : sable 0/5 et gravier 16/25). On calcule d'abord le dosage de sable et de ciment devant donner en principe le mortier plein avec un minimum de ciment ; ce dosage s'obtient en mesurant les vides du sable mouillé et en

calculant le dosage en ciment permettant de remplir le volume des vides du sable par un volume égal de pâte pure de ciment.

On ajoute en suite le maximum de gravier mouillé compatible avec une ouvrabilité permettant un moulage correct et une mise en œuvre facile dans les conditions du chantier. On obtient alors le béton plein à minimum de sable et le moins dosé en ciment.

### **II. 7.7. Méthode Dreux-Gorisse**

C'est une méthode pratique qui simplifie et rend la formulation du béton plus pragmatique. Elle consiste à rechercher conjointement la résistance à la compression et l'ouvrabilité désirée à partir des données de base essentielles pour la formulation du béton telles que la dimension des granulats (D). La méthode de formulation de Dreux-Gorisse permet de déterminer les quantités optimales de matériaux (eau E, ciment C, sable S, gravillon g et gravier G) nécessaires à la confection d'un mètre cube de béton conformément au cahier des charges. Plusieurs étapes de calcul successives sont nécessaires à l'obtention de la formulation théorique de béton. Il faut déterminer au préalable le rapport C/E, C et E, le mélange optimal à minimum de vides, la compacité du béton et les masses des granulats.

### **Étude de la composition du béton**

En général il n'existe pas de méthode de composition du béton qui soit universellement reconnue comme étant la meilleure. La composition du béton est toujours le résultat d'un compromis entre une série d'exigences généralement contradictoires.

De nombreuses méthodes de composition du béton plus ou moins compliquées et ingénieuses ont été élaborées. On notera qu'une étude de composition de béton doit toujours être contrôlée expérimentalement et qu'une étude effectuée en laboratoire doit généralement être adaptée ultérieurement aux conditions réelles du chantier.

Une méthode de composition du béton pourra être considérée comme satisfaisante si elle permet de réaliser un béton répondant aux exigences suivantes :

- Le béton doit présenter, après durcissement une certaine résistance à la compression.
- Le béton frais doit pouvoir facilement être mis en œuvre avec les moyens et méthodes utilisés sur le chantier.
- Le béton doit présenter un faible retrait et un fluage peu important.
- Le coût du béton doit rester le plus bas possible.

Dans le passé, pour la composition du béton, on prescrivait des proportions théoriques de ciment, d'agrégat fin et d'agrégat grossier. Mais l'élaboration des ciments ayant fait des progrès considérables, de nombreux chercheurs ont exprimé des formules en rapport avec les qualités recherchées :

- minimum de vides internes déterminant une résistance élevée ;
- bonne étanchéité améliorant la durabilité ;
- résistance chimique ;
- résistance aux agents extérieurs tels que le gel, l'abrasion, la dessiccation.

Le béton peut varier en fonction de la nature des granulats, des adjuvants, des colorants, des traitements de surface, et peut ainsi s'adapter aux exigences de chaque réalisation, par ses performances et par son aspect. La composition d'un béton et le dosage de ses constituants sont fortement influencés par l'emploi auquel est destiné le béton et par les moyens de mise en œuvre utilisés.

### II. 7.8. Méthode des volumes absolus [34]

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 (Rb).
- Le degré de fluidité ou de consistance du béton.
- Les caractéristiques des matériaux d'origine :
  - ✓ 1- Activité du ciment (Rc).
  - ✓ 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. 8.8.1. PRESENTATION DE LA METHODE

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

Le professeur **Scramtaiev** a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton (Rb) 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'où :**

$$C/E = R_b / (A \cdot R_c) + 0.5.$$

b)- pour :  $C/E > 2.5$  on a :  $R_b = A' \cdot R_c \cdot [(C/E) + 0.50]$ .

**d'où :**

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

**Avec :**

- Rb** : classe de béton (résistance à la compression du béton après 28 jours de durcissement).
- Rc** : Activité ou classe du ciment.
- A, A' : coefficients admis d'après le tableau [1 ] 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.

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

Tableau 1 : «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 2, qui tient compte de la qualité des matériaux utilisés.

Caractéristiques du mélange de béton	Dosage en eau (l/m3) 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 [2 ] «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 :

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

ou :

C,E,S et G: dépenses en ciment, eau, sable et pierres concassées(gravier) en (Kg/m<sup>3</sup>).

$\rho_c, \rho_e, \rho_s$  et  $\rho_g$ : Masses spécifiques ou masses volumiques absolues de granulats avec un certain écartement des grains:

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

**Avec :**

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

**γ<sub>g</sub>**: Masse volumique ou masses volumique apparente des pierres concassées en (Kg/litre)

**α**: Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le tableau [3]

**Tableau –3 «Valeur de coefficient α »**

Dosage en ciment (Kg/m <sup>3</sup> )	E/C 0.40	E/C 0.50	E/C 0.60	E/C 0.70	E/C 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	-	-	-

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

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



# **Chapitre III:**

**caractéristiques des matériaux utilisés**

## Chapitre III: caractéristiques des matériaux utilisés

### Introduction :

Dans ce chapitre nous avons défini l'importance des essais appliqués sur le sable, le Graviton 3/8, le ciment, et le micro béton dans toutes les étapes.

Les résistances mécaniques des bétons en générale nécessitent des précautions particulières à savoir : le choix et la sélection des constituants ainsi que leurs utilisations pour pouvoir obtenir les résultats recherchés en matière de résistance.

### III.1 Méthodes d'essais et matériaux utilisés

#### III.1 .1 SABLES

Le sable est le constituant du squelette granulaire qui a le plus d'impact sur le béton, il joue un rôle primordial en réduisant les variations volumiques, les chaleurs dégagées et le prix de revient des bétons. Il doit être propre et ne pas contenir d'éléments nocifs. [43].

Dans cette étude, on a utilisé deux types de sable, sable de dune (SD) de couleur jaune provenant de (Wilaya de Biskra), et sable concassée de couleur gris provenant de la carrière (région de maaza).

#### IV.1.1.1. Sable de dune

##### II.1.1.1.1. Analyse chimique

Les analyses chimiques sont effectuées au niveau du laboratoire de la cimenterie d'Ain Touta (Batna), elles sont présentées dans le tableau **III.1**.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	K <sub>2</sub> O	Cl	PAF
74.61	1.35	0.86	17.3	0.29	0.04	0.47	0.005	5.04

**Tableau III.1 : Analyse chimique du sable de dune.**

**Commentaire :** Du point de vue chimique la constatation importante à signaler est la présence d'un fort pourcentage en silice SiO<sub>2</sub> qui est supérieur à 74 %, et par conséquent le sable de dune de Biskra est un sable siliceux. [44]

### III.1.1.1.2 Analyse granulométrique: (NF P 18-560)

L'analyse granulométrique par tamisage est un ensemble des opérations aboutissant à la séparation selon leur grosseur des éléments constituant échantillon, en employant des tamis à maille carrée afin d'obtenir une représentation de la répartition de la masse des particules à l'état sec en fonction de leur dimension. [45]

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

La granulométrie ou analyse granulométrique s'intéresse à la détermination de la dimension des grains et la granularité concerne la distribution dimensionnelle des grains d'un granulat. L'analyse granulométrique a trois buts :

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

#### **b- Matériel nécessaire :**

Des tamis dont les ouvertures carrées, de dimension normalisée, sont réalisés soit à partir d'un maillage métallique. Pour un travail d'essai aux résultats reproductibles, il est conseillé d'utiliser une machine à tamiser électrique qui comprime un mouvement vibratoire

horizontal, ainsi que des secousses verticales, à la colonne de tamis. (Figure (III.1)).

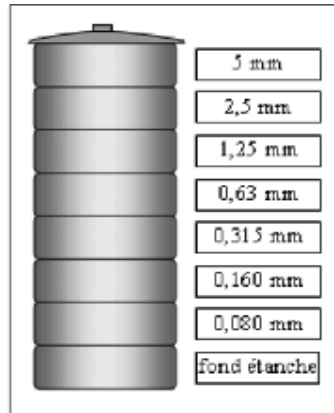


Figure III.1 : Colonne des tamis.

#### 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 **0,08** mm. La colonne est coiffée par un fond pour recueillir les éléments passant au dernier tamis et un couvercle pour éviter la dispersion des poussières. On commence par peser les tamis ainsi que le fond.
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant **5** minutes. Arrêter l'agitateur, puis séparer avec soin les différents tamis.
- Peser chaque tamis séparément à 1 g près. Soit  $M_i$  la masse du tamis (I) + le sable. La différence entre  $M_i$  et  $m_i$  (tamis de plus grandes mailles) correspond au refus partiel  $R_1$  du tamis 1.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement inférieur.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à  $R_1$ , soit  $R_2$  la masse du refus cumulé 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 :

$T = 100 - R_c$  ..... (III.1).

Où :

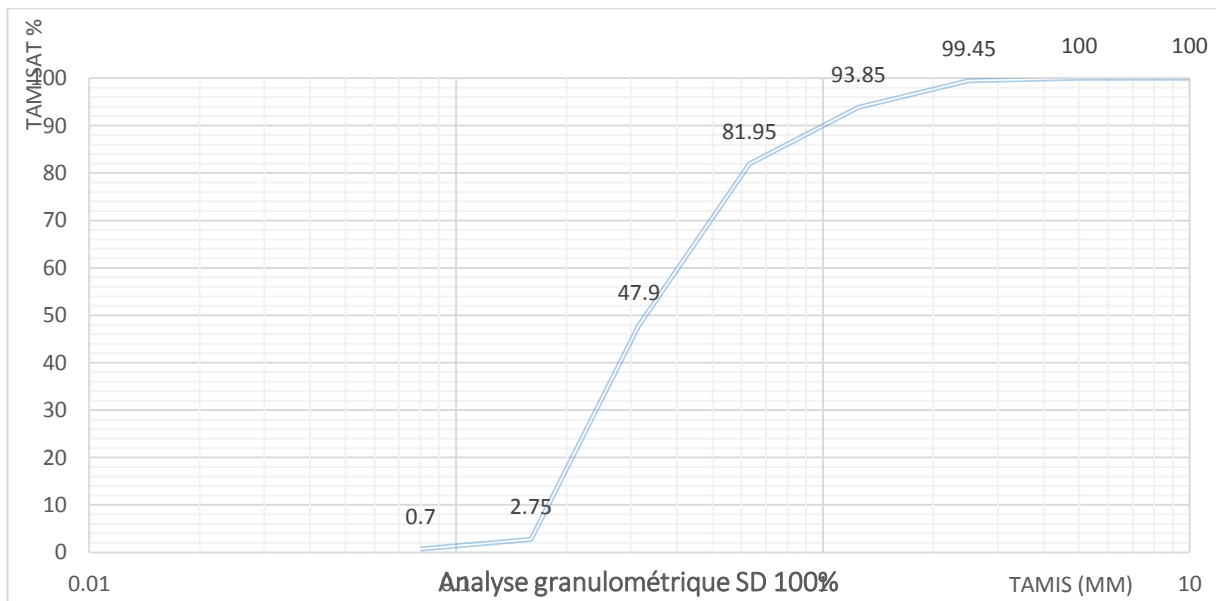
tamis (mm)	refus partiel(g)	refus cumulés(g)	refus cumulés (%)	tamisât cumulés(%)
5	0	0	0	100
2.5	11	11	0.55	99.45
1.25	112	123	6.15	93.85
0.63	238	361	18.05	81.95
0.315	681	1042	52.1	47.9
0.160	903	1945	97.25	2.75
0.08	41	1986	99.3	0.7
fines	11	1997	99.85	0.15

$T$  : Tamisât en %

$R_c$  : Refus cumulés en %

**Tableau III.2 : Analyse granulométrique du 100% sable dune**

**Module de finesse** =  $1/100(97.25+52.1+18.05+6.15+0.55) = 1.74$



**Figure III.2. Courbe granulométrique du 100% sable dune**

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

Tableau III.3 : Analyse granulométrique du sable mixte (50% Sable de dune et 50% Sable concassé).

Module de finesse =  $1/100(92.1+63.2+37.45+19.5+0.6) = 2.12$

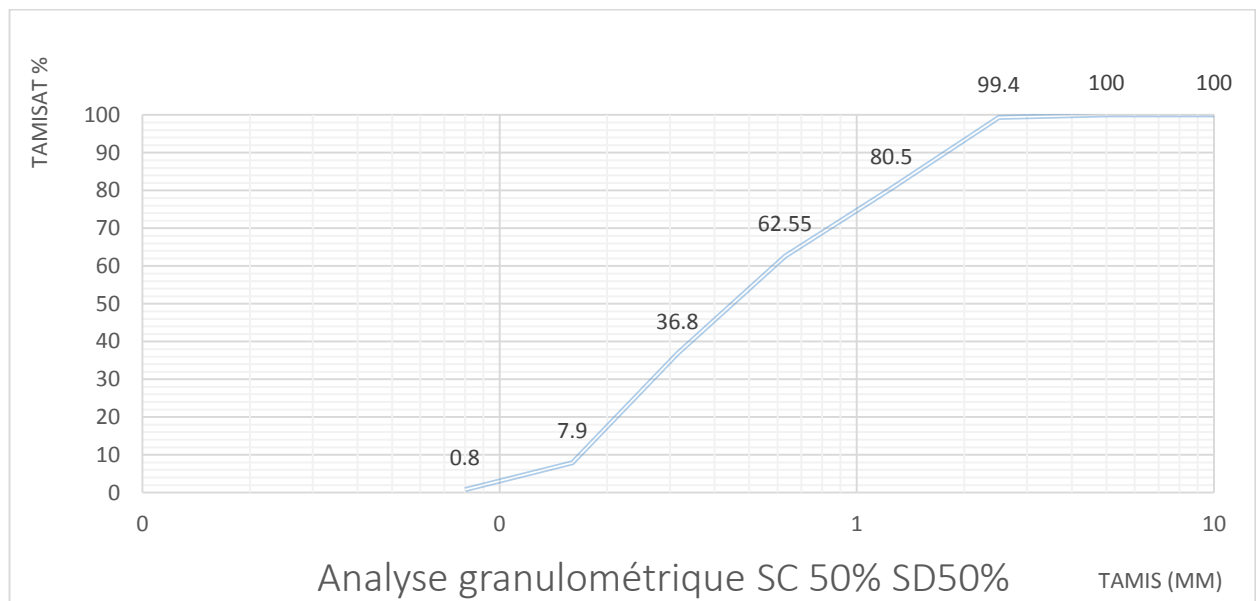


Figure III.3. Courbe granulométrique du sable mixte (50% Sable de dune et 50% Sable concassé).

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

Tableau III.4 : Analyse granulométrique du sable mixte (60% Sable de dune et 40% Sable concassé).

Module de finesse =  $1/100(90.6+56.75+26.3+10.7+0.6)=1.85$

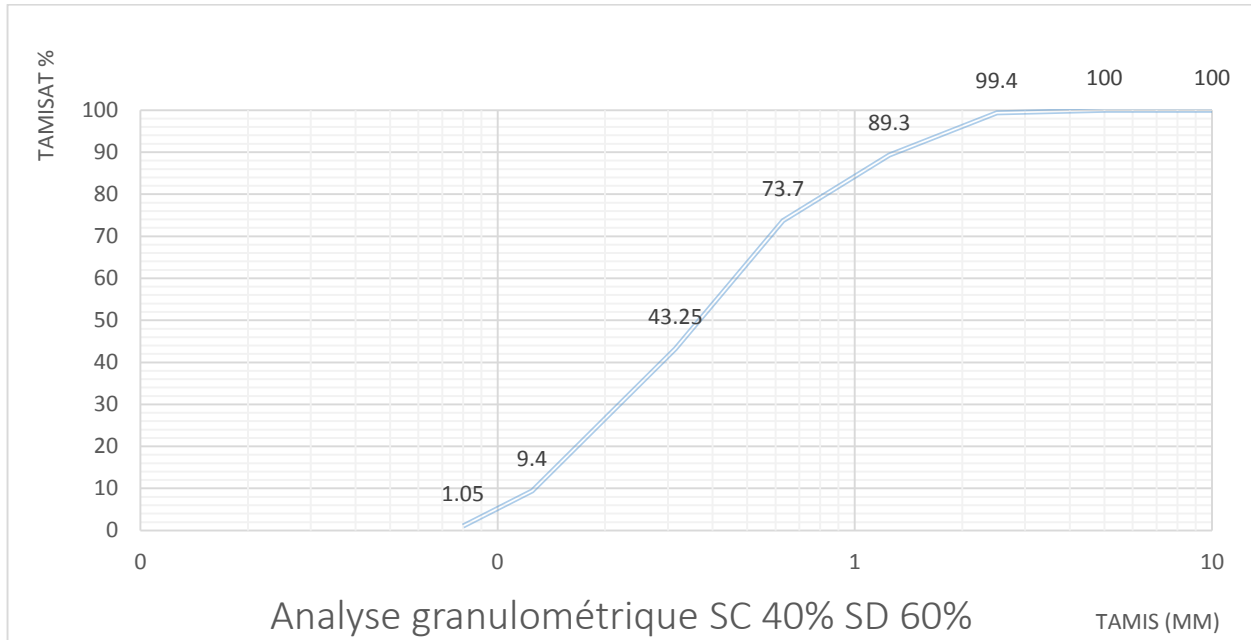


Figure III.4. Courbe granulométrique du sable mixte (60% Sable de dune et 40% Sable concassé).

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

Tableau III.5 : Analyse granulométrique du sable mixte (40% Sable de dune et 60% Sable concassé).

Module de finesse =  $1/100(94.9+69.2+40.95+19.7+0.75)=2.25$

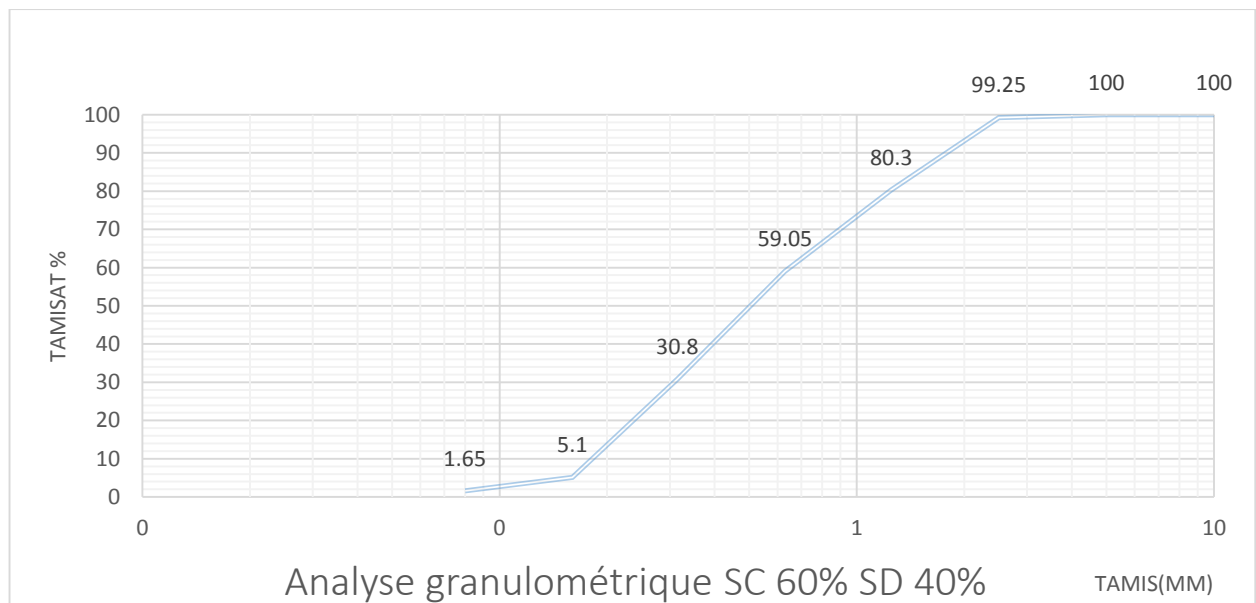


Figure III.5. Courbe granulométrique du sable mixte (40% Sable de dune et 60% Sable concassé).

### III.1.1. 1.3 Essai d'équivalent de sable NF P 18-591

Tous les granulats contiennent une quantité, plus au moins grande, d'impuretés.

Les impuretés ont un caractère commun : ils influent négativement sur les qualités essentielles du béton (résistance, imperméabilité, longévité). Cependant, on peut les classer en deux catégories :

- Impuretés prohibées : particules de charbon, de bois, d'argile, micas ...
- Impuretés tolérées, dans des limites qui seront à définir, parmi lesquelles on peut citer : les éléments très fins et/ou solubles, les matières organiques, les sulfates, les sulfures...

Pour la propreté des gravillons, il convient d'éviter surtout la présence de la gangue argileuse ou des poussières qui risquent de compromettre l'adhérence du mortier sur les graviers et par voie de conséquence de diminuer la résistance.

L'essai de propreté consiste donc à déterminer le pourcentage d'éléments  $< 0.5\text{mm}$ , conformément à la norme NF P 18-591, que ces éléments soient simplement mélanges ou adhérents à la surface des grains.

Pour les sables, la propreté est contrôlée par l'essai dit «équivalent de sable » Cet essai consiste à plonger un poids défini de sable dans une éprouvette normalisée remplie par une solution flocculant ; après agitation, on laisse décanter le mélange pendant 20 minutes, ensuite on mesure la hauteur du sédiment (H1 et du sédiment + flocculant H2).

Cet essai consiste à faire flocculer, dans des conditions normalisées de temps et d'agitation, les impuretés du sable

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

Tableau III.6 : classification de sable

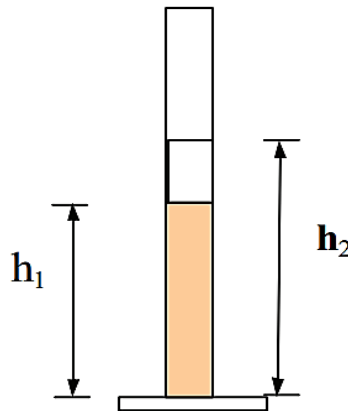


Figure III.6 : Essai d'équivalent de sable

L'équivalent de sable est donné par la relation suivante :

$$ES \% = H_1/H_2 * 100$$

**H1** : hauteur des grains solides sableux.

**H2** : hauteur des grains solides sableux + des impuretés argileuses.

**ES** : l'équivalent de sable.

**a. E.S.V** : équivalent de sable visuelle

		Essai 1	Essai 2	Essai 3	MOY %
<b>Sable du dune 100%</b>	<b>H1</b>	11.7	11.2	11.6	<b>72.19</b>
	<b>H2</b>	8.3	8.4	8.2	
<b>S D 50% S C 50%</b>	<b>H1</b>	10.7	10.8	12	<b>78.22</b>
	<b>H2</b>	8.7	8.7	8.8	
<b>S D 60% S C 40%</b>	<b>H1</b>	10.9	10.9	11.4	<b>76.22</b>
	<b>H2</b>	8.4	8.6	8.3	
<b>S D 40% S C 60%</b>	<b>H1</b>	10.4	10.5	10.8	<b>82</b>
	<b>H2</b>	8.5	8.7	8.8	

**Tableau III.7 : Équivalent de sable mixte E.S.V**

**b. E.S.P** : équivalent de sable piston

		Essai 1	Essai 2	Essai 3	MOY %
<b>Sable du dune 100%</b>	<b>H1</b>	11.7	11.2	11.6	<b>67.01</b>
	<b>H'2</b>	7.4	8	7.7	
<b>S D 50% S C 50%</b>	<b>H1</b>	10.7	10.8	12	<b>72.67</b>
	<b>H'2</b>	8.1	8.05	8.2	
<b>S D 60% S C 40%</b>	<b>H1</b>	10.9	10.9	11.4	<b>71.72</b>
	<b>H'2</b>	7.7	7.9	8.2	
<b>S D 40% S C 60%</b>	<b>H1</b>	10.4	10.5	10.8	<b>78.28</b>
	<b>H'2</b>	8.1	8.3	8.4	

**Tableau III.8 : Équivalent de sable concassé E.S.P**

**III.1.1.1.4 Module de finesse (Mf):**

Est une caractéristique importante surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse  $M_f$  compris entre 2,2 et 2,8 ; au-dessous, le sable a une majorité d'éléments fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au-dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. Ce paramètre est en particulier utilisé pour caractériser la finesse des sables à bétons (NF P 18-540).

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

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

$$M_f = \frac{\sum RC}{100} \dots \dots \dots (III.2)$$

Pour le sable de dune le module de finesse est comme suit :

$M_f = \sum$  Refus cumulés en % des tamis {0.16-0.315-0.63-1.25-2.5} .Alors :

$$M_f = \frac{1}{100}(97.25+52.1+18.05+6.15+0.55) = \mathbf{1.74}$$

**Mf =1.74**

Pour notre sable de dune  $1.5 < M_f < 2$

**III.1.1.1.5. Masse volumique absolue : NF P 18-301**

Elle est définie comme étant la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat sans tenir compte des vides pouvant exister entre les grains.[46]

**a) But de l'essai**

Cet essai a pour but de déterminer la masse volumique ou densité. Ce paramètre est une valeur intrinsèque du matériau en question sa détermination est indispensable aux calculs de masse, volumes.

Dans ce travail nous avons utilisé la méthode de l'éprouvette graduée, elle est simple, rapide.

### b) Conduite de l'essai

1. Remplir une éprouvette graduée avec un volume  $V_1$  d'eau.
2. Peser un échantillon sec  $M_s$  de sable (environ 150 g) et l'introduire dans l'éprouvette en prenant soin d'éliminer toutes les bulles d'air.
3. Le liquide monte dans l'éprouvette. Lire le nouveau volume  $V_2$ .

La formule de la masse volumique est :

$$\rho_{abs} = M / (V_2 - V_1)$$

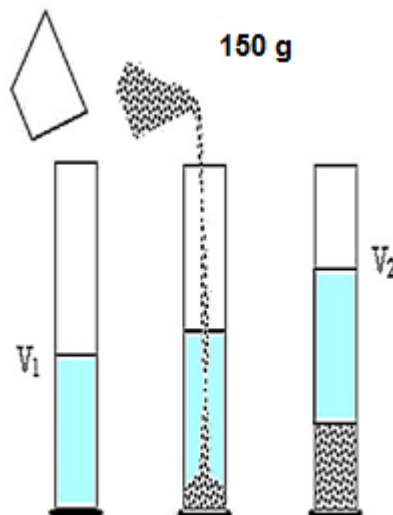


Figure III.7. Essai de la masse volumique absolue.

	V1	V2	M (g)	$\rho_{\text{abs}}$ (g/cm <sup>3</sup> )
SD 100 %	120	178	150	2.58
SD 60% SC 40%	120	170	130	2.6
SD 50% SC 50%	120	177.5	150	2.605
SD 40% SC 60%	120	189	180	2.61

**Tableau III.9 : Résultats de la masse volumique absolue du sable mixte**

#### III.1.1.1.6. Masse volumique apparente NF P 18-554

La masse volumique apparente d'un matériau est la masse volumique d'un mètre cube du matériau pris en tas, comprenant à la fois des vides perméables et imperméables de la particule ainsi que les vides entre particules.

$$M_v = M/V$$

$M_v$  = masse volumique apparente en g/cm<sup>3</sup>

$M$  = masse du matériau étudié en (g)

$V$  = volume du récipient en (cm<sup>3</sup>)

L'essai est répété 3 fois pour un volume de 0.9 litre et la moyenne de ces essais donne la valeur de la masse volumique apparente.

##### III.1.1.1.6. 1 Masse volumique apparente à l'état lâche:

###### 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 :

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

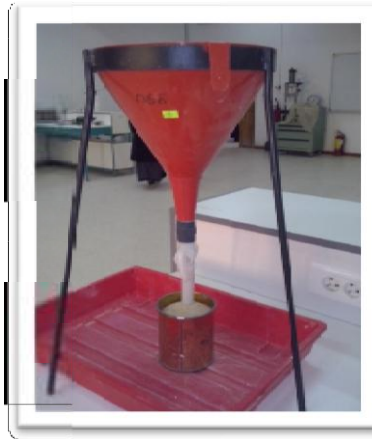


Figure III.8. Essai de la masse volumique apparente.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	M récipient (g)	V récipient (L)	moy	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
SD 100 %	1402	1386	1391	117	0.9	1276	1.41
SD 60% SC 40%	1429	1434	1446	117	0.9	1319.3	1.46
SD 50% SC 50%	1443	1463	1448	117	0.9	1334.3	1.48
SD 40% SC 60%	1468	1461	1464	117	0.9	1341	1.49

Tableau III.10 : Résultats de la masse volumique apparente du sable mixte à l'état lâche.

**III.1.1.1.6. 2 rente 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.

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	M récipient (g)	V récipient (L)	moy	$\rho_c$ (g/cm <sup>3</sup> )
SD 100%	1520	1493	1480	117	0.9	1497.6	1.66
SD 60% SC 40%	1511	1516	1507	117	0.9	1511.3	1.68
SD 50% SC 50%	1529	1534	1546	117	0.9	1536.3	1.70
SD 40% SC 60%	1546	1557	1558	117	0.9	1341	1.725

**Tableau III.11 : Résultats de la masse volumique apparente du sable mixte à l'état compact.**

### III.1.1.1.6. 2 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 :

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

On distingue deux cas :

- Etat lâche:

Sable	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (%)
SD100% SC 0%	1.43	2.58	44.58
SD 60% SC 40%	1.46	2.6	43.85
SD 50% SC 50%	1.48	2.605	43.19
SD 40% SC 60%	1.49	2.61	42.92

Tableau III.12 : Résultats de Porosité du sable mixte à l'état lâche.

- à l'état compacte

Sable	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (%)
SD100% SC 0%	1.66	2.58	35.65
SD 60% SC 40%	1.68	2.6	35.38
SD 50% SC 50%	1.70	2.605	34.74
SD 40% SC 60%	1.725	2.61	33,90

Tableau III.13 : Résultats de Porosité du sable mixte à l'état compacte.

**III.1.1.1.7. Compacité:**

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

La compacité donnée par la formule :

$$C = (\rho_a / \rho_{ab}) = 100 - P \dots\dots\dots (III.7)$$

On distingue deux cas :

Pour le sable de dune (de Biskra):

- Etat lâche:

Sable	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (%)	Compacité (%)
SD100% SC 0%	1.43	2.58	44.58	55.42
SD 60% SC 40%	1.46	2.6	43.85	56.15
SD 50% SC 50%	1.48	2.605	43.19	56.81
SD 40% SC 60%	1.49	2.61	42.92	57.08

Tableau III.14 : Résultats de Compacité du sable mixte à l'état lâche.

- Etat compacte :

Sable	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_{abs}$ (g/cm <sup>3</sup> )	Porosité (%)	Compacité (%)
SD100% SC 0%	1.66	2.58	35.65	64.35
SD 60% SC 40%	1.68	2.6	35.38	64.62
SD 50% SC 50%	1.70	2.605	34.74	65.26
SD 40% SC 60%	1.725	2.61	33,90	66,1

Tableau III.15 : Résultats de Compacité du sable mixte à l'état compacte.

### II.1.1.1.8. 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 (%)

- Etat lâche:

Sable	Porosité (%)	Compacité (%)	L indice des vides (%)
SD100% SC 0%	44.58	55.42	80.29
SD 60% SC 40%	43.85	56.15	78.09
SD 50% SC 50%	43.19	56.81	76.02
SD 40% SC 60%	42.92	57.08	75,19

Tableau III.16 : Résultats de L indice des vides du sable mixte à l'état lâche.

- Etat compacte :

Sable	Porosité (%)	Compacité (%)	
SD100% SC 0%	35.65	64.35	55.40
SD 60% SC 40%	35.38	64.62	54.75
SD 50% SC 50%	34.74	65.26	53,23
SD 40% SC 60%	33,90	66,1	51.28

Tableau III.17 : Résultats de L indice des vides du sable mixte à l'état compacte.

**III.1.1.1.9. 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 (**600g**).
- ◆ 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).

<i>N d essai</i>	$M_h$ (g)	$M_s$ (g)	W (%)	$W_{moy}$ (%)
<b>1</b>	600	595	0.83	1.05
<b>2</b>	600	594	1	
<b>3</b>	600	592	1.33	

**Tableau III.18: Teneur en eau du sable de dune**

**III.1.1.1.10. Foisonnement des sables**

L'interface de deux particules sphériques, l'humidité se présente sous la forme d'un film d'eau. Pour une humidité peu importante, le pont d'eau crée des forces d'attraction entre les particules mouillées. Lorsque la quantité d'eau augmente, la taille du pont augmente : on a l'impression que le sable gonfle : ce phénomène appelé **foisonnement**. »

**Remarque :** le foisonnement n'apparaît pas nettement lors de l'ajout d'eau au sable : c'est au malaxage mécanique que le phénomène se produit.

Le foisonnement est donc la variation de volume apparent en fonction de la teneur en eau.

On définit le coefficient de foisonnement égal au rapport : — ..... (III.12)

Avec : V=volume apparent du sable humide.

V0= volume apparent du sable sec.

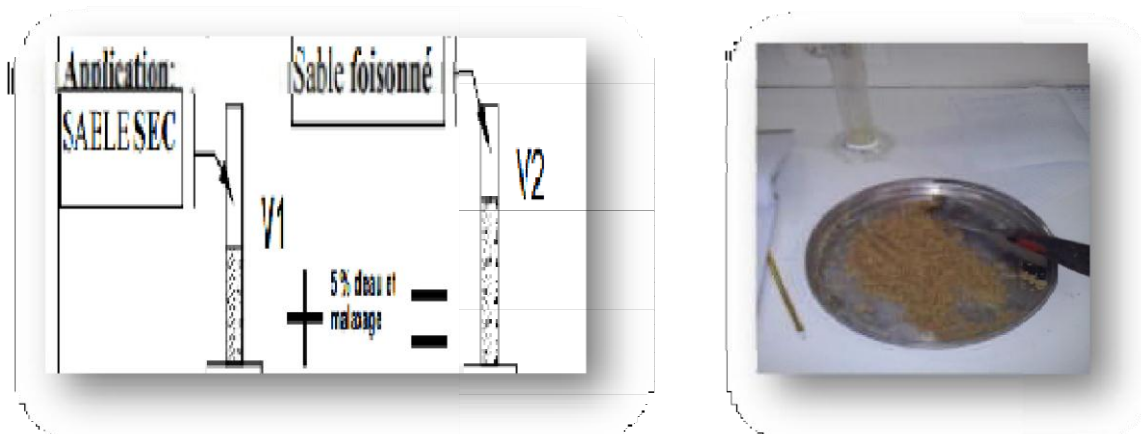


Figure III.9. Essai de foisonnement de sable

La courbe suivant représente la variation de la masse volumique apparente du sable en fonction de sa teneur en eau.

Essai	Addition d'eau (cm <sup>3</sup> )	Volume en cm <sup>3</sup>
01	5	130
02	10	144
03	15	132
04	20	120
05	25	119
06	30	110
07	40	100

Tableau III.19 : Foisonnement du sable de dune.

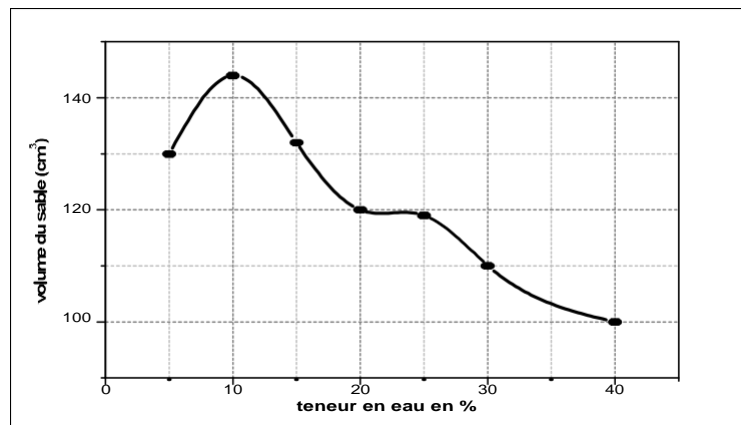


Figure III.10. Courbe de la variation du volume de sable en fonction de sa teneur en eau.

## Gravillon 3/8



Figure III.11 Gravillon 3/8 (carrière ENG)

Le gravillon utilisé est un granulat de classe granulaire s'étendant entre 4 et 8 mm, produit concassé de la carrière géante ENG (Entreprise Nationale des Granulats), unité d'EL KHROUB, résultant du concassage de la même roche utilisée pour produire le sable 0/5. L'analyse granulométrique effectuée au niveau du laboratoire a donné les résultats suivants :

## III.1. 2.1. L'analyse granulométrique

tamis (mm)	refus partiel(g)	refus cumulés(g)	refus cumulés (%)	tamisât cumulés(%)
10	0	0	0	100
8	32	32	2,13	97,86
6,3	411	443	29,53	70,46
5	420	863	57,53	42,46
4	465	1328	88,53	11,46
3,15	141	1469	97,93	2,06
2,5	25	1494	99,6	0,4
fond	6	1500	100	0

Tableau III.20 : Analyse granulométrique du Gravillon 3/8

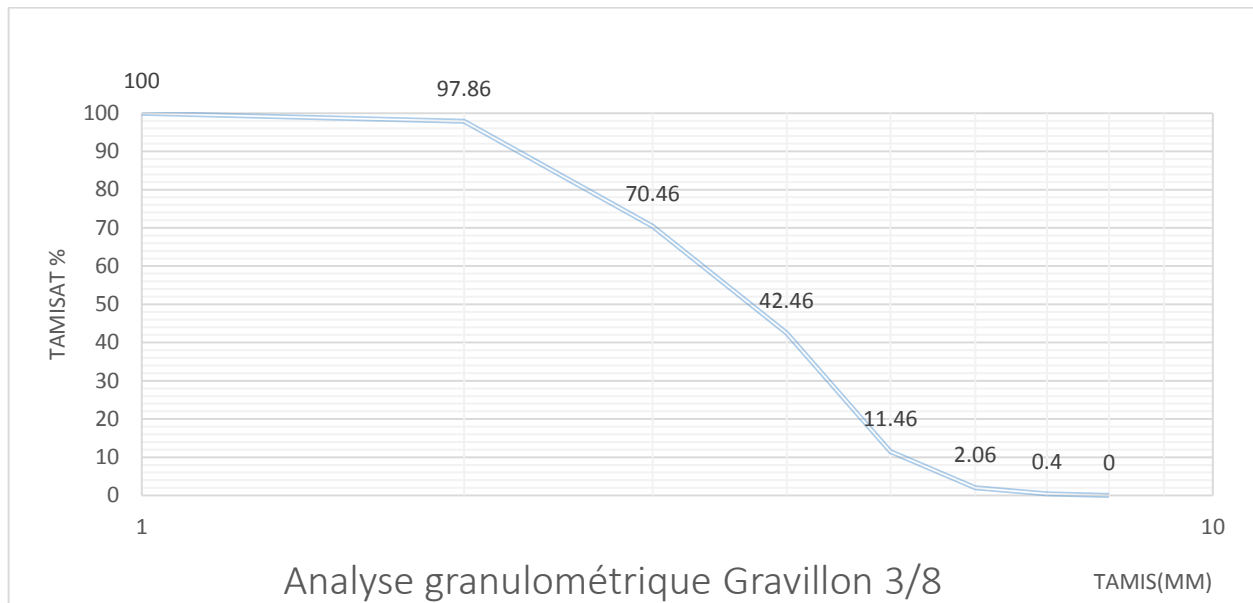


Figure III.12. Courbe granulométrique du Gravillon 3/8

**III.1 .2.1 Masse volumique absolue : NF P 18-555**

Même essai que le sable

Essai	M en (g)	V1en (g)	V2en (g)	$\rho_s$ (g/cm <sup>3</sup> )	$\rho_s$ moyenne (g/cm <sup>3</sup> )
01	300	200	315	2.56	2.6
02		250	365	2.56	
03		300	415	2.56	

Tableau III.21 : Résultats de la masse volumique absolue du Gravillon3/8

**III.1 .2.2 Masse volumique apparente NF P 18-55**

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

Les tableaux III.13: présentent les résultats de la masse volumique apparente à l'état lâche et compact.

*a. A l'état lâche*

	Essai 1	Essai 2	Essai 3	M récipient (g)	V récipient (L)	moy	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Gravie 3/8	12762	12855	12806	2920	7	9887.6	1.41

Tableau III.22: Résultats de la masse volumique apparente à l'état lâche du Gravillon 3/8*b. A l'état compact*

	Essai1	Essai2	Essai3	M récipient (g)	V récipient (L)	moy $\rho$	$\gamma_{app}$ (g/cm <sup>3</sup> )
Gravie 3/8	14962	14958	14960	2920	7	12040	1,72

Tableau III.23: Résultats de la masse volumique apparente à l'état compact du Gravillon 3/8**III.1 .2.3 Porosité : (NF P 18-554)**

Pour le sable concassé. On distingue deux cas :

- Etat lâche:  $\rho_L = 42.18 \%$ .
- Etat compacte:  $\rho = 32.81\%$ .

**III.1.1.2.4. Compacité:**

Même méthode que sable de dune.

- Etat lâche:  $C_L = 57.81\%$ .
- Etat compacte :  $C_c = 67.18 \%$ .

**III.1.1.2.5. L'indice des vides :**

- Etat lâche :  $e = 0,729\%$
- Etat compacte :  $e = 0,488\%$

### III.1 .3 Le ciment :

(Conformement à la norme **NA 442**, **EN 197-1** et à la norme **NF P 15-301194**)

Le ciment que nous avons utilisé pour l'exécution de tous les travaux expérimentaux est un ciment Portland de Classe **CPJ/CEMII/B 42.5 (MATINE)** fabriqué à l'usine de **LA FARGE** (région de **M'SILA HAMMEM DALAA**)

Les différentes caractéristiques que ce soit Chimiques, physiques ou mécaniques du ciment utilisé sont établies sur des fiches techniques élaborées au niveau des laboratoires de l'usine. Les différentes caractéristiques sont présentées dans les tableaux suivants. Nous notons que toutes les caractéristiques du ciment **CPJ/CEMII/B 42.5** manipulé répondent aux normes. Toute la quantité de ciment utilisée lors des séries d'expérimentation a fait l'objet d'une seule commande et conservé dans un milieu sec et à l'abri des écarts de température.

#### III.1 .3.1 Caractéristiques chimiques et minéralogique :

L'analyse chimique du ciment utilisé a révélé l'existence des éléments qui sont présentés en pourcentage massique dans les tableaux (II. 9)

Eléments	C3S	C2S	C3A	C4AF
	$3CaOSiO_2$	$2CaOSiO_2$	$3CaAl_2O_3$	$4CaOAl_2O_3Fe_2O_3$
Teneur %	59	14	6	10

Tableau III.24: Caractéristiques du minéralogique CPJ.

<i>ELEMENT</i>	$SiO_2$	$Al_2O_3$	$CaO$	$Fe_2O_3$	$MgO$	$SO_3$	$Na_2O$
<i>Teneur (%)</i>	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

Tableau III. 25 : Caractéristiques chimiques du CPJ.

**III.1 .3.2 Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment utilisé :** Les caractéristiques du CPJ sont regroupées dans le tableau suivant:

		<i>Les Normes</i>	<i>Valeur</i>
<b>Masse volumique absolue</b>			2.74 g/cm <sup>3</sup>
<b>Masse volumique apparente</b>	<b>Lâche</b>		1.12 g/cm <sup>3</sup>
	<b>Compact</b>		1.18 g/cm <sup>3</sup>
<b>Temps de prise</b>	<b>Début</b>	<i>(EN 196-3/ NF P 15 473)</i>	02H : 20 min
	<b>Fin</b>		4H : 30 min
<b>Consistance normalisée</b>		<i>(EN1963/ NF P 15-473)</i>	25%
<b>Finesse- Méthode Blaine</b>		<i>(EN 196-6 / NF P 15-476)</i>	4000 – 4200 cm <sup>3</sup> /g
<b>Résistance à la compression</b>	<b>2 jours</b>	MPa	18
	<b>7 jours</b>		32
	<b>28 jours</b>		Plus de 42.5

**Tableau III.26 : Caractéristiques mécaniques et physiques du ciment.**

**III.1.4. L eau de gâchage :**

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

**III.1.4.1. Caractéristique chimique de l'eau utilisée :**

La composition chimique d'eau du laboratoire de département de génie civil est établie à laboratoire de département de chimie (M sila).

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

**Tableau III.27: Caractéristiques Chimique d'eau.**

### III.1.5. Adjuvant:

#### III.1.5.1.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 poly carboxylates D'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons. La fiche technique d'adjuvant est donnée en annexe B.

Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité. [33]



**Figure III.14. Adjuvant MEDAFLOW 30**

**III.1 .5.2 caractéristiques :**

- ✚ Aspect : Liquide.
- ✚ Couleur : brun clair.
- ✚ PH : 6 - 6,5.
- ✚ Densité :  $1,07 \pm 0,01$ .
- ✚ Teneur en chlore :  $< 0,1 \text{ g/l}$
- ✚ Extrait sec : 30%. [33]

**III.1 .5.3 Dosage**

Plage de dosage recommandée :

0,5 à 2,0 % du poids de ciment, dans notre étude nous avons utilisés deux pourcentages de 1% et 2%.

**III.1 .5.4 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.
- Eviter la ségrégation.
- Faciliter la mise en œuvre du béton.

Sur 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.

**III.1.6. Le polystyrène:****III.1.6. 1.description du produit:**

Le **polystyrène expansé** est obtenu en provoquant une détente contrôlée de l'agent d'expansion sous l'effet thermique de la vapeur d'eau dans un appareil appelé pré-expandeur ou prémousseur. [26] (voir les photos techniques dans l'annexe C)



**Figure III.15 : les billes de polystyrène.**

**III.1.6.2. caractéristiques :**

- ✓ Densité :  $15 \text{ kg/m}^3$ .
- ✓ Comportement au feu : E.
- ✓ Résistance à l'arrachement  $> 100 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Résistance au cisaillement  $90 - 120 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Résistance au pliage  $160 - 210 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Résistance à la traction  $150 - 230 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Résistance à la compression  $> 70 - 120 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Coefficient d'élasticité  $3800 - 4200 \text{ kN/m}^2$
- ✓ Coefficient de dilatation  $5 - 7 \cdot 10^{-5}$
- ✓ Résistance à la chaleur : A long terme à  $20000 \text{ N/m}^2$
- ✓ Conductivité de chaleur à  $10^\circ \text{C}$   $0,038 \text{ W/m.K}$
- ✓ Capacité calorifique spécifique  $1500 \text{ J. kg. K}$
- ✓ Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau  $20 - 50$
- ✓ Coefficient d'absorption d'eau \* après 7 jours d'immersion \*  $3 \%$  (en volume).
- ✓ après 1 an d'immersion  $5 \%$  (en volume).

### III.1.7 Formulation et préparation du béton (NF EN 206-1)

Pour la composition du béton de classe 450 bars (déterminée par la méthode RUSS dite méthode de SCRAMTAIV), par un dosage en ciment et sable et Gravillon 3/8 de ( **3 part** de Gravillon et **7 part** de sable) ; ( $G/S=2.31$ ). Concernant d une fluidité plus ou moins constant (4 à 6 cm) mesurée à l aide d un cône métallique pesant 300 g, ayant un angle au sommet de 30 , la fluidité de la pâte du béton détermine la maniabilité.

Dans notre étude on a étudié un béton à base de sable mixte (sable de dune avec sable concassé) avec l ajout du polyester et l adjuvant.

La préparation des éprouvettes par un procédé de malaxage défini comme suit :

- ✓ Mélange de sable (S) seul pendant 30 seconds ;
- ✓ Ajout de Gravillon (G), puis on mélange l ensemble (S) +( G)
- ✓ Ajout de ciment (C), puis on mélange l'ensemble (S) +( G)+(C) ;
- ✓ Ajout de l eau (E) d unè manière progressive pendant le malaxage de la matrice (S+ G+ C+E), ensuite en procède au malaxage pendant une durée de 4 minutes ;
- ✓ Enfin, on procède au remplissage des moules par couche (02) suivi d`une vibration

Après 24 heures on procède au démoulage des éprouvettes où ces dernières sont déposées selon le mode de conservation approprié.

#### Conclusion:

A travers les résultats obtenus dans l'étude des caractéristiques des constituants de béton, nous pouvons tirer les conclusions suivantes:

- Le sable de dune possède un module de finesse préférentiel que le sable concassé.
- Les compositions ayant les proportions (50% SD+50% SC ,60%SD+40% SC) donnent un module de finesse relativement acceptable.
- Pour la formulation du béton témoin, nous avons utilisé trois (3) part de Gravillon et sept (7) parts de sable. Et pour le dosage en eau nous avons utilisé l'essai de maniabilité, pour la détermination de la quantité d'eau nécessaire, qui correspond à un béton "plastique".
- L adjuvant diminuent remarquablement le rapport E/C donc l eau de gâchage tout en procurant une fluidité impressionnante au mélange.



# **Chapitre IV:**

## **Résultats et discussion**

## CHAPITRE IV: Résultats et discussion

### Introduction :

Dans ce chapitre nous présentons les résultats des essais effectués sur le micro béton confectionnées selon les différentes combinaisons d'ajouts (sable concassé, polyester et adjuvant).

On a utilisé les abréviations suivantes :

- **B 1** : 100% SD + 0% SC.
- **B 2** : 60% SD + 40SC.
- **B 3** : 50% SD + 50% SC.:
- **B 4** : 40% SD + 60SC.
- **P** : Polyester.
- **A** : Adjuvant.

## IV.1 Caractérisation de micro bétons :

### IV.1.1 Détermination de la composition :

La composition des différents bétons sont données au tableau (IV.1) suivant :

	<b>P</b>	<b>Gravillon 3/8 (g)</b>	<b>Sable (g)</b>	<b>Ciment (g)</b>	<b>Polystyrène (g)</b>	<b>Adjuvant (g)</b>
<b>B 1</b>	00	16800	7280	6300	0.00	126
<b>B 2</b>	00	16800	7280	6300	0.00	126
<b>B 3</b>	00	16800	7280	6300	0.00	126
<b>B 4</b>	00	16800	7280	6300	0.00	126
<b>B 1</b>	10	15120	6540	5664	21.00	113
<b>B 2</b>	10	15120	6540	5664	21.00	113
<b>B 3</b>	10	15120	6540	5664	21.00	113
<b>B 4</b>	10	15120	6540	5664	21.00	113
<b>B 1</b>	15	14276	6184	5350	31.50	107
<b>B 2</b>	15	14276	6184	5350	31.50	107
<b>B 3</b>	15	14276	6184	5350	31.50	107
<b>B 4</b>	15	14276	6184	5350	31.50	107

**Tableau (IV.1) : composition et fluidité de micro béton étudié du volume 14L**

#### IV.1.2 Détermination de la Masse Volumique :

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

$$P = (M/V)$$

Ou : M : masse de l'éprouvette,

V : volume de l'éprouvette,

Les résultats obtenus au tableau (IV.2), donnant les valeurs moyennes de trois essais.

	P	masse volumique (g/cm <sup>3</sup> )			
		1j	7j	14j	28j
<b>B 1</b>	00	2.426	2.33	2.438	2.442
<b>B 2</b>	00	2.427	2.434	2.442	2.447
<b>B 3</b>	00	2.424	2.433	2.436	2.451
<b>B 4</b>	00	2.429	2.447	2.449	2.464
<b>B 1</b>	10	2.213	2.231	2.267	2.283
<b>B 2</b>	10	2.224	2.276	2.286	2.292
<b>B 3</b>	10	2.267	2.281	2.293	2.297
<b>B 4</b>	10	2.286	2.306	2.311	2.321
<b>B 1</b>	15	2.174	2.189	2.196	2.202
<b>B 2</b>	15	2.181	2.193	2.198	2.204
<b>B 3</b>	15	2.187	2.194	2.203	2.211
<b>B 4</b>	15	2.191	2.202	2.213	2.220

Tableau (IV.2) : Masse Volumiques de micro béton étudié

### IV.1.3 Le rapport E/C

Lors du calcul de la formulation du béton à l'aide de la méthode de SCRAMTAIEV, on obtient un dosage en eau de 200 litres et un dosage en ciment de 450 kg/m<sup>3</sup>. Ce qui nous a donné un rapport eau sur ciment (E/C) égal à 0.44. En comparant la valeur obtenue avec la valeur spécifiée dans la norme européenne E/C = 0.65 (cité ci-avant dans le tableau), on trouve que la condition  $0.44 \leq 0.65$  est satisfaite.

	P	Polystyrène (g)	Adjuvant (g)	E <sub>total</sub> (ml)	E <sub>utilisé</sub> (ml)	E/C
<b>B 1</b>	00	0.00	126	2800	2330	0.37
<b>B 2</b>	00	0.00	126	2800	2200	0.35
<b>B 3</b>	00	0.00	126	2800	2140	0.34
<b>B 4</b>	00	0.00	126	2800	2080	0.33
<b>B 1</b>	10	21.00	113	2520	2040	0.36
<b>B 2</b>	10	21.00	113	2520	1960	0.345
<b>B 3</b>	10	21.00	113	2520	1910	0.337
<b>B 4</b>	10	21.00	113	2520	1835	0.324
<b>B 1</b>	15	31.50	107	2380	1820	0.34
<b>B 2</b>	15	31.50	107	2380	1750	0.328
<b>B 3</b>	15	31.50	107	2380	1715	0.32
<b>B 4</b>	15	31.50	107	2380	1660	0.31

Tableau (IV.3) : fluidité du micro béton de volume 14L

#### IV.1.4 Détermination de la capacité d'absorption :

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

$$W(\%) = \frac{M_h - M_s}{M_h} * 100$$

Où :

: La masse de l'éprouvette contenue d'eau absorbée

: La masse de l'éprouvette sèche (après l'étuve pendant 24 h à 105 °C)

Les résultats obtenus sont regroupés au tableau (IV.4) donnant les valeurs moyennes de trois essais

	P	Absorption d'eau (%)		
		7j	14j	28j
<b>B 1</b>	00	5.30	5.30	4.96
<b>B 2</b>	00	5.70	4.91	3.51
<b>B 3</b>	00	1.91	3.82	2.28
<b>B 4</b>	00	6.59	3.54	1.59

	P	Absorption d'eau (%)		
		7j	14j	28j
<b>B 1</b>	10	7.25	6.85	5.83
<b>B 2</b>	10	5.64	5.50	4.54
<b>B 3</b>	10	4.60	3.62	3.12
<b>B 4</b>	10	4.14	3.1	2.02

	P	Absorption d'eau (%)		
		7j	14j	28j
<b>B 1</b>	15	5.12	5.00	6.51
<b>B 2</b>	15	4.42	4.42	4.93
<b>B 3</b>	15	4.82	3.70	3.16
<b>B 4</b>	15	4.21	3.15	2.19

Tableau (IV.4) : Absorption du micro béton

### IV.1.5 Compression simple : EN 12390-3

La résistance à la compression des bétons est mesurée conformément à la norme EN 196-1, à l'aide d'une presse hydraulique pour chaque durée et chaque type de béton.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture en flexion seront rompus en compression comme l'indique la Figure (IV.20) si  $F_c$  est la charge de rupture à la compression, et  $b$  est le côté de la section, la contrainte de rupture sera :

$$R_c = \frac{F_c}{S}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression, cette résistance est exprimée en [MPa].

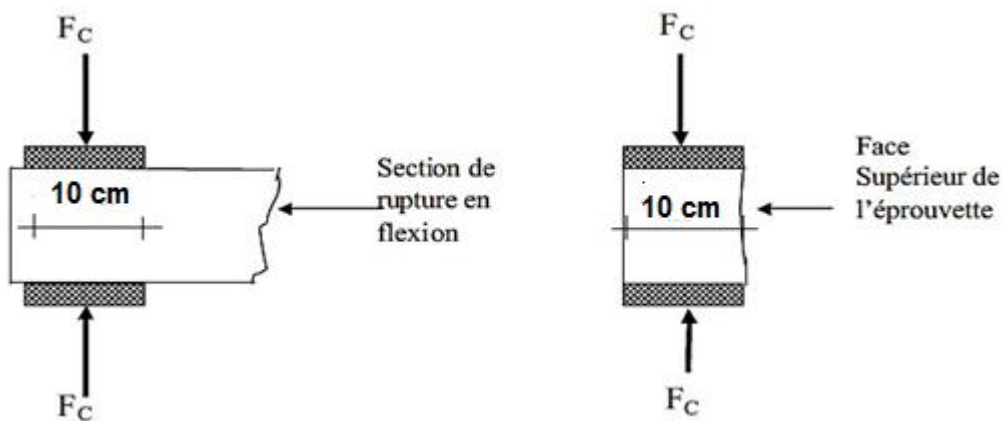


Figure IV.1 : Dispositif de rupture en compression

Les résultats sont regroupés dans les tableaux suivants

		Résistance a la compression(MPA)			
		P (%)	7 J	14 J	28 J
B 1	00		35.816	43.21	50.76
B 2	00		38.516	40.326	51.84
B 3	00		34.936	46.69	52.653
B 4	00		36.736	42.342	58.08

Tableau (IV.5) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant sans polyester

		Résistance a la compression(MPA)			
		P (%)	7 J	14 J	28 J
B 1	10		24.826	35.456	43.703
B 2	10		26.297	33.766	44.543
B 3	10		28.58	31.735	45.865
B 4	10		30.465	36.318	47.435

Tableau (IV.6) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant avec 10 % polyester

		Résistance a la compression(MPA)			
		P (%)	7 J	14 J	28 J
B 1	15		25.225	31.715	39.786
B 2	15		28.184	32.326	40.329
B 3	15		27.46	33.35	41.325
B 4	15		29.435	36.494	43,417

Tableau (IV.7) résistance mécanique du micro béton à base de sable mixte avec adjuvant avec 15 % polyester

## IV.2 Discussion

✚ **IV.2.1 La Masse volumique** : les résultats sont discutés comme suite :  
effet du polyester, effet du sable concassé, effet d'absorption, effet de E/C).

### ➤ Effet de polyester:

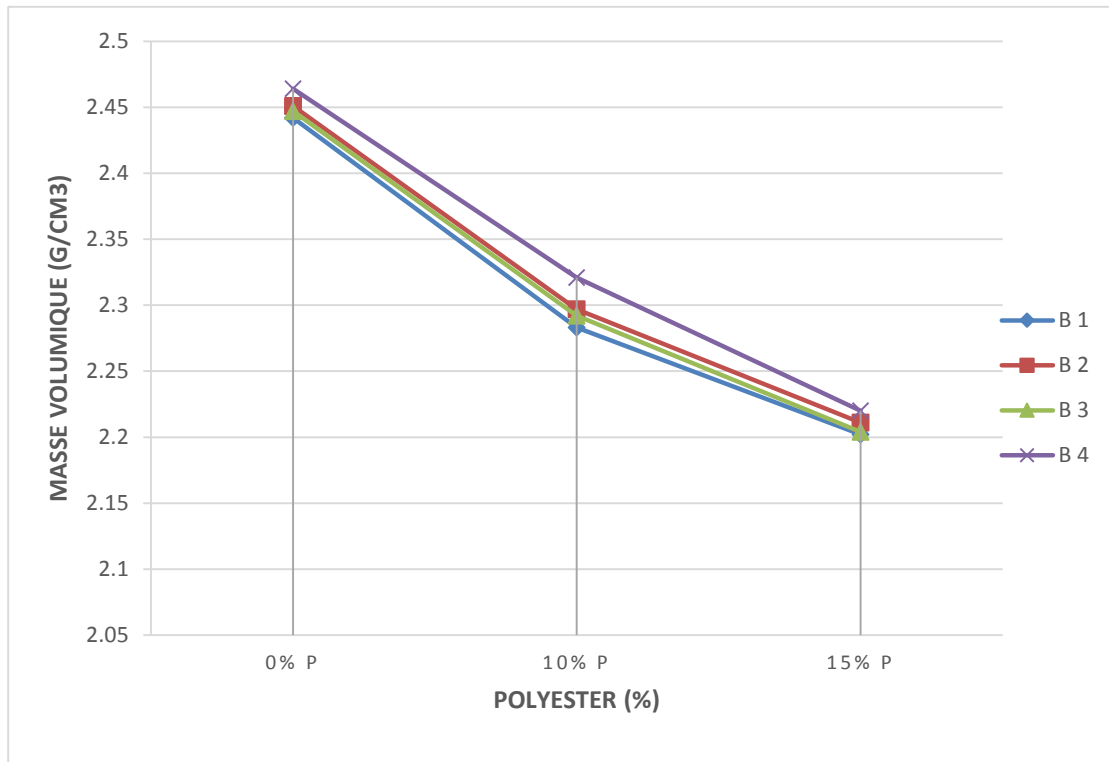
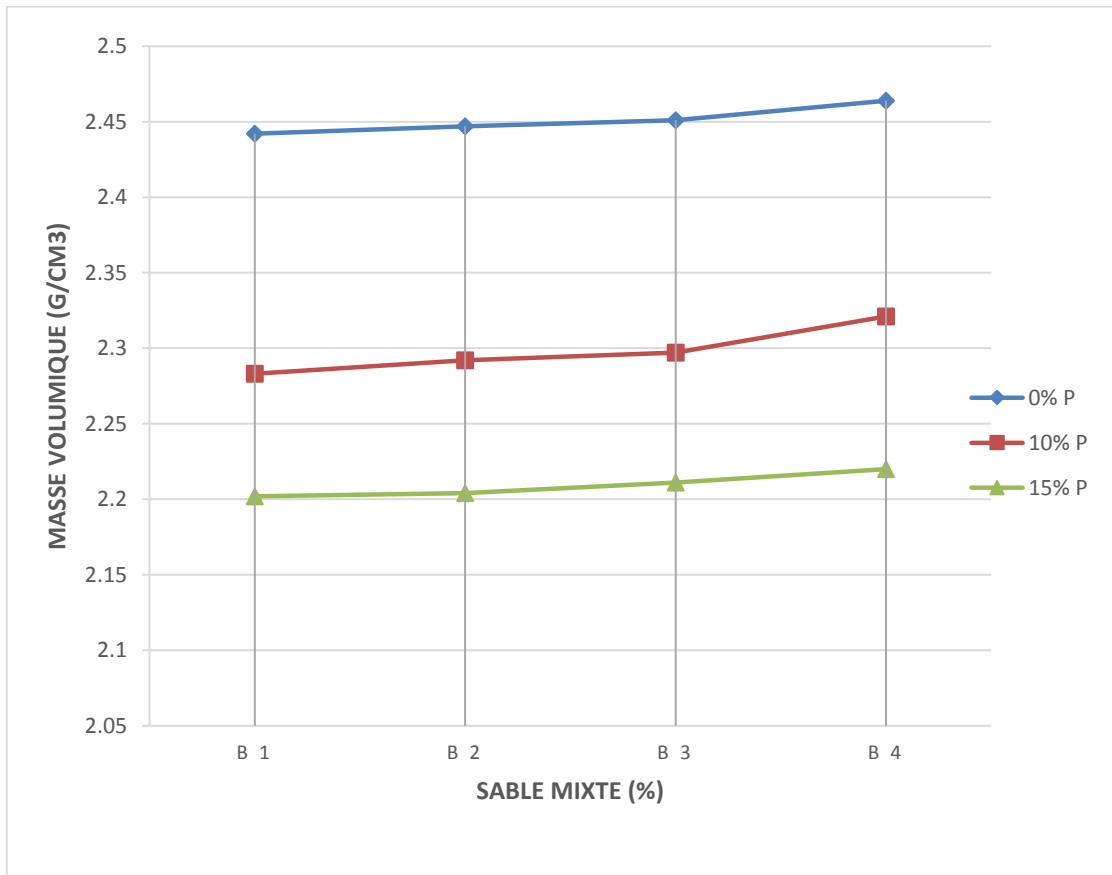


Figure IV.2 : Masse volumique du micro béton à 28 j en fonction polyester.

D'après la figure (IV.2), on note pour toutes les compositions du sable mixte l'ajout du polyester diminue la masse volumique du béton.

A titre d'exemple : pour la composition du sable mixte (B 4) on constate une diminution de 10 % de la masse volumique cela est dû essentiellement à l'occupation des grains du polystyrène d'un volume important.

## ➤ Effet de sable concassé



**Figure IV.3 : Masse volumique du micro béton à 28 j en fonction sable concassé.**

On remarque sur la Figure (IV.3), que l'ajout du sable concassé n'a pas une grande influence sur la masse volumique du béton, à titre d'exemple on constate que l'ajout de 60% de sable concassé (B4) engendre une augmentation de la masse volumique de 2 %.

## ➤ Effet de l'absorption

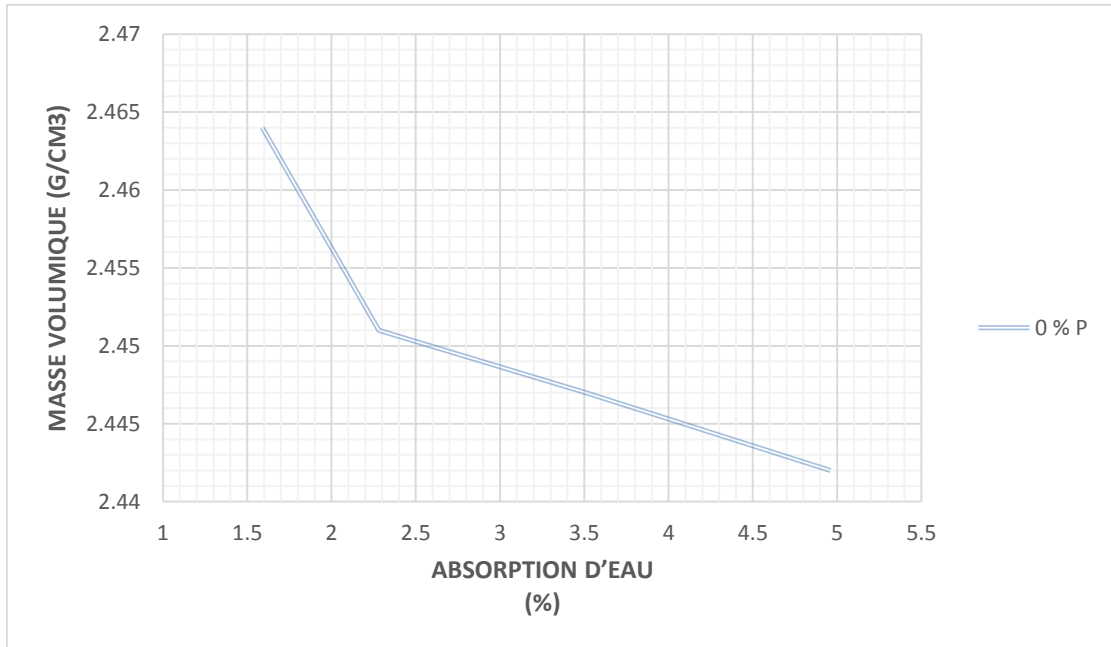


Figure (IV.4): Masse volumique à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester

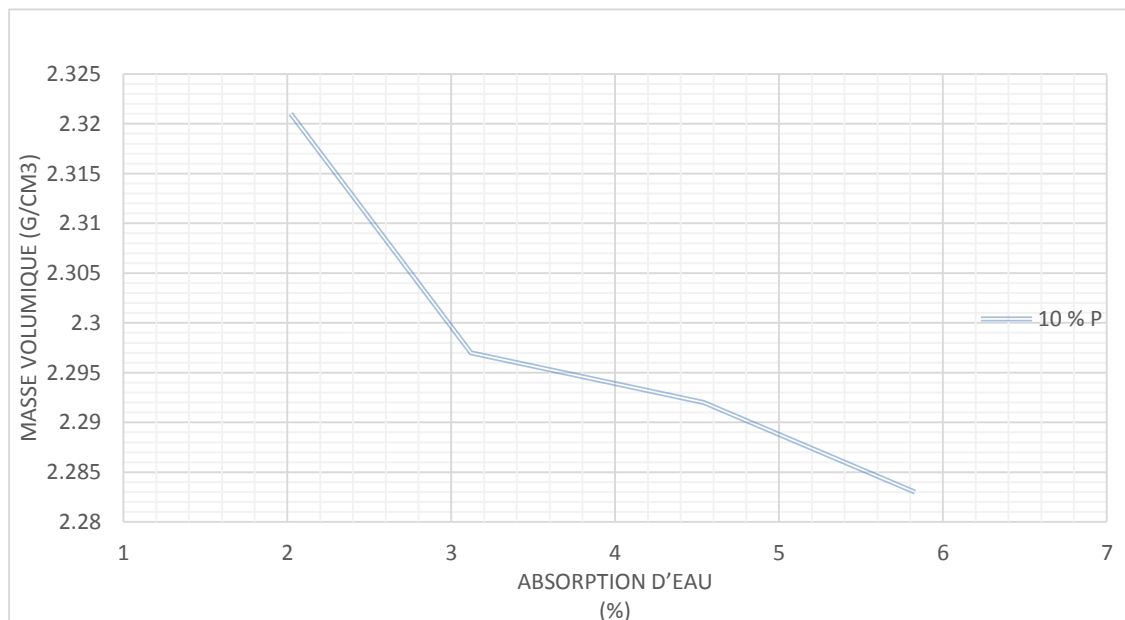
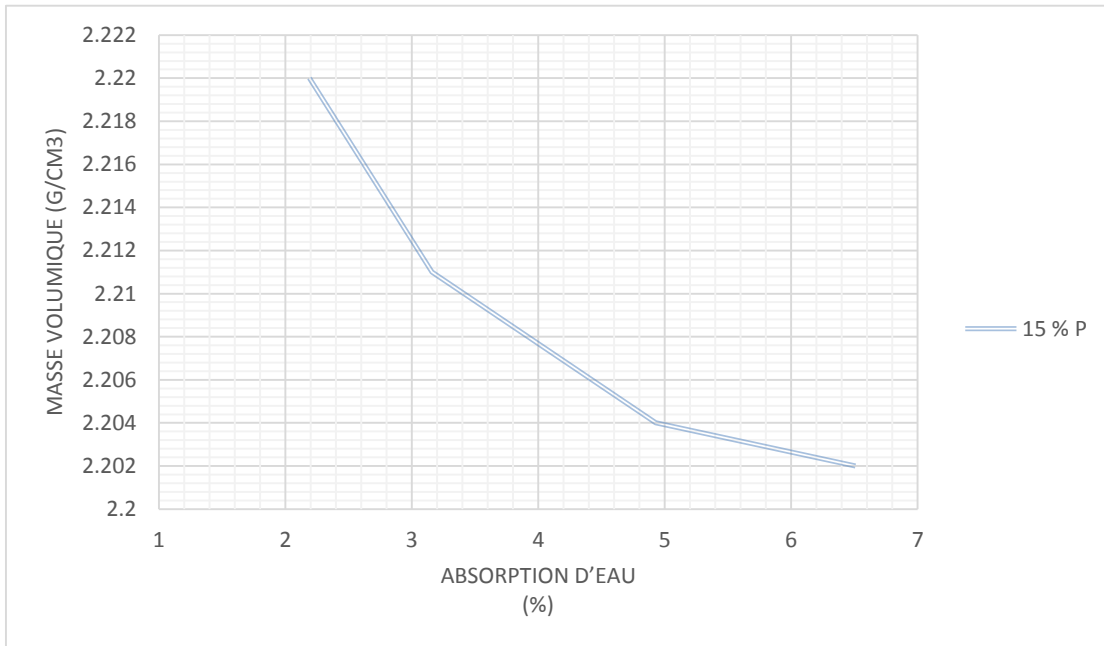


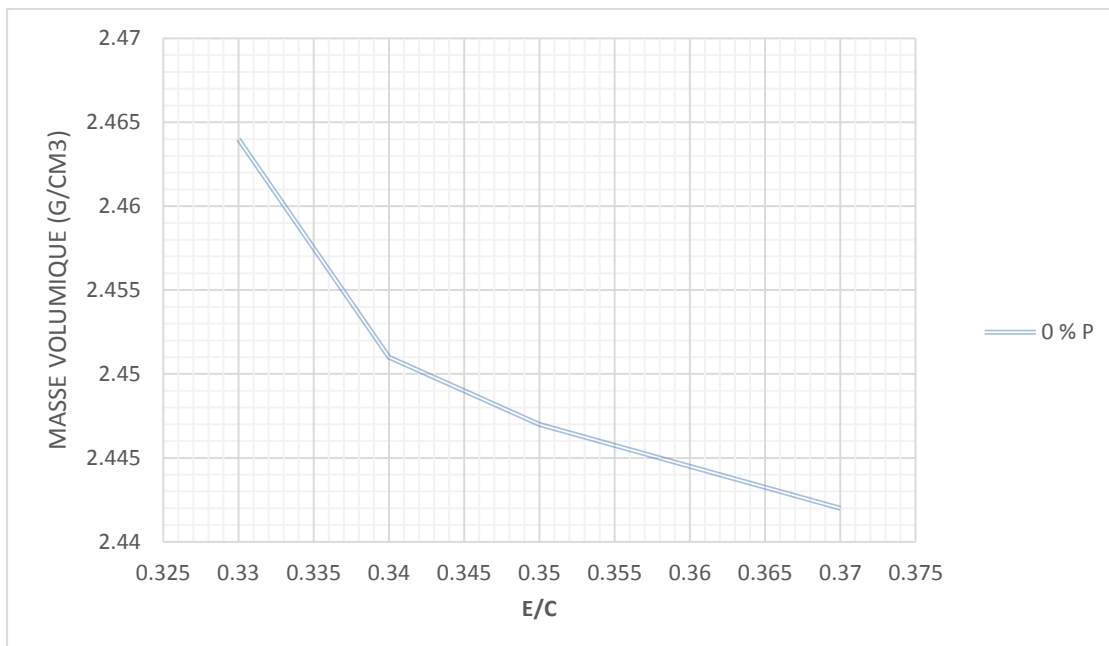
Figure (IV.5): Masse volumique à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10 % polyester



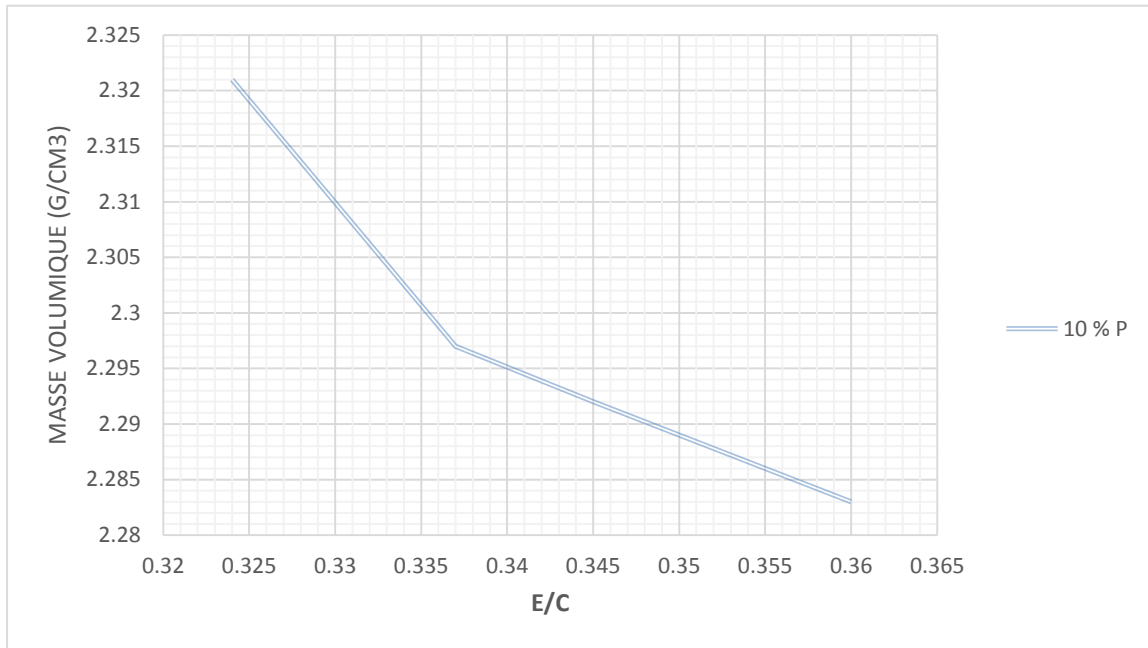
**Figure (IV.6): Masse volumique à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester**

On remarque d'après la figure (IV.4 ,IV.5 et IV.6) Que l'augmentation de l'absorption est engendré une baisse de la masse volumique pour tous dosage en polyester cela est du essentiellement au pores existant entre grains.

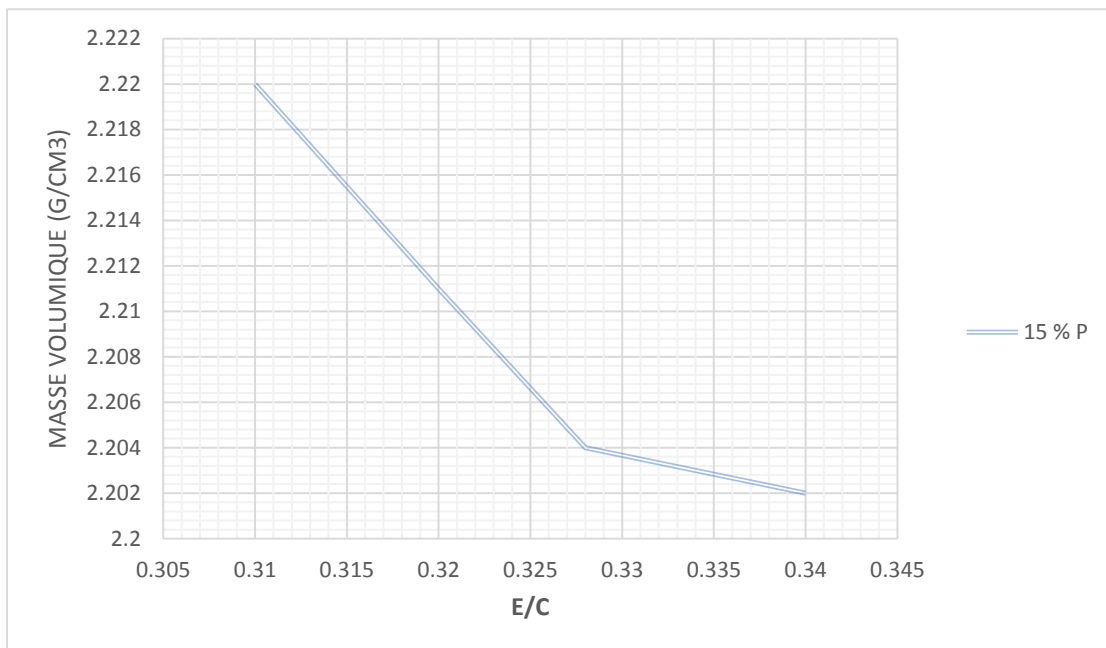
➤ **Effet de E/C**



**Figure (IV.7): Masse volumique à 28 jours en fonction de E/C sans polyester**



**Figure (IV.8):** Masse volumique à 28 jours en fonction de E/C avec 10 % polyester



**Figure (IV.9):** Masse volumique à 28 jours en fonction de E/C avec 15 % polyester

On remarque d'après la figure (IV.7 ,IV.8 et IV.9) Que la masse volumique diminue en augmentant le rapport E/C pour tous dosages en polystyrène pour tous micro bétons.

### IV.2.2 La fluidité

Dans cette étude, la fluidité est prise plus au moins constante alors on étudie l'influence de (Polystyrène, sable concassé, absorption) sur le rapport E/C

#### ➤ Effet de polyester

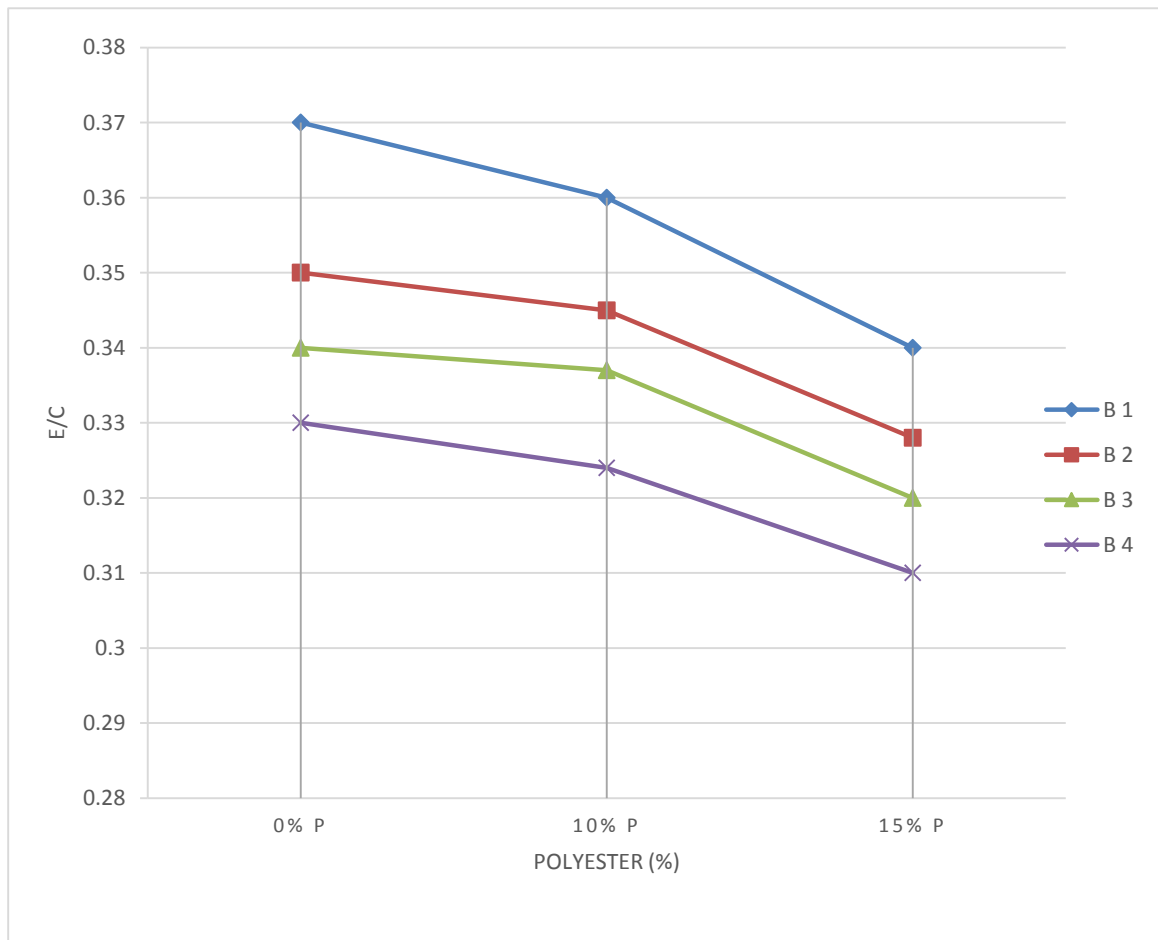


Figure IV.10 : E/C en fonction du polyester

D'après la figure (IV.10), on note une diminution du rapport E/C en augmentant le dosage en polyester pour tous les bétons à base de sable mixte. On peut dire que le polyester affecte le rapport E/C en diminuant la quantité d'eau de gâchage.

## ➤ Effet de sable concassé

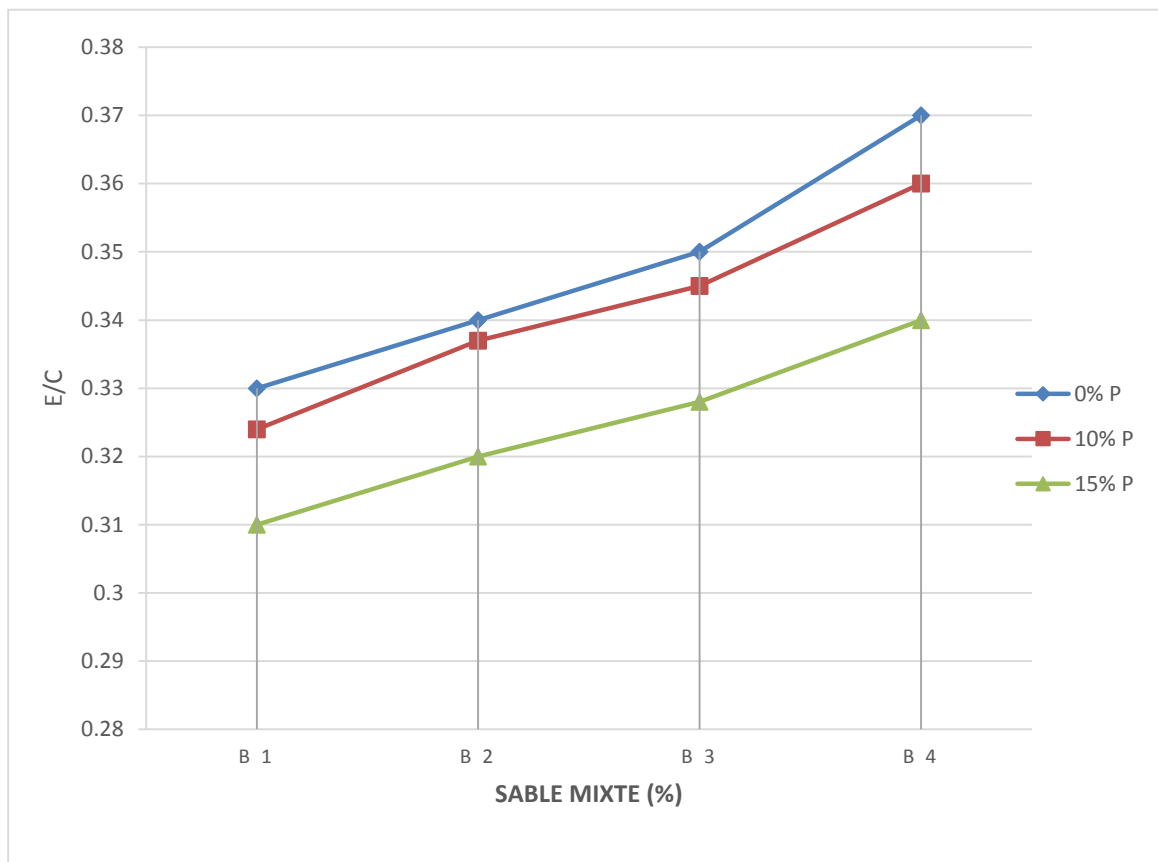


Figure IV.11 : E/C du micro béton à 28 j en fonction du sable concassé.

D'après la figure (IV.11), on note une légère augmentation de E/C en augmentant le % de sable concassé. À titre d'exemple, on constate que l'ajout de 40 % de sable concassé est suivi par une augmentation du rapport E/C, puis on note une augmentation du rapport E/C jusqu'à 60 % d'ajout.

## ➤ Effet d'Absorption d'eau

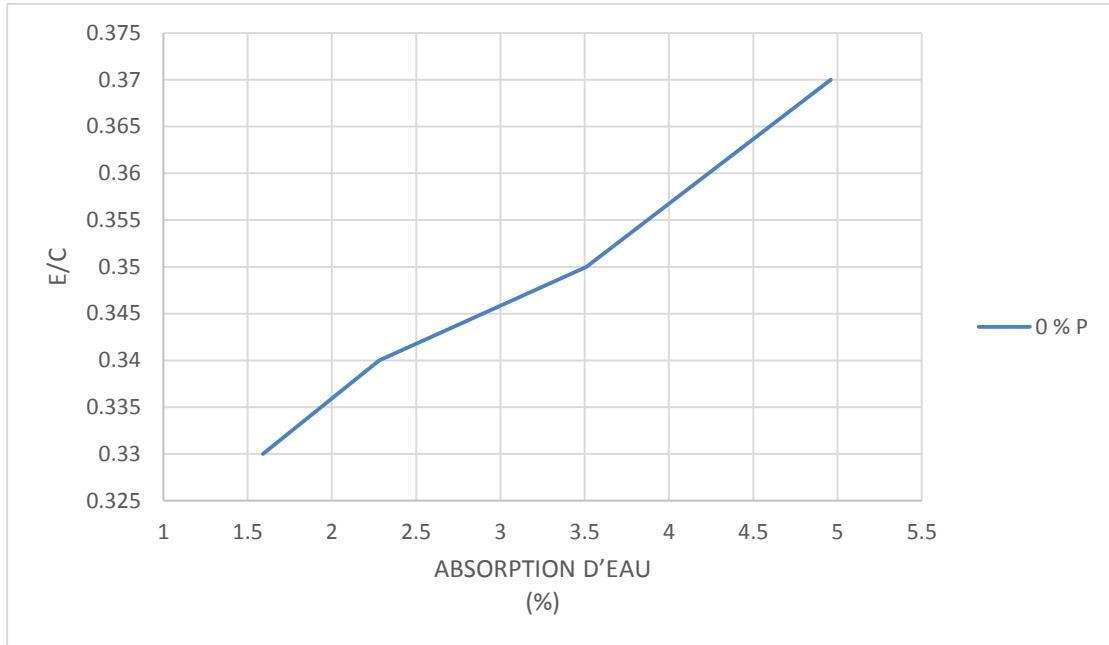


Figure (IV.12): E/C du micro béton à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester

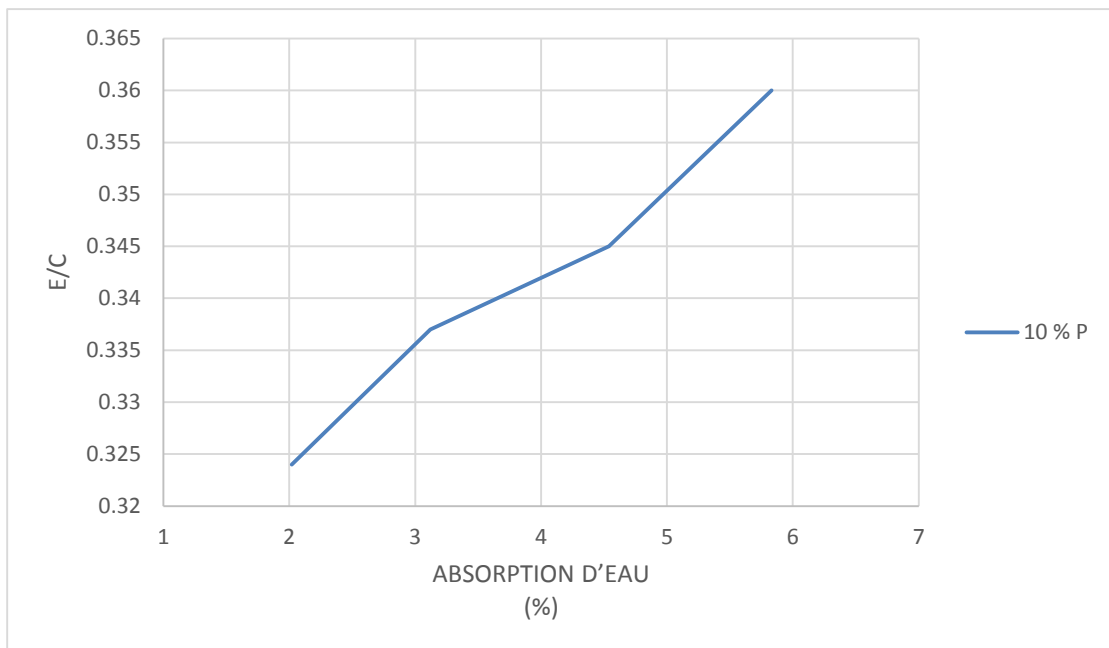
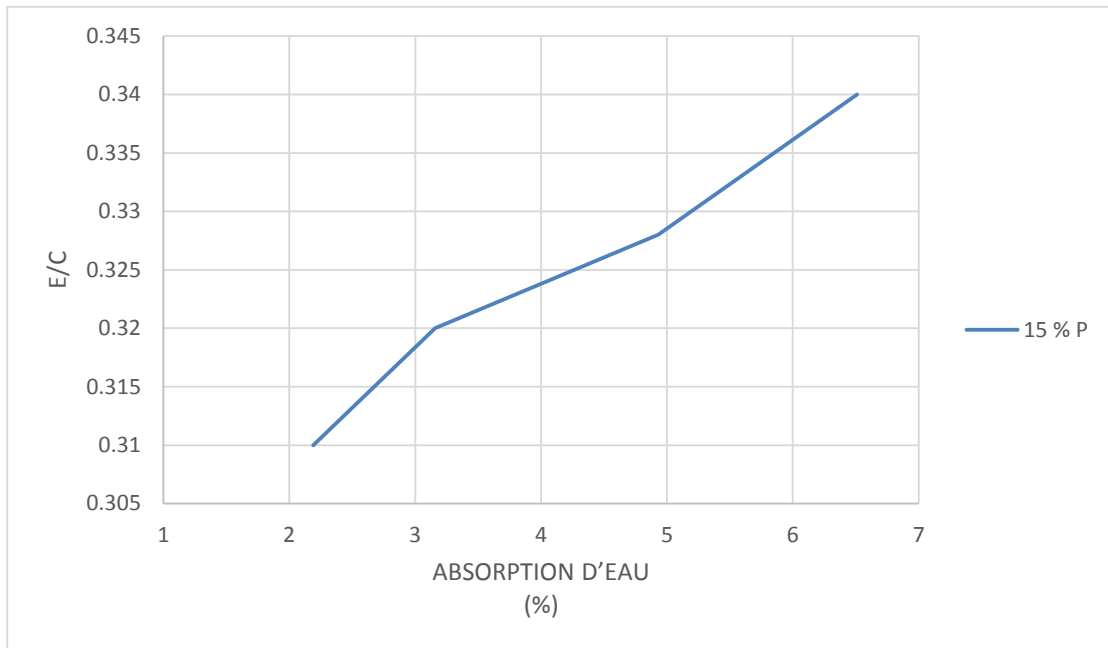


Figure (IV.13): E/C du micro béton à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10 % polyester



**Figure (IV.14): E/C du micro béton à 28jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester**

On remarque d'après la figure (IV.12 ,IV.13 et IV.14) que l'augmentation de l'absorption est suivie par une augmentation du rapport E/C pour tous dosage de polyester .

## IV.2.3 Absorption d'eau

## ➤ Effet de polyester

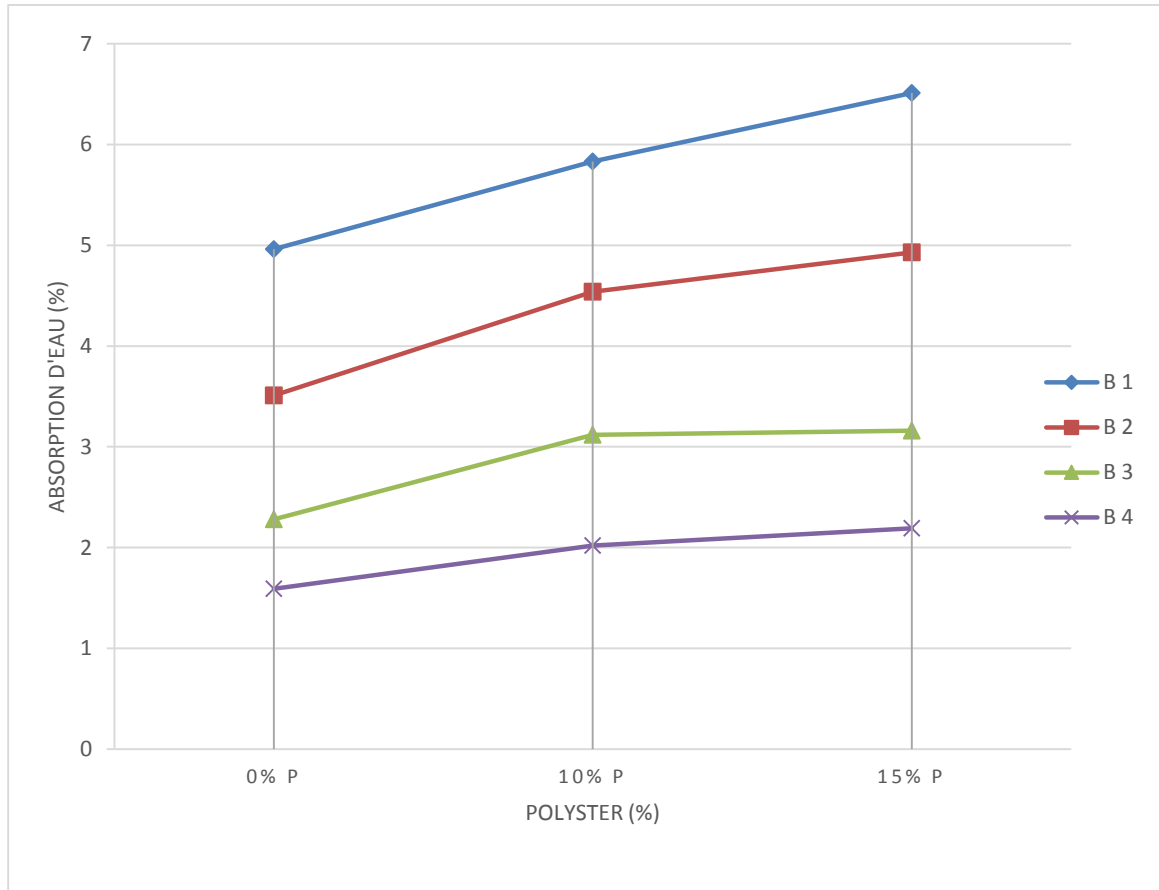


Figure IV.15 : Absorption d'eau du béton avec polyester à 28 j

D'après la figure (IV.15), on note une augmentation d'absorption d'eau pour tous les bétons à base de sable mixte, car l'ajout du polyester n'améliore pas le mode de serrage des grains ainsi des vides sont créés alors l'absorption d'eau augmente.

## ➤ Effet de sable concassé

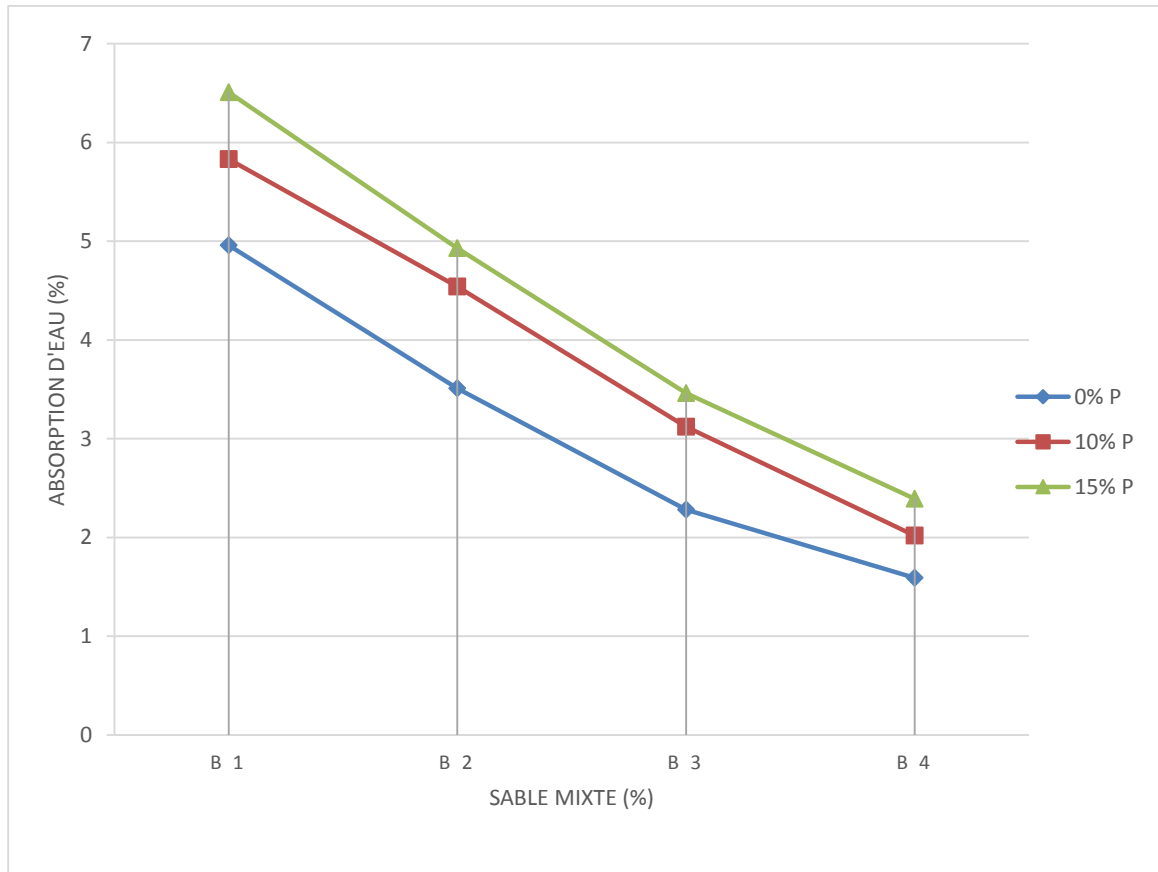


Figure IV.16. Absorption d'eau du béton à 28 j en fonction du sable concassé

D'après la figure (IV.16), on constate que l'ajout du sable concassé est suivi par une baisse d'absorption pour tous les dosages en polyester, à titre d'exemple pour un dosage de 15% de polyester pour B1,  $A\% = 6,51$  passe à 2,39 pour le béton B4 donc une diminution de 63,28%

### IV.2.3 Résistance à la compression :

#### ➤ Effet de polyester

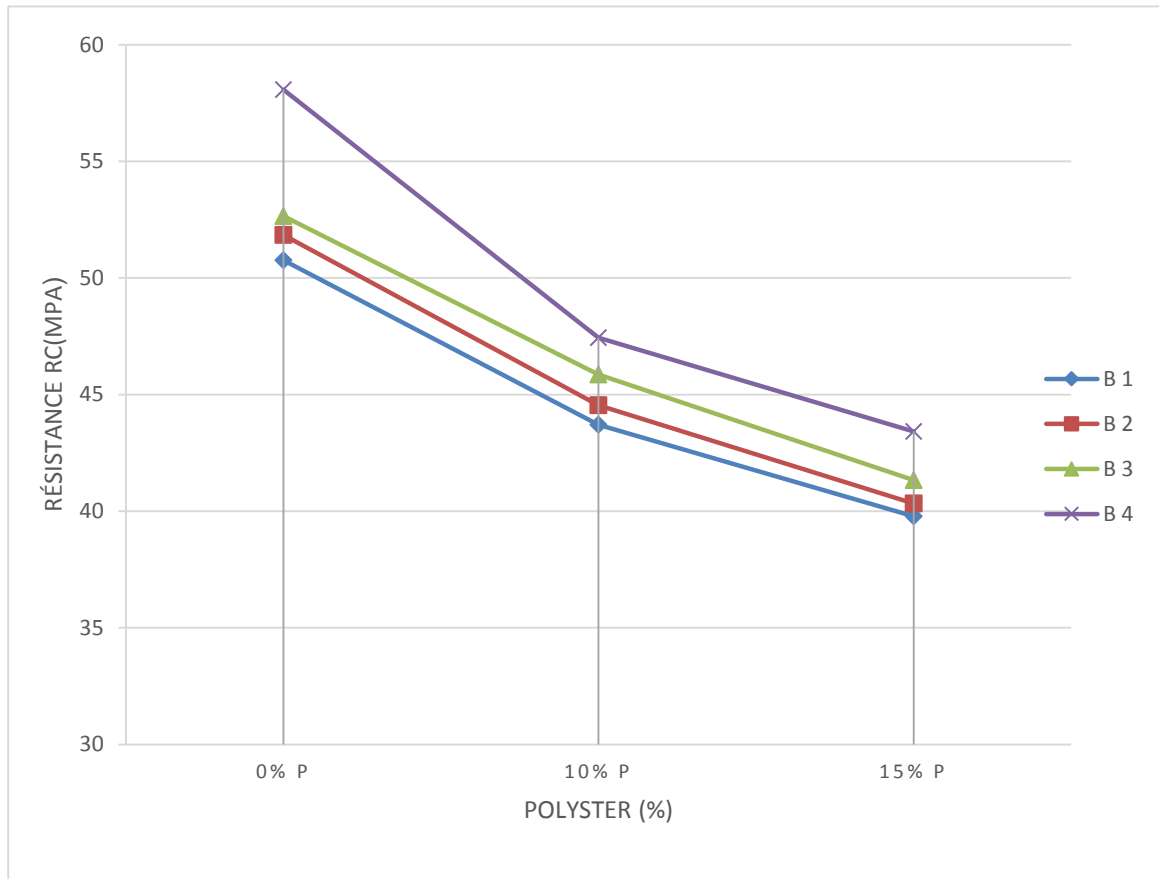
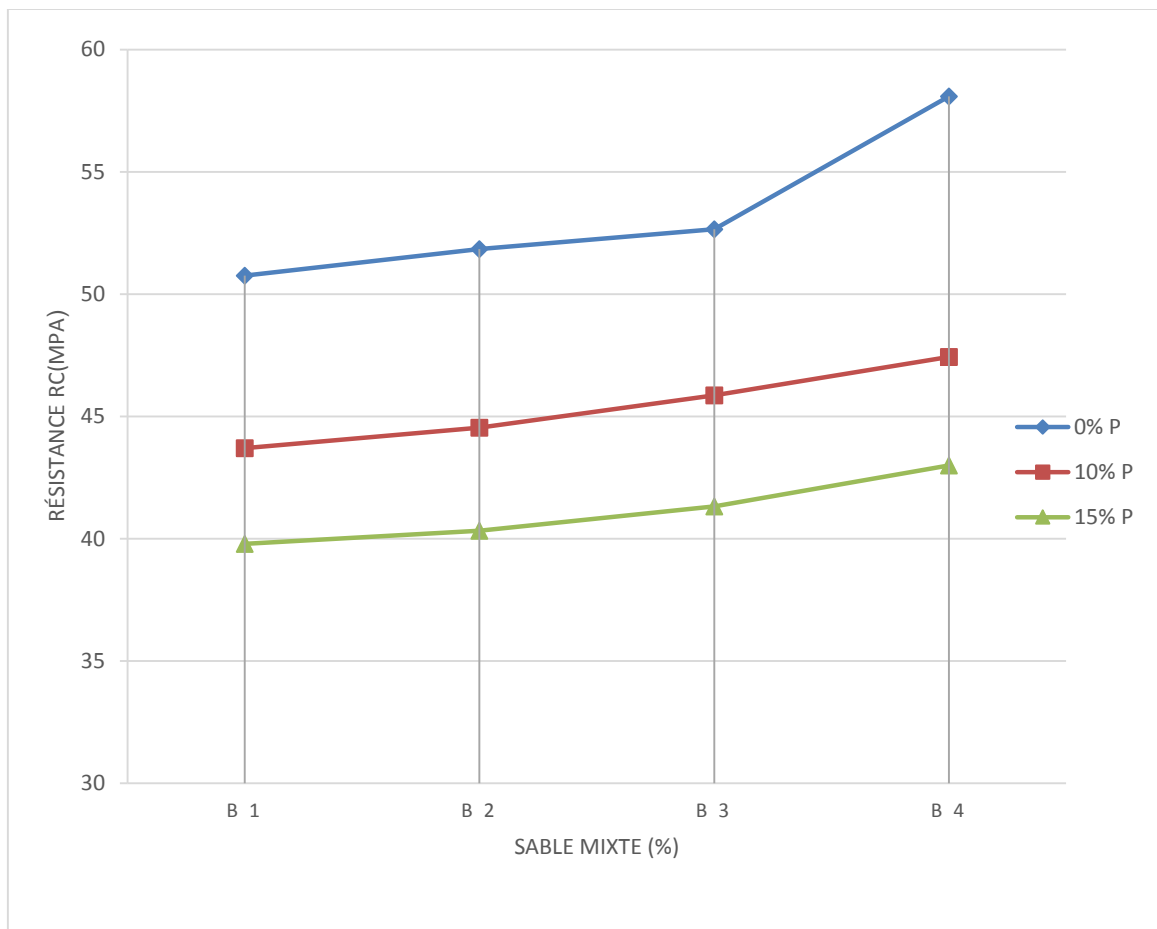


Figure IV.17. Résistance à la compression du béton en fonction du polyester à 28 j.

Selon la figure (IV.17), on remarque, une perte de résistance à la compression pour toutes compositions de sable mixte, lorsque le pourcentage du polyester augmente dans le béton. Cette perte de résistance est due à l'effet nuisible (création de vides) du polyester.

## ➤ Effet du sable concassé



**Figure IV.18. Résistance à la compression en fonction du sable concassé avec polyester à 28 j**

D'après la figure (IV.18), on remarque que la résistance à la compression du micro béton pour tous dosages en polyester présente une faible augmentation en augmentant le "de sable concassé".

## ➤ Effet d'Absorption:

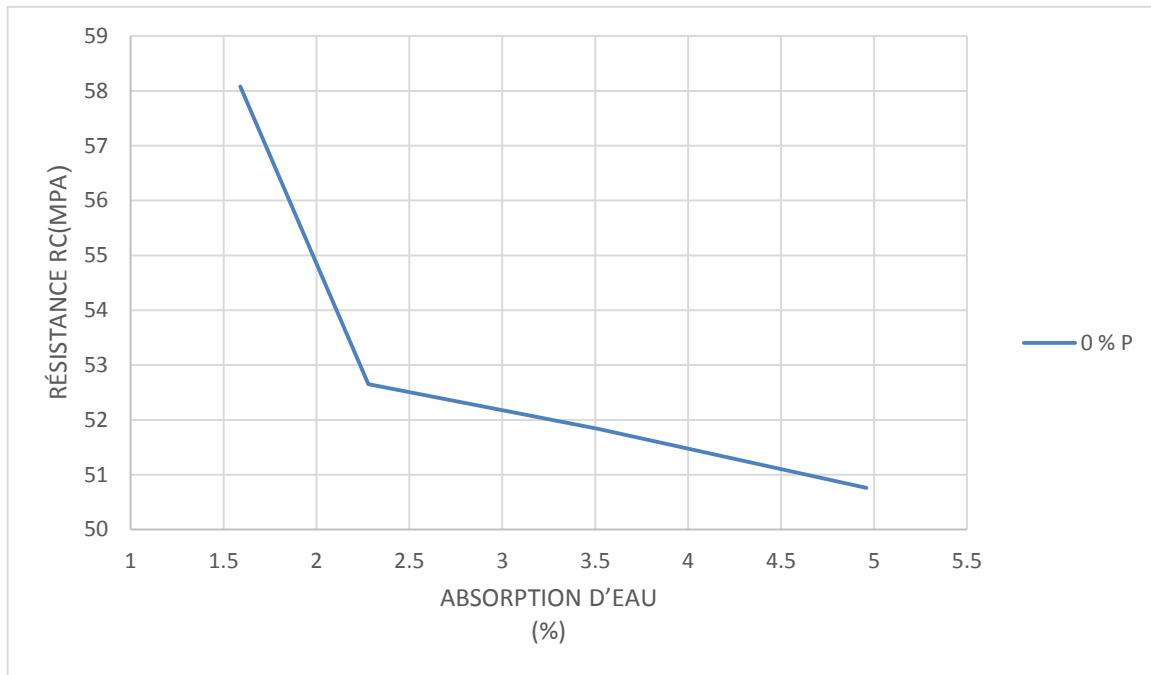


Figure (IV.19): Résistance à la compression à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau sans polyester

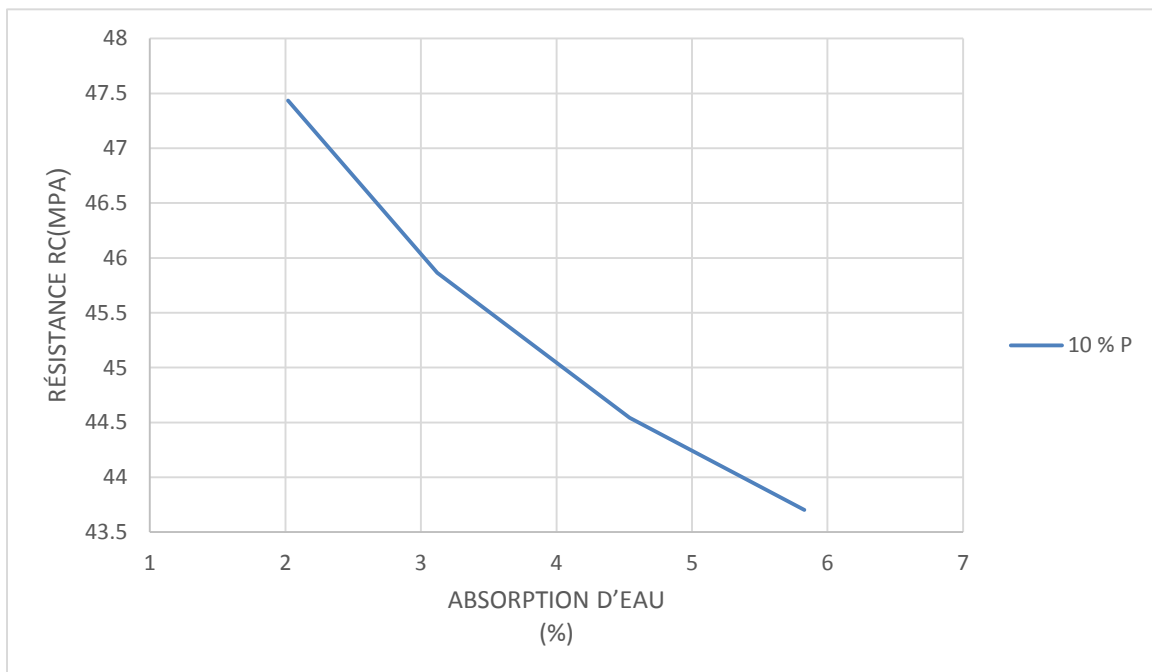
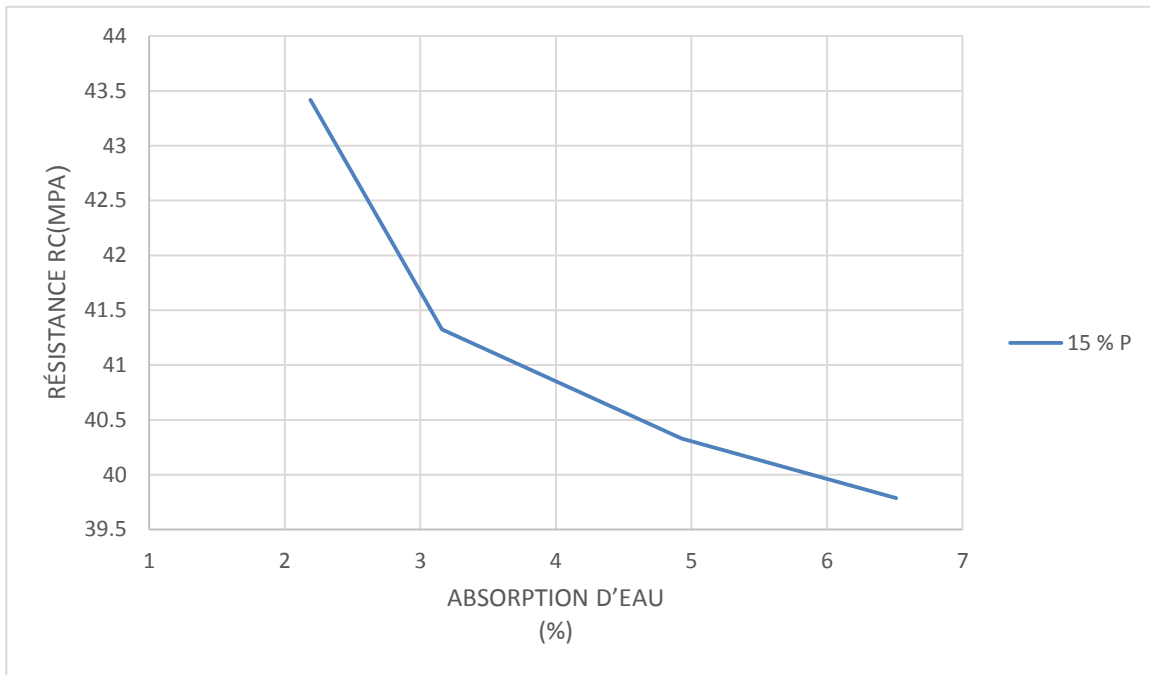


Figure (IV.20): Résistance à la compression à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau avec 10 % polyester



**Figure (IV.21): Résistance à la compression à 28 jours en fonction d'Absorption d'eau avec 15 % polyester**

D'après la figure (IV.19, IV.20 et IV.21), on remarque que pour tous les dosages de polyester, la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de l'absorption. Cela est dû à la présence de pores dans le béton.

## ➤ Effet du temps

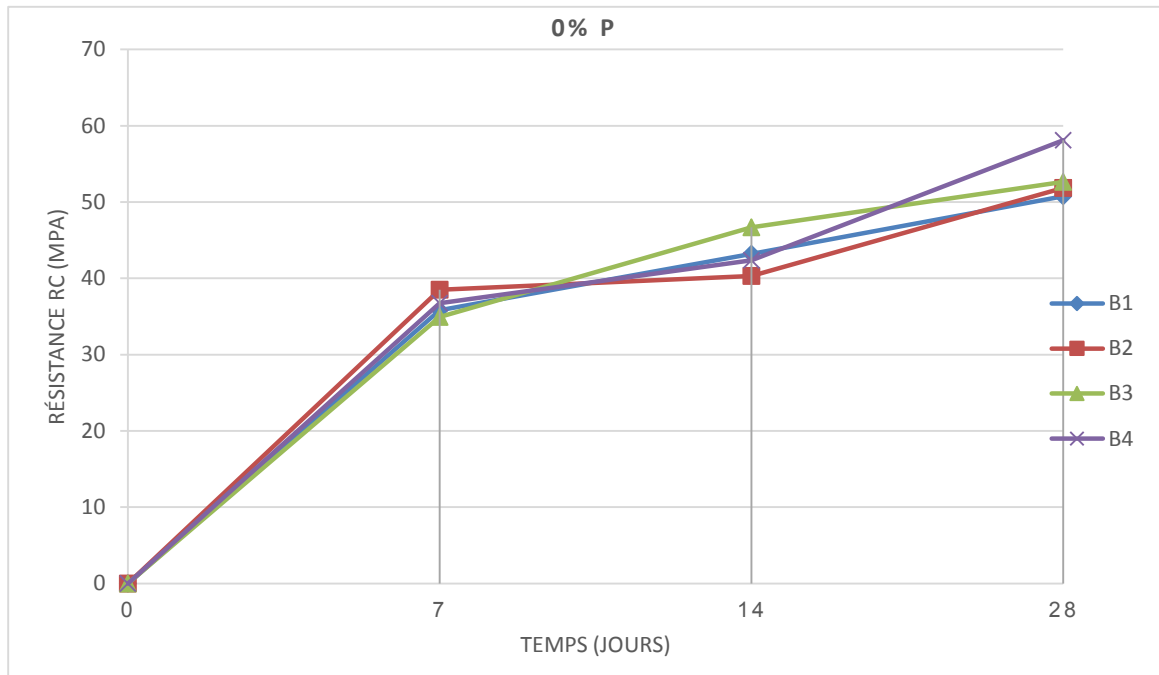


Figure IV.22. Résistance à la compression du béton en fonction du temps sans polyester

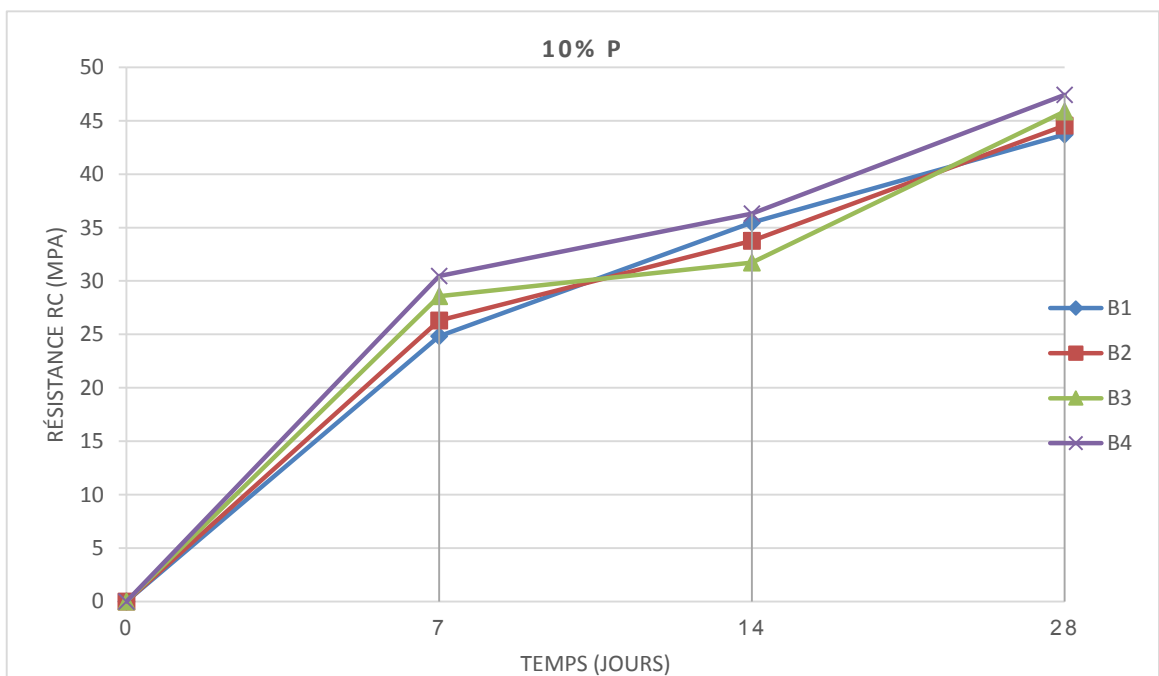
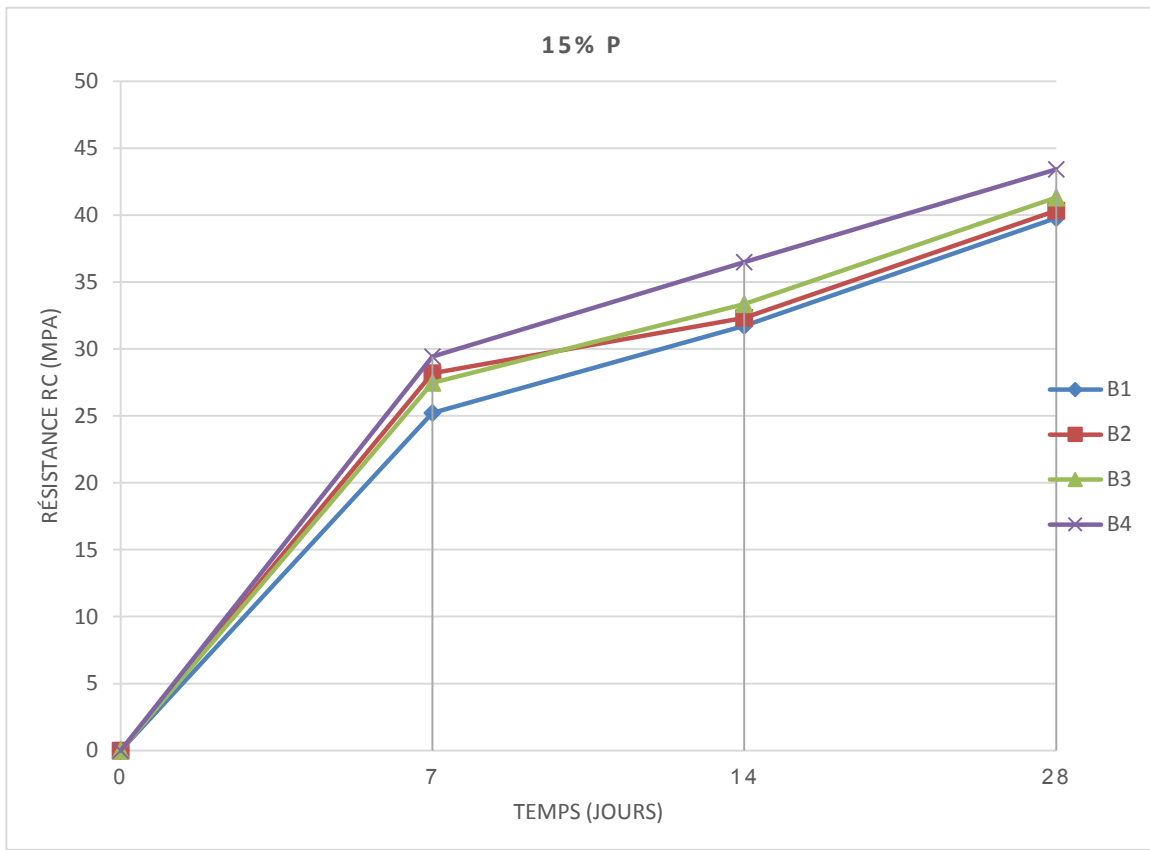


Figure IV.23. Résistance à la compression du béton en fonction du temps (10% polyester)



**Figure IV.24. Résistance à la compression du béton en fonction du temps avec 15 % polyester**

D'après la figure (IV.22, IV.23 et IV.24), la résistance à la compression dans le temps suit une loi parabolique, rapide dans l'intervalle (0 ; 7 jours) et lente dans l'intervalle (7 ; 28 j) pour tous dosages en polystyrène,

## ➤ Effet du Masse volumique:

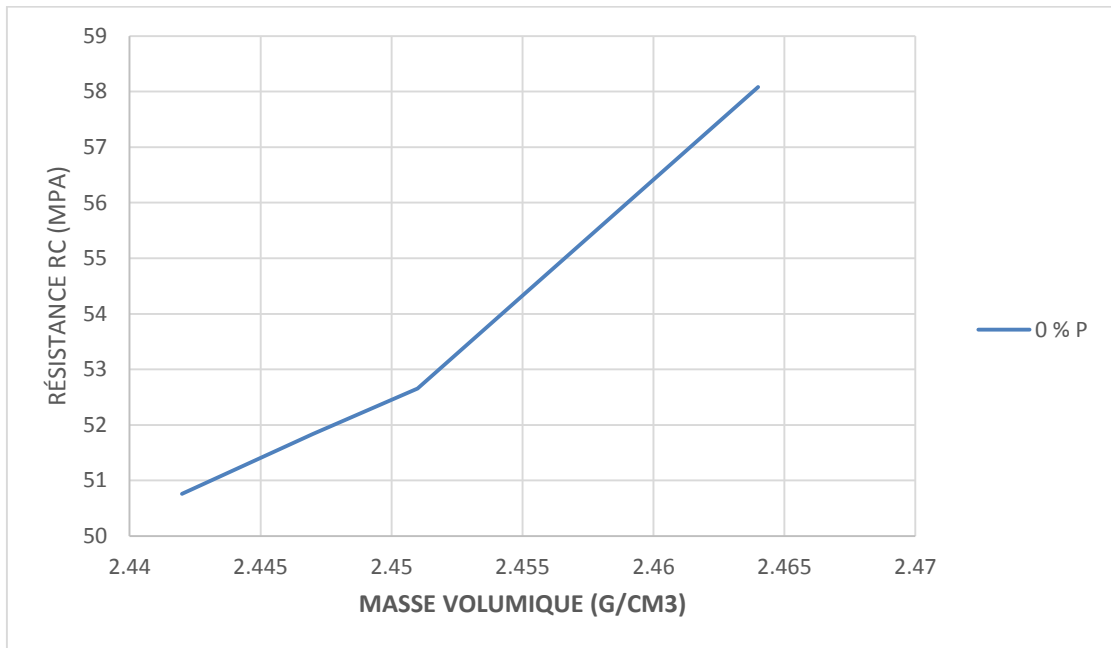


Figure IV.25. Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique sans polyester

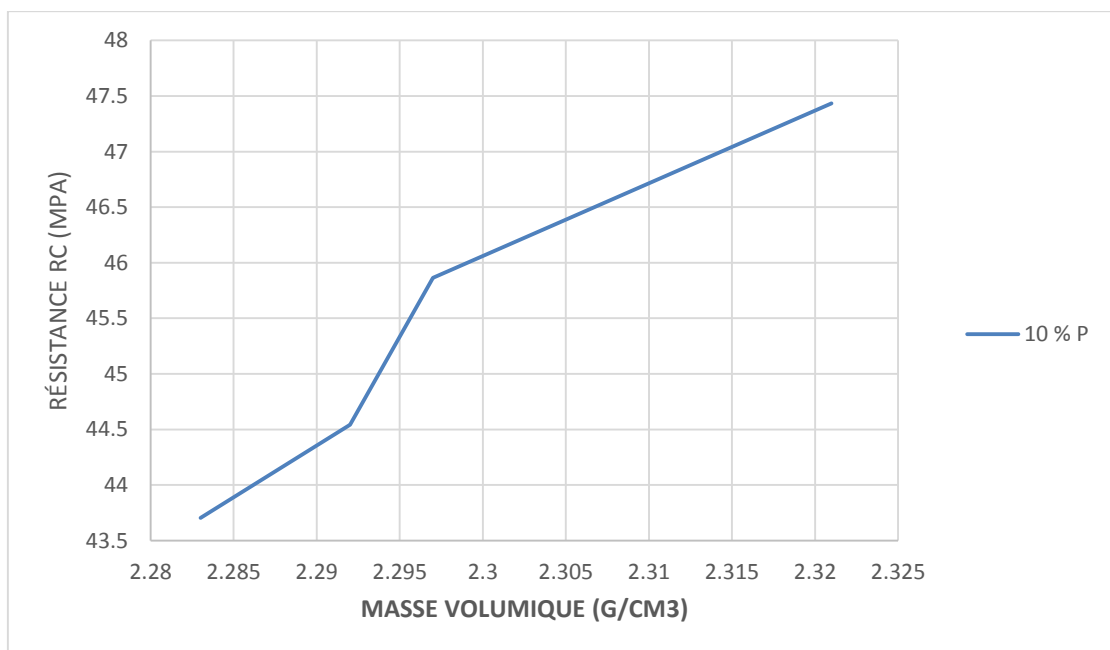
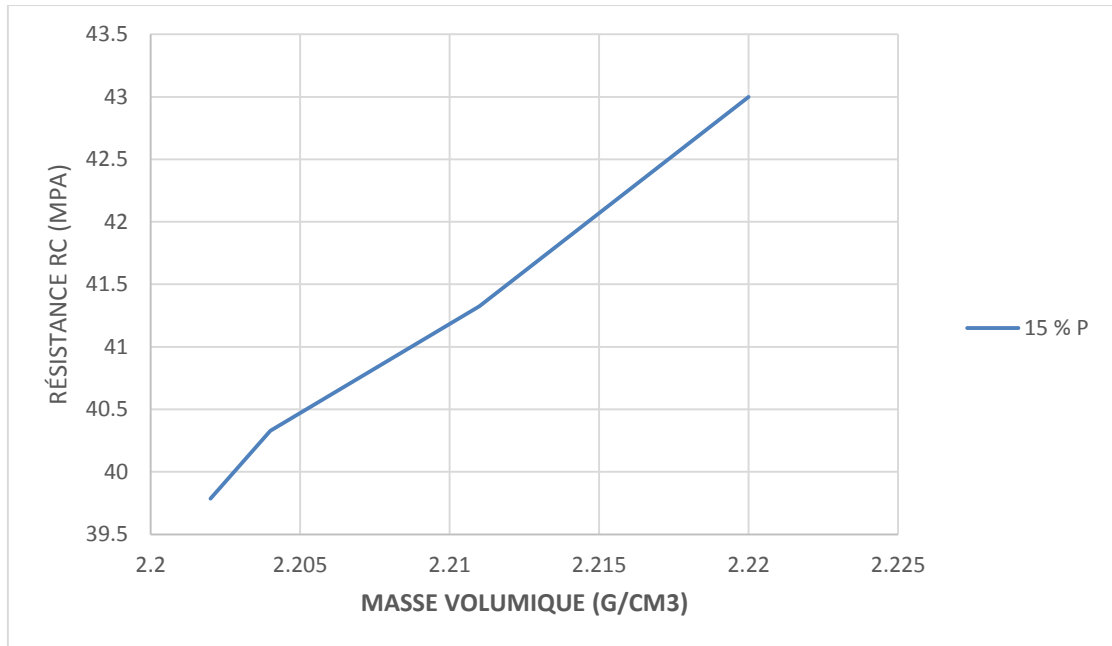


Figure IV.26. Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique avec 10 % polyester



**Figure IV.27. Résistance à la compression du béton en fonction du Masse volumique avec 15 % polyester**

D après les figures (IV.25 ,IV.26 et IV.27),on constate que la hausse de la masse volumique est engendrée par une augmentation de la résistance à la compression du micro béton.Ce résultat peut être expliqué par l'effet de l'augmentation du Sable concassé dans la matrice du béton ,qui donne une pate très compacté .

**Conclusion:**

L'utilisation du polyester à permet une réduction de la masse volumique de plus de 10% mais en note une réduction de la résistance alors l'utilisation de 2% de MEDAFLOW 30 à permet l'amélioration de cette dernière et le traitement du sable de dune par sable concassé à permet aussi de réduire la porosité qui influe négativement sur la résistance mécanique .

# **Chapitre V:**

**Conclusion générale et perspective**

## Chapitre V: Conclusion générale et perspective

Ce travail expérimental est une contribution à l'amélioration des propriétés des micro bétons par substitution partielle du sable de dune par le sable concassé et ajout de polyester et d'adjuvant.

Dans notre étude nous avons utilisé trois compositions différentes :

- ✓ sable concassé (40%, 50% et 60%).
- ✓ polyester (10 % et 15 %).
- ✓ adjuvant MEDAFLOW30 (2%).

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

- L'ajout du 50% sable concassé a amélioré le squelette du béton et a normalisé le sable mixte et a permis d'atteindre des résistances supérieures à (50 MPa en compression).
- La résistance à la compression au jeune âge des bétons est réduite par l'incorporation de 15% polyester de 22.72 %, . Ceci peut être attribué à des vides créés.
- L'ajout du 15% de polyester a permis de réduire la masse volumique de plus de 10%.
- 2 % d'adjuvant a permis de réduire l'eau de gâchage de plus de 23%.

**📌 Recommandations et perspectives :**

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

- ✓ Un sable mixte composé de 50% de sable de dune et 50% de sable concassé.
- ✓ Un dosage de polyester ne dépassant pas 10%.
- ✓ Un dosage de 2% d'adjuvant de MEDAFLOW30.

**📌 Future travaux**

Pour compléter ce travail, on essayant de réaliser un béton plus performant en prenant en compte :

- ❖ Un sable mixte de composition (45%, 50%, 55 %).
- ❖ Utiliser 1.5% du super plastifiant(MEDAFLOW30) et utiliser un autre type d'adjuvant.
- ❖ Utiliser 5% du polyester au béton.

# **Annexes**

# Béton Courant

- ✓ Micro béton tous usages
- ✓ Prêt à l'emploi



→ **Béton Courant** est composé de ciment gris, granulats 0/8 et adjuvants spécifiques.

**Domaines d'utilisation** : travaux de bétonnage courants , maçonnerie, réparations...

#### Avantages :

- ✓ Prêt à l'emploi
- ✓ Facile à doser et à stocker, facile à transporter, pas de pertes
- ✓ Hautes performances,  $R_c > 35 \text{ MPa}$
- ✓ Possibilités d'ajout de fibres métalliques, retardateur, pigment, Colloïde...

#### Consommation, fabrication

Un sac de 30 kg mélangé à 3,9 à 4,1 litres d'eau (ajuster l'eau suivant consistance voulue) donne environ 13 litres de micro béton. Gâcher à la bétonnière ou au malaxeur mécanique pendant 2 à 4 minutes pour obtenir un produit homogène. Le support doit être propre, dépoussiéré, humidifié.

#### Caractéristiques mécaniques\*

Résistances	24 heures	7 jours	28 jours
Compression	> 5 MPa	> 25 MPa	> 35 MPa

\*Valeurs moyennes à 20°C données à titre indicatif.

#### Précautions d'emploi

Le temps d'utilisation du Béton Courant est de 60 minutes environ suivant la température du lieu d'utilisation.

Nettoyer les outils à l'eau

Température d'emploi de +5°C à + 35°C (mettre un produit de cure par forte chaleur et vent)

#### Conditionnement

Sac de 30 kg sur palette filmée de 40 sacs soit 1,200 tonne ou en big-bag (sur commande)

RSI – za Ecoparc – allée des Mersliers 27400 Heudebouville

T : 33 (0) 2 32 50 30 10 – F : 33 (0) 2 32 59 40 01

E-mail : [contact@rsi-tp.com](mailto:contact@rsi-tp.com) site : [www.rsi-tp.com](http://www.rsi-tp.com)



Annexe (B)

ALGÉRIE



متين  
Matine



**La Solution pour vos grands projets !**

CPJ - CEM IVB 42.5 N

*Matine* Ciment gris pour bétons de haute performance. Destiné à la construction des Ouvrages d'Art (ponts, viaducs, tunnels...)

*Matine*  
CPJ - CEM II/B 42.5 N.

*Matine* est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA 442) et Européenne (EN CE 197-1)

**AVANTAGES PRODUIT**



- Une résistance initiale élevée pour réaliser des préfabriques lourdes (poutres, voûtes, ...)
- Favorise la maniabilité du béton et le maintien de sa rhéologie
- Une Classe vraie qui offre une haute performance au béton,
- Meilleure durabilité du béton.

**MATINE**  
Ciment pour béton exigeant  
CEM II/B 42,5 N NA 442



**FICHE TECHNIQUE**  
Réf : DC/FT MT. v03

**Analyses et caractérisation**

**Analyses chimiques**

Perte au feu (%), (NA 5042):	7,50 – 12,00
Résidus insolubles (%), (NA 5042):	0,7 – 2,00
Teneur en sulfates SO <sub>3</sub> (%), (NA 5042):	2,00 – 2,70
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%):	1,00 – 2,20
Teneur en chlorures (%), (NA 5042):	0,01 – 0,05
Teneur équivalent en alcalis (%):	0,3 – 0,75

**Composition hypothétique du clinker (Bogue)**

Silicates tricalciques C <sub>3</sub> S (%):	58 - 64
Silicates bicalciques C <sub>2</sub> S (%):	12 - 18
Aluminates tricalciques C <sub>3</sub> A (%):	6,00 – 8,00
Aluminoferrites tetracalciques C <sub>4</sub> AF (%):	10,00 – 12,00

**Propriétés physiques**

Consistance normale de la pâte de ciment (%):	25 – 28,50
Finesse suivant la méthode de Blaine (NA 231):	4150 – 5250
Retrait à 28 jours en µm/m:	<1 000
Expansion en mm:	0,3 – 2,5

**Temps de prise à 20°C (NA 230)**

Début de prise (min):	140 - 195
Fin de prise (min):	195 - 290

**Résistance à la compression (NA 234)**

02 jours (MPa):	≥ 10,0
28 jours (MPa):	≥ 42,5

Algerian Cement Company (SPA)

Hamman - Djalas, Nisla (AGC)  
Tél.: +213 35 50 78 20  
Fax: +213 35 50 70 30

Direction générale

33, Rue des Pins, Hydra, Alger  
Tél.: +213 (0) 21 43 16 66  
Fax: +213 (0) 21 46 10 71

Ciment Blanc Algérien (SBA)

Usine Djgac (CEA)  
BP 67, 20360, Mascara  
Tél. / Fax: +213 (0) 40 04 86 60



## APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction d'ouvrage d'art (ponts, viaducs tunnels...)
- Préfabrication lourdes
- Béton à haute performance
- Applications techniques



## FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment 	Sable (sec) 	Gravillons (sec) 	Eau (litres) 	
Dosage pour béton	X 1 	X 7 	X 5 	X 4 	25 L

## CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

### Analyses chimiques

	Norme
Perte au feu (%) (NA5042)	10,0±2
Teneur en sulfates (SO3) (%)	2,5±0,5
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1,7±0,5
Teneur en Chlorures (NA5042) (%)	0,02-0,05

### Temps de prise à 20° (NA 230)

	Norme
Début de prise (min)	160±30
Fin de prise (min)	230±50

### Composition minéralogique du Clinker (Bogue)

	Norme
C3S (%)	60±3
C3A (%)	7,5±1

### Résistance à la compression

	Norme
2 jours (MPa)	≥ 10,0
28 jours (MPa)	≥ 42,5

### Propriétés physiques

	Norme
Consistance Normale (%)	26,5±2,0
Finessesuivant la méthode de Blaine (cm <sup>2</sup> /g) (NA231)	≥ 700 - ≤ 200
Retrait à 28 days (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.



### LAFRIGE ALGÈRE

Centre commercial Bab Ezzouar, Tours n°02,  
Etages 05 & 06, Bab Ezzouar Alger, Algérie  
Tél: +213 (0) 21 98 54 54  
Fax: +213 (0) 23 92 42 54  
[www.lafargealgerie.com](http://www.lafargealgerie.com)



# 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'Éther 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

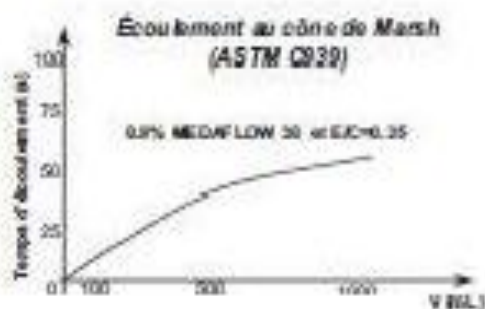
- Bétons à hautes performances
- Bétons auto-plaçant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

## 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 dur :

- 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 .....  $1,07 \pm 0,01$
- 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. Nous recommandons de procéder à des essais de convenance pour déterminer le meilleur mode d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.



Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tel : (213) 021 51 66 81 & 82

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

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



## MEDAFLOW 30

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

### Délai de conservation :

Une année dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°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'Éther (PCE), exposés aux UV, changent dans la couleur mais sans aucun incident sur les propriétés et les effets de l'adjuvant.

*Les renseignements fournis dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Nous recommandons de procéder à des essais de conservation pour déterminer le meilleur mode d'utilisation en tenant compte des conditions réelles de chantier.*



Granitex

Zone Industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger

Tel : (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)

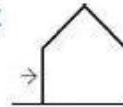


sto



FICHE TECHNIQUE

28 Janv 2013



## Sto-Panneau Polystyrène PS 15 SE

(Panneaux d'isolation en polystyrène expansé)

### Description du produit

Panneaux de polystyrène expansé pour l'isolation par l'extérieur. Les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE sont conformes à la norme EN 13-163.

Les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE sont coupés en angles droits, avec des chants droits pour le système collé et des chants fraisés et rainurés pour le système mécanique.

Les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE présentent un coefficient de conductivité thermique (Lambda) de 0,038 W/(m\*K) selon l'origine du lieu de fabrication. Se reporter au Certificat.

### Remarque

Pour les soubassements et parties enterrées, il est conseillé d'utiliser les Sto-Panneaux Polystyrène PS 30.

### Caractéristiques

Imputrescible.

Forte stabilité conforme à la certification Acermi.

Résistant aux intempéries.

Sensible aux U.V.

Non résistant aux produits solvantés.

### Résistance à la compression

En dehors de la pression exercée par le vent, les systèmes d'Isolation Thermique par l'Extérieur ne sont pas soumis à des pressions constantes. Une résistance à l'usure mécanique est cependant nécessaire ; cette propriété est apportée par l'ensemble des composants du système (armature, enduit). Avec les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE sont obtenus de très bons résultats. L'utilisation de Sto-Fibre de Blindage apporte encore une meilleure résistance aux chocs et aux poinçonnements.

### Domaine d'utilisation

Les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE sont utilisés dans le cadre des systèmes d'Isolation Thermique par l'Extérieur StoTherm Classic 1 et 3 StoTherm Vario 1 StoTherm Vario S35 StoTherm Classic 6 (MOB) StoTherm Céramique selon les types de mise en œuvre souhaité (collé, mécanique par rails ou calé chevillé)

Les panneaux isolants sont fixés par collage ou mécaniquement sur des supports neufs ou

anciens, mais dans tous les cas propres, secs et porteurs.

Les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE sont certifiés Acermi pour l'utilisation dans le cadre des systèmes d'Isolation Thermique par l'Extérieur.

### Limite d'utilisation

Pour toute utilisation des Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 SE autre que celles énoncées ci-dessus, nous consulter au préalable.

### Conditions de mise en œuvre

#### Système collé

Coller les Sto-Panneaux Polystyrène PS 15 en appareillage de bas en haut, en parfaite planéité et à joints plats serrés avec le mortier colle adapté selon le système retenu. Le collage s'effectue soit par plots sur le panneau isolant (dans le cas d'irrégularités jusqu'à 1 cm dans le support), soit par encollage à l'aide d'une taloche crantée 15 x 15 sur toute la surface du panneau isolant dans le cas où le support est parfaitement plan.

**ATTENTION** : veiller à ce qu'aucun résidu de colle ne se trouve entre les joints des panneaux. Le remplissage des vides éventuels entre les panneaux se fera à l'aide de

Dans un souci d'amélioration constante de nos produits, nous nous réservons la possibilité de modifier nos fiches techniques. Nous vous conseillons vivement de vérifier que vous disposez bien de la dernière version à jour sur le site : [www.sto.fr](http://www.sto.fr)

**Tab. N° 1 : Données techniques**

Densité	15 kg/m <sup>3</sup>
Comportement au feu	E
Résistance à l'arrachement	> 100 kN/m <sup>2</sup>
Résistance au cisaillement	90 - 120 kN/m <sup>2</sup>
Résistance au pliage	160 - 210 kN/m <sup>2</sup>
Résistance à la traction	150 - 230 kN/m <sup>2</sup>
Résistance à la compression	> 70 - 120 kN/m <sup>2</sup>
Résistance à long terme à la compression	12 - 25 kN/m <sup>2</sup>
Coefficient d'élasticité	3800 - 4200 kN/m <sup>2</sup>
Coefficient de dilatation	5 - 7 10 <sup>-5</sup>
Résistance à la chaleur :	
A long terme à 20000 N/m <sup>2</sup> A long terme à 5000 N/m <sup>2</sup> En courte	75 - 80°C 80 - 85 °C 100 °C
Conductivité de chaleur à 10°C	0,038 W/m.K
Capacité calorifique spécifique	1500 J. kg. K
Coefficient de diffusion de la vapeur d'eau	20 - 50
Coefficient d'absorption d'eau * après 7 jours d'immersion * après 1 an d'immersion	3 % (en volume) 5 % (en volume)

Dans un souci d'amélioration constante de nos produits, nous nous réservons la possibilité de modifier nos fiches techniques.  
Nous vous conseillons vivement de vérifier que vous disposez bien de la dernière version à jour sur le site : [www.sto.fr](http://www.sto.fr)



# **Références bibliographiques**

## Références bibliographiques:

- [1] **Georges AUSSEDAT**, Yannick DESCANTES, Jeanne-Sylvine GUEDON - Référence C902 10 août 2007 | Pierre DUPONT,)
- [2] **KETTAB.R** «valorisation du sable de dune », thèse de doctorat ENP 2007
- [3] aide au choix des granulats pour chaussées basée sur les normes européennes -N °24 .AVRIL 2013.
- [4] **BARAKAT .A**, Cours matériaux de carrière et de construction .
- [5] **GHOMARI Fouad**, science des matériaux de construction. préparé par melle lechgueur. universite abou bekr belkaid
- [6] **FICHES TECHNIQUES** Les constituants des bétons et des mortiers .CIM)béton centre d information sur le ciment et ses applications.
- [7]. Bétons et mortiers-préparation et mise en œuvre sur chantier
- [8]. <http://www.wienerberger.be/fr/fa%C3%A7ade/prescriptions-de-pose/mortiers/types-de-mortiers-de-ma%C3%A7onnerie>
- [09]. **CHAUVIN J.J.** (1987), Les sables, guide pratique d'utilisation routière, I.S.T.E.D, Paris, France, P.74
- [10] **AHMED OUGHBA MOHAMED ABDERRAHMANE NAFE** « Etude des caractéristiques mécaniques du béton de sable de dunes sous l'effet d'adjuvant » mémoire master académique .soutenu publiquement Le 22 juin 2013 ;devant les jury université KASDI MERBAH OUARGLA .
- [11] - **AZZOUZ Hocine**. Etude des bétons à base des sables de dune . mémoire de magister. Spécialité : Génie civil -Option : Matériaux Soutenu le : 03/05/2009, DEVANT LE JURY
- [12] Source: Revue d'Archéométrie, Volume 28, (2004), p.127-139
- [13] **CIM Béton**, Les bétons de sable en structure de chaussées , centre d information sur le ciment et ses application, Paris, France, 1995.
- [14] **DREUX G, FESTA J**, (2002), Nouveau guide du béton et de ses constituants , Huitième édition, Edition eyrolles.
- [15] cours MDC. Licence université de m'sila
- [16] Société SIKA France .
- [17] **KETTAB RATIBA** «Contribution à la valorisation du sable de dunes », Mémoire de Magister, ECOLE NATIONALE POLYTECHNIQUE

[18] La norme européenne EN 934-2 Adjuvants pour béton, mortier et coulis - Adjuvants pour béton - Partie 2.

[19] **AHMED OUGHBA MOHAMED ABDERRAHMANE NAFE** Etude des caractéristiques mécaniques du béton de sable de dunes sous l'effet d'adjuvant mémoire »  
master académique soutenu publiquement Le 22 juin 2013 ;devant les jury université KASDI  
MERBAH OUARGLA .

[20] **R. CHAID, R. JAUBERTHIE et A. BOUKHALED.** Effet de l'ajout calcaire sur la durabilité des bétons. Libanaise Science Journal, Vol. 11, No. 1, 2010

[21] **BARON. J et OLLIVIER.J** : « Les bétons : bases et données pour leur formulation »  
Edition Eyrolles. 1999

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

[23] **Collection CIM béton .Fiches techniques. Tome 1** : 71 pages. Réf. G10. Editeur Cimbéton. Septembre 2005.

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

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

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

[27] **ADAMM.N** : « Propriétés des bétons. »Edition Eyrolles. 2000

[28] **VENANT.M** : « Ciment et bétons. » 2ème édition. 1973

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

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

[31] **EN-12390-3** : résistance à la compression des éprouvettes.

[32] Norme française Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables NF P18-555 décembre 1990.

[33] **DREUX G.** « Composition des bétons. », Réf. C2220. 10/05/1982.

[34] Belagraa,L, cour matériaux de construction , Département de G-C M'sila [2014]

## Résumé:

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

L'objectif de notre travail consiste à améliorer la granulométrie du sable de dune par ajouts de sable concassé, réduire le poids du béton par ajout de polyester et améliorer la fluidité et la résistance mécanique du béton durci par l'incorporation d'adjuvant.

Les résultats tirés de ce travail de recherche confirment que le taux de 50% de sable concassé améliore la compacité des bétons et augmente leurs résistances, le taux de 2 % de super plastifiant donne une meilleur résistance au béton et l'ajout de 10% de polyester permet de diminuer la masse volumique du béton sans grande influence sur ses propriétés mécaniques.

**Mots clés :** sable concassé, polyester, Adjuvant, fluidité, résistance mécanique.

## ملخص:

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

الهدف من عملنا يركز على تحسين قياس نسبة حبيبات رمل الكثبان وذلك بإضافة رمل المقلع، إنقاص وزن الملاط بإضافة البوليستر و تحسين سائلية ومقاومة الملاط الميكانيكية بإضافة مادة مساعدة. نتائج هذا البحث تؤكد أن نسبة 50% من رمل المقلع يحسن التراص في تكوين الملاط ويزيد من مقاومتها، 2% من المادة المساعدة تمنح أفضل مقاومة للملاط و إضافة 10% من البوليستر تسمح بتقليل كثافة الملاط دون التأثير على خصائصه الميكانيكية.

**الكلمات المفتاحية:** رمل المقلع، البوليستر، مادة مساعدة، سائلية، القوة الميكانيكية.

## Abstract:

In the field of construction, current research was directed with the valorization of materials in general, and in particular materials local, in order to fight at the same time the blaze of the prices which knows the world and at the same time assured balance nature by the resolution of the problem of pollution which allows the survival of several species which constitute the links important for the balance of nature.

The objective of our work consists to improve granulometry of the sand of dune by crushed sand additions, to reduce the weight of the concrete by polyester addition and to improve fluidity and the mechanical resistance of the concrete hardened by the incorporation of additive.

The results drawn from this research task confirm that the rate of crushed sand 50% improves compactness of the concretes and increases their resistances, the rate of 2% of super plasticizer gives better a resistance and the addition of polyester 10% makes it possible to decrease the density of the concrete without much influence on its mechanical properties.

**Key words:** sand crushed, polyester, Adjuvant, fluidity, mechanical resistance.