

**REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE**  
**MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEURET DE LA RECHERCHE**  
**SCIENTIFIQUE**



**UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA**

**Faculté des Sciences appliquées**

**Département de Génie Civil et Hydraulique**

**Mémoire fin d'études**

**MASTER ACADEMIQUE**

**Domaine :** Science et technologie

**Filière :** Génie civil

**Spécialité :** Structures



**Présenté Par :**

- GUIDOUME Ratiba
- KERRI Djemaa

**Thème :**

**L'INFLUENCE DE LA METHODE DE FORMULATION DE  
BETON DE SABLE DE DUNES SUR LES  
CARACTERISTIQUES MECANQUES**

**Soutenu publiquement le : 15/06/2023**

**Devant le jury composé de :**

Dr. AKCHICHE Hamida	MCB (UKM Ouargla)	Présidente
Dr. MEKHERMECHE Abdessalam	MCA (UKM Ouargla)	Examineur
Dr. MEZIANI Nedjma	MAA (UKM Ouargla)	Promotrice
Dr. BELFERRAG Allaoua	MCA (UKM Ouargla)	Co-promoteur

**Année Universitaire : 2022/2023**

## REMERCIEMENTS

Nous tenons à exprimer nos sincères remerciements à :

- **Madame N. MEZIANI**
- **Monsieur A. BELFERRAG**

Respectivement promotrice et co-promoteur de ce travail, pour leur disponibilité à notre égard. Leur soutien inestimable, leur expertise et leur engagement ont joué un rôle déterminant dans la réussite de ce mémoire de fin d'étude. Leur accompagnement attentif et leurs conseils avisés ont été d'une importance capitale tout au long de notre parcours de recherche. Leur disponibilité, leur ouverture d'esprit et leur encouragement ont été une source d'inspiration et de motivation pour nous.

Nous tenons à remercier sincèrement Madame N. MEZIANI pour leur précieuse contribution, leur disponibilité et leur appui tout au long de ce projet de recherche.

Nos profonds remerciements pour les membres de jury qui ont accepté d'évaluer ce travail.

Nous tenons également à exprimer notre profonde reconnaissance envers toute l'équipe de laboratoire études et contrôles (LEC). Votre collaboration, votre expertise technique et votre contribution ont largement contribué à l'avancement de notre travail. Nous sommes reconnaissants pour votre soutien logistique, vos discussions enrichissantes et votre partage de connaissances. Votre implication et votre dévouement ont grandement contribué à la qualité de notre étude et à l'aboutissement de nos objectifs.

Nos remerciements vont également à tous ceux qui, de près ou de loin, ont contribué de manière significative à la réalisation de cette étude. Votre collaboration et votre soutien ont été essentiels et nous sommes très reconnaissants de votre implication.

Merci encore à tous pour votre précieuse contribution à notre réussite.

Avec toute notre gratitude,

**[R. GUIDOUME, D. KERRI]**

## DEDICACES

Je dédie ce travail :

- À ma famille bien-aimée.
- À tous ceux qui m'ont prodigué conseils.
- À tous ceux qui ont su sauvegarder l'amitié qui nous lie et qui nous liera toujours.

Merci du fond du cœur pour tout ce que vous avez fait pour moi. Que cette dédicace symbolise l'amour, la gratitude et la reconnaissance qui résident en moi à votre égard.

## RESUME

Ce travail se base sur l'étude de l'influence de la méthode de formulation de béton de sable de dunes sur ses caractéristiques mécaniques. Cette recherche vise à valoriser les matériaux locaux en cherchant une formulation optimale pour le béton de sable de dunes disponible dans la région de Ouargla.

Pour ce faire, plusieurs expériences sont menées pour examiner les caractéristiques mécaniques (compression, traction) du béton résultant de différentes méthodes de formulation. Les méthodes de formulation utilisées comprennent la méthode de mortier normalisé, la méthode de SABLOCRETE, la méthode de BARON-LESAGE, et la méthode de SCRAMTAEIV. Les dosages des différents constituants ont été déterminés pour chaque méthode et les éprouvettes ont été fabriquées selon un même mode opératoire. Plus de 100 éprouvettes prismatiques ont été confectionnées, comportant une correction granulométrique par l'ajout de différentes proportions de sable alluvionnaire : 0%, 50% et 60, sont ensuite testées à différents âges pour évaluer leur résistance mécanique.

Suite à nos expériences, nous avons opté pour deux compositions optimales qui offre une résistance mécanique appréciable et un bon aspect économique. La 1<sup>ère</sup> méthode, SABLOCRETE, permettant ainsi d'obtenir des résistances mécaniques élevées. La 2<sup>ème</sup> méthode, SCRAMTAEIV, a également démontré de bons résultats en termes de résistance, tout en offrant des économies sur les composants du béton.

**Mots clés :** béton de sable, méthode de formulation, méthode de mortier normalisé, méthode de SABLOCRETE, méthode de BARON-LESAGE, méthode de SCRAMTAEIV.

## ABSTRACT

The objective of this work is to study the influence of the formulation method of dune sand concrete on its mechanical characteristics. This research aims to valorize local materials by seeking an optimal formulation for dune sand concrete available in the Ouargla region.

In order to achieve this objective, several experiments were conducted to evaluate the mechanical properties (compressive strength, tensile strength) of the concrete resulting from different formulation methods used. We used the standardized mortar method, the SABLOCRETE method, the BARON-LESAGE method, and the SCRAMTAEIV method. For each method, the dosages of the different constituents were determined, and the test specimens were manufactured following the same procedure. From there, more than 100 prismatic specimens were elaborated, with a granulometric correction by the addition of different proportions of alluvial sand: 0%, 50%, and 60%, and then tested at different ages to evaluate their mechanical strength.

Following our experiments, we have selected two optimal compositions that offer significant mechanical strength and good cost-effectiveness. The first method, SABLOCRETE, which enables high mechanical strength. The second method, SCRAMTAEIV, has also demonstrated good results in terms of strength while providing cost savings on concrete components.

**Keywords:** sand concrete, formulation method, standardized mortar method, SABLOCRETE method, BARON-LESAGE method, SCRAMTAEIV method.

## الملخص

هدف هذه الدراسة هو دراسة تأثير طريقة صياغة خرسانة رمل الكثبان على خصائصها الميكانيكية. يهدف هذا البحث إلى تنمين المواد المحلية من خلال البحث عن صياغة مثالية لخرسانة رمل الكثبان المتوفر في منطقة ورقلة.

لتحقيق هذا الهدف، أُجريت عدة تجارب لتقييم الخصائص الميكانيكية (مقاومة الضغط، مقاومة الشد) للخرسانة الناتجة من مختلف طرق الصياغة المستخدمة. تم استخدام طريقة الملاط النظامي، طريقة سابلوكريت، طريقة بارون و ليساج وطريقة سكرامتايف. ولكل طريقة، تم تحديد نسب المكونات المختلفة وتم تصنيع العينات باستعمال معدات متماثلة وتحت نفس الشروط التجريبية. من هنا، تم تحضير أكثر من 100 عينة اختبار، تضمنت تصحيح حبيبي من خلال إضافة نسب مختلفة من رمل الوديان: 0٪، 50٪ و 60٪، تم اختبارها في أعمار مختلفة لتقييم مقاومتها الميكانيكية.

بعد سلسلة التجارب التي قمنا بها، تم باختيار تركيبتين مثليين يتميزان بمقاومة ميكانيكية ملحوظة وجوانب اقتصادية جيدة. الطريقة الأولى، سابلوكريت، تسمح بالحصول على مقاومة ميكانيكية عالية. أما الطريقة الثانية، سكرامتايف، فقد أظهرت نتائج جيدة أيضًا فيما يتعلق بالمقاومة، مع توفير اقتصاد في مكونات الخرسانة.

**الكلمات الرئيسية:** خرسانة الرمل، طريقة الصياغة، طريقة الملاط الموحدة، طريقة السابلوكريت، طريقة بارون و ليساج، طريقة سكرامتايف.

## LISTE DES FIGURES

Figure I.1: Colisée-Amphithéâtre Romain. _____	4
Figure I.2: Pont du Gard – Aqueduc Romain (France). _____	4
Figure I.3: Panthéon Romain (Italie). _____	4
Figure I.4: Maison de F. COIGNET à Saint Denis (France). _____	5
Figure I.5: Aqueduc de Vannes (France). _____	5
Figure I.6: Phare de Port-Saïd (Egypte). _____	5
Figure I.7: Pont de Brooklyn à New York (Etats-Unis). _____	5
Figure II.1: Granulométries des sables utilisés. _____	20
Figure II.2: Dispositif de rupture en compression. _____	31
Figure II.3: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points). _____	32
Figure III.1: Variation des masses volumiques apparente calculée des bétons de sable de dunes en fonction de type et de méthode de formulation de béton. _____	37
Figure III.2: Variation des masses volumiques apparentes calculée et frais des bétons de sable de dunes en fonction de type et de méthode de formulation de béton. _____	39
Figure III.3 : Variation des masses volumiques apparentes calculée et durci des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton et la méthode de formulation. _____	40
Figure III.4: Variation des masses volumiques apparentes à l'état frais et durci des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton et la méthode de formulation. _____	41
Figure III.5: Variation de vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (V) dans les bétons de sable en fonction de la méthode de formulation de béton. _____	42
Figure III.6 : Variation de la résistance à la compression ( $R_c$ ) en fonction de méthode de formulation aux différents âges. _____	44
Figure III.7: Variation de la résistance à la compression ( $R_c$ ) en fonction type de béton aux différents âges. _____	47
Figure III.8 : Variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de méthode de formulation. _____	49
Figure III.9: Variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton. _____	51

Figure III.10 : Variation de la résistance à la compression ( $R_{c28}$ ) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore ( $V$ ) en fonction de méthode de formulation. \_\_\_\_\_ 54

Figure III.11 : Variation de la résistance à la compression (MPa) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (m/s) en fonction de type de béton. \_\_\_\_\_ 56



## LISTE DES PHOTOS

Photo II.1: Echantillon de sable de dunes.	19
Photo II.2: Echantillon de sable alluvionnaire.	19
Photo II.3: Essai d'analyse granulométrique des sables.	19
Photo II.4: Essai d'équivalent de sable.	21
Photo II.5: Essai au bleu de méthylène.	22
Photo II.6: Photo prise durant l'essai de détermination de l'absorption d'eau.	23
Photo II.7: Photos prises durant l'essai de détermination du temps de prise du ciment.	24
Photo II.8: Essai de détermination de PH d'eau utilisé.	25
Photo II.9: Solution de nitrate d'argent.	25
Photo II.10: Solution de chromate de potassium.	25
Photo II.11: L'ajout de chromate de potassium.	26
Photo II.12: L'ajout de la solution de nitrate d'argent.	26
Photo II.13: Le changement de couleur d'eau du jaune au rouge.	26
Photo II.14: Dispositif de rupture en compression.	31
Photo II.15: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points).	32
Photo II.16: Moules prismatiques utilisés 40x40x160 cm <sup>3</sup> .	33
Photo II.17: Préparation des constituants des mélanges.	33
Photo II.18: L'ajout de sable et de ciment.	34
Photo II.19: La mise en place de béton.	34
Photo II.20: La conservation des éprouvettes avant le démoulage et le démoulage des éprouvettes.	34
Photo II.21: Essai de détermination de la résistance à la compression.	35
Photo II.22: Essai de traction par flexion.	35

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau I.1: Les différentes compositions du béton.	7
Tableau I.2 : Les résultats des essais mécaniques à 28j.	8
Tableau I.3: Les différentes compositions du béton.	8
Tableau I.4: Les résultats des essais mécaniques à 28j.	9
Tableau I.5 : Valeurs des coefficients A et A'.	15
Tableau I.6 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.	16
Tableau I.7: Valeur de coefficient $\alpha$ .	17
Tableau II.1: Diamètres maximales des sables utilisés.	20
Tableau II.2: Module de finesse des sables utilisés.	20
Tableau II.3: Masse volumique apparente et absolue des sables utilisés.	21
Tableau II.4: Résultats d'essai de l'équivalent de sable.	22
Tableau II.5: Résultats d'essai au bleu de méthylène.	22
Tableau II.6: Résultats de l'essai de consistance.	24
Tableau II.7: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé.	24
Tableau II.8: Dimension du plus gros granulats et la masse volumique absolue pour chaque type de béton.	27
Tableau II.9: Composition de 1m <sup>3</sup> selon la méthode de mortier normalisé.	27
Tableau II.10 : Formulation selon la méthode de SABLOCRETE.	28
Tableau II.11 : Formulation selon la méthode de BARON-LESAGE.	29
Tableau II.12 : Formulation selon la méthode de SCRAMTAIEV.	30

## SOMMAIRE

<b>REMERCIEMENTS</b>	
<b>DEDICACES</b>	
<b>RESUME</b>	<b>I</b>
<b>ABSTRACT</b>	<b>II</b>
<b>الملخص</b>	<b>III</b>
<b>LISTE DES FIGURES</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES PHOTOS</b>	<b>IV</b>
<b>LISTE DES TABLEAUX</b>	<b>VII</b>
<b>SOMMAIRE</b>	<b>VIII</b>
<b>INTRODUCTION GENERALE</b>	<b>1</b>
<b>Chapitre I : Etude bibliographique</b>	<b>4</b>
<b>I.1. Introduction</b>	<b>4</b>
<b>I.2. Historique du béton de sable</b>	<b>4</b>
<b>I.3. Définition</b>	<b>6</b>
<b>I.4. Compositions du béton de sable</b>	<b>6</b>
<b>I.4.1. Les ciments</b>	<b>6</b>
<b>I.4.2. Les sables</b>	<b>6</b>
<b>I.4.3. L'eau</b>	<b>7</b>
<b>I.4.4. Les additions – fines d'ajout</b>	<b>7</b>
<b>I.4.5. Les adjuvants</b>	<b>7</b>
<b>I.4.6. Autres ajouts</b>	<b>7</b>
<b>I.5. Recherche bibliographique menée sur le sujet du béton à base de sable de dunes</b>	<b>7</b>
<b>I.6. Méthodes de formulation du béton de sable</b>	<b>9</b>
<b>I.6.1. Méthode de mortier normalisé</b>	<b>10</b>

<b>I.6.2. Méthode de SABLOCRETE</b>	<b>10</b>
<b>I.6.3. Méthode de BARON-LESAGE</b>	<b>13</b>
<b>I.6.4. Méthode de SCRAMTAIEV</b>	<b>14</b>
<b>I.7. Conclusion</b>	<b>17</b>
<b>Chapitre II : Matériaux et méthodes</b>	<b>19</b>
<b>II.1. Introduction</b>	<b>19</b>
<b>II.2. Matériaux utilisés</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1. Le sable</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1.1. Analyse granulométrique</b>	<b>19</b>
<b>II.2.1.2. Module de finesse (MF)</b>	<b>20</b>
<b>II.2.1.3. Masse volumique absolue et apparente</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1.4. Equivalent de sable</b>	<b>21</b>
<b>II.2.1.5. Essai au bleu de méthylène</b>	<b>22</b>
<b>II.2.1.6. Coefficient d'absorption d'eau</b>	<b>23</b>
<b>II.2.2. Le ciment</b>	<b>23</b>
<b>II.2.2.2 Temps de prise</b>	<b>23</b>
<b>II.2.3. L'eau de gâchage</b>	<b>24</b>
<b>II.2.3.1. Détermination de PH d'eau</b>	<b>24</b>
<b>II.2.3.2. Détermination de chlorure dans l'eau</b>	<b>25</b>
<b>II.3. Méthodes de formulation de béton de sable</b>	<b>26</b>
<b>II.3.1. Formulation selon la méthode de mortier normalisé</b>	<b>27</b>
<b>II.3.2. Formulation selon la méthode de SABLOCRETE</b>	<b>27</b>
<b>II.3.3. Formulation selon la méthode de BARON-LESAGE</b>	<b>28</b>
<b>II.3.4. Formulation selon la méthode de SCRAMTAIEV</b>	<b>29</b>
<b>II.4. Essais de caractérisations</b>	<b>30</b>
<b>II.4.1. Masse volumique apparente MV</b>	<b>30</b>
<b>II.4.2. Essai de compression</b>	<b>30</b>
<b>II.4.3. Essai de traction par flexion</b>	<b>31</b>
<b>II.4.4. Essai non destructif – essai aux ultrasons</b>	<b>32</b>

<b>II.5. Confection des éprouvettes et conditions de conservation</b>	<b>33</b>
<b>II.6. Conclusion</b>	<b>35</b>
<b>Chapitre III : Résultats et discussion</b>	<b>37</b>
<b>III.1. Introduction</b>	<b>37</b>
<b>III.2. Résultats de la masse volumique apparente (MV)</b>	<b>37</b>
<b>III.3. Résultats de la vitesse de propagation des ondes ultra-sonore dans les bétons de sable formulés</b>	<b>42</b>
<b>III.4. Résultats de la résistance à la compression</b>	<b>43</b>
<b>III.5. Résultats de la résistance à la traction</b>	<b>48</b>
<b>III.6. La relation entre la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (V) et la résistance à la compression (Rc28)</b>	<b>53</b>
<b>III.7. Conclusion</b>	<b>57</b>
<b>CONCLUSION GENERALE</b>	<b>59</b>
<b>RECOMMANDATIONS</b>	<b>60</b>
<b>REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES</b>	<b>62</b>
<b>ANNEXES</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXE 01</b>	<b>66</b>
<b>ANNEXE 02</b>	<b>68</b>

---

# *Introduction générale*

---

## INTRODUCTION GENERALE

Depuis les années soixante-dix, le problème de déficit en logements en Algérie n'a pas cessé de s'amplifier et de gagner toutes les régions du territoire. Il a atteint aujourd'hui un seuil critique, à la limite de l'intolérable. Ceci est non seulement le fait d'une forte demande liée à une démographie galopante et à la nucléarisation de la famille algérienne mais aussi celui du faible taux de croissance en matière de construction. Le cout des matériaux devenant onéreux, les moyens mis en place pour la réalisation des projets se sont avérés insuffisants. Parallèlement, le béton tenait une place royale dans le rang des matériaux. Malgré son prix, Il a été utilisé à outrance et pratiquement dans tous les domaines de la construction. De cette constatation est née l'idée de l'emploi des matériaux locaux. [1]

Le béton de sable a commencé à retenir l'attention, il est constitué essentiellement de sable formant son squelette. Celui-ci disponible en quantité quasi-infinie en Algérie, sous réserve d'en étudier les possibilités de constituer un matériau de substitution pour les granulats de béton classique. Le processus de formulation d'un béton de sable consiste à choisir, puis à doser les constituants afin d'obtenir un matériau ayant des propriétés données.

En l'absence de normalisation régissant la formulation des bétons de sable et de méthodes standards et fiables de compositions adoptées par la communauté scientifique, qui est le principal problème posé pour son utilisation, Il n'existe pas de méthode propre de recherche de formulation comme c'est le cas par exemple pour le béton classique (Bolomey, Ferret, Valette ...). Les principaux auteurs ayant étudié ce matériau ont adopté des approches basées exclusivement sur le tâtonnement ou sur les approximations successives. Cette difficulté est liée, à la multitude des paramètres qui caractérisent les composants de ce béton et à la multitude des objectifs recherchés par les auteurs. [2]

Nous nous trouvons à Ouargla, en Algérie, entourés d'une abondance de sable dunaire. Dans cette étude, nous relevons le défi de contribuer à la recherche en étudiant l'influence de la méthode de formulation des bétons de sable sur leurs caractéristiques mécaniques. C'est pourquoi nous avons essayé d'exploiter la voie d'essayer des différentes méthodes

de formulation pour déterminer la composition optimale de béton de sable ; celui-ci devant posséder une bonne résistance mécanique.

Notre objectif est de trouver la formulation du béton de sable de dunes qui rivalisera avec les bétons classiques utilisés dans les structures. Nous avons une vision audacieuse de transformer le paysage de la construction en proposant une solution durable, économique et parfaitement adaptée à notre contexte régional.

Notre démarche adoptée pour faire face à cette problématique passe par la phase d'identification des constituants puis par la mise en place des méthodes de formulation des bétons de sable de dunes et se termine un choix d'une méthode.

Ce mémoire se compose de trois chapitres :

Le 1<sup>er</sup> chapitre intitulé « **Etude bibliographique** » est consacré à une vue d'ensemble des connaissances acquises sur les bétons de sable avec une attention portée aux différentes méthodes existantes de formulation des bétons de sable.

Le 2<sup>ème</sup> chapitre intitulé « **Matériaux et méthodes** » donne la carte d'identité de chaque constituant rentrant dans la formulation du béton de sable de dunes en plus de différentes formulations obtenues.

Le dernier chapitre intitulé « **Résultats et discussion** » présente :

- ↪ Les résultats des essais d'évaluation de la résistance mécaniques (compression et traction) à différents âges.
- ↪ Une comparaison entre les résultats obtenues des différentes méthodes de formulations.
- ↪ Proposition d'une formulation optimale pour le béton de sable de dunes disponible dans la région de Ouargla.



---

# *Chapitre I*

## *Etude bibliographique*

---

## Chapitre I : Etude bibliographique

### I.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous parlons en premier lieu de l'histoire des bétons de sable. Puis, nous exposons certaines généralités sur ce matériau avec une présentation succincte de l'ensemble des éventuels constituants. Enfin, nous traitons quelques-unes des différentes méthodes existantes de formulation des bétons de sable.

### I.2. Historique du béton de sable

Le matériau dénommé récemment béton de sable était connu bien avant le 19<sup>ème</sup> siècle. Il trouve ces origines depuis les ciments et bétons de Rome.

Il y a plus de deux milles ans, les romains utilisaient comme liant la chaux vive obtenue par le chauffage du calcaire. Ils employèrent cette chaux mélangée à du sable après avoir constaté que lorsque ce sable était d'origine volcanique, ils obtenaient un produit très résistant, durable et capable de faire prise avec l'eau. De grands monuments tels le « Panthéon » (Figure I.3), le « Colisée » (Figure I.1) et le « ponts du Gard » (Figure I.2) témoignent de la durabilité du premier matériau composite de l'histoire des techniques industrielles. [3]



Figure I.1: Colisée-Amphithéâtre Romain.



Figure I.2: Pont du Gard – Aqueduc Romain (France).



Figure I.3: Panthéon Romain (Italie).

Avec la fin de cette époque, le secret du matériau se perdit face au retour de la maçonnerie de pierres, découpées et assemblées, caractéristique de la construction au moyen âge et durant les siècles qui suivirent.

F. COIGNET qui est à l'origine de ce matériau construit pour sa famille en 1851 à Saint Denis (nord de Paris, France) une vaste maison du type R+2, avec mur de soutènement

(Figure I.4). Cet ouvrage fut entièrement édifié en béton aggloméré, des fondations jusqu'au toit.



Figure I.4: Maison de F. COIGNET à Saint Denis (France).

P. POITEVIN rapporte encore qu'entre 1869 et 1872 un aqueduc de 40 km (Figure I.5) fut partiellement construit en béton aggloméré afin de relier Fontainebleau à Orléans (France). Le mélange était constitué de 4 parts de sable de Fontainebleau, d'une part de liant (2/3 chaux, 1/3 ciment) et de 0,5 part d'eau (en poids), ce qui correspond approximativement à un dosage en liant de  $400 \text{ kg/m}^3$ , plus proche de celui des bétons de sable que des mortiers. Mis en service en 1869, le phare de Port-Saïd (Egypte) de 52 m de hauteur (Figure I.6) fut également construit en béton aggloméré composé de sable d'une plage avoisinante et de chaux importée de France.

F. COIGNET exporta sa technique jusqu'aux USA, où son entreprise construisit en 1871-1872 en blocs de béton aggloméré le pont de Brooklyn à New York (Figure I.7)

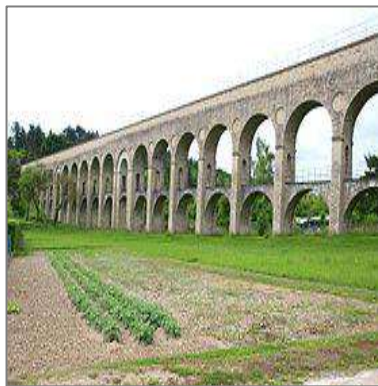


Figure I.5: Aqueduc de Vannes (France).



Figure I.6: Phare de Port-Saïd (Egypte).



Figure I.7: Pont de Brooklyn à New York (Etats-Unis).

Vers la fin du 19<sup>ème</sup> et au début du 20<sup>ème</sup> siècle, marquant la période de l'apparition du béton utilisant des granulats de gros calibres ainsi que l'utilisation de ciment à la place de la chaux qui a engendré une augmentation de résistance (allant jusqu'à 20MPa) furent

facilement obtenus. A compter de là, le béton aggloméré ancêtre du béton de sable a cédé la place au béton connu jusqu'à nos jours. La continuité dans le temps de ces ouvrages et qui sont en service jusqu'à nos jours est un témoignage des performances de ce matériau. [4]. Ces ouvrages constituent un véritable héritage du génie civil, démontrant la pertinence de son utilisation à travers le temps.

### **I.3. Définition**

Le béton de sable est un béton fin composé principalement de sable(s) (0-5mm), de ciment, d'addition(s) et d'eau. D'autres ajouts spécifiques (gravillons, fibres, colorants...) sont envisageables afin d'améliorer et de s'adapter aux besoins de certains usages. Le rapport massique Gravier/Sable soit inférieur à 0,7. [5]

Le béton de sable se distingue des mortiers par sa résistance plus élevée et sa destination similaire aux usages traditionnels du béton. En termes de composition, il se distingue d'un béton ordinaire par un fort dosage en sable (S) et l'absence ou le faible dosage en gravillons. Mais, en termes de résistance et de dosage en ciment, ils sont presque similaires.

Autrement dit, le béton de sable est un béton qui répond aux critères qui ont fait le succès du béton usuel, en termes de performances, de durabilité, d'image et de comportement. [2]

### **I.4. Compositions du béton de sable**

#### **I.4.1. Les ciments**

Le ciment peut être défini comme étant un matériau dont les propriétés de liaison et de cohésion permettant de lier, en un ensemble compact, des fragments de matériaux. Le choix du ciment en général dépend des résistances mécaniques désirées, des caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu et, d'une façon globale, de l'usage auquel le béton est destiné. [4]

#### **I.4.2. Les sables**

Aucun critère granulaire n'est exigible à priori exigible pour réaliser un béton de sable, on peut utiliser aussi bien un sable fin comme le sable de dune, qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier, ou de type (0/D) de concassage. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté, à ce titre, les sables de plage ou des dunes pourraient alors être utilisés. [5]

### I.4.3. L'eau

L'eau utilisé pour la confection du béton de sable doit être conforme à la norme NF P18-303. Comme le diamètre de granulats rentrant dans la constitution du béton de sable est inférieure ou égale à 5mm, il nécessite un volume de mouillage plus important, ce qui engendre une augmentation du rapport E/C supérieur à celui des bétons ordinaires. [4]

### I.4.4. Les additions – fines d'ajout

Par définition, le béton de sable contient une (ou plusieurs) addition (s). Il s'agit essentiellement de fillers - calcaires, siliceux, de laitier – de cendres volantes, mais aussi d'autres fines (argile calcinée, ultrafines ...) Les additions comblent en partie les vides du sable elles augmentent donc sa compacité naturelle et permettent ainsi d'augmenter les performances sans augmenter le dosage en ciment. [6]

### I.4.5. Les adjuvants

La formulation des bétons de sable implique, de manière similaire à celle des bétons traditionnels, l'utilisation des mêmes adjuvants, notamment les plastifiants et les superplastifiants, dans le but d'exploiter leurs caractéristiques spécifiques et d'optimiser les performances des mélanges. [4], [5].

### I.4.6. Autres ajouts

En plus des éléments cités, qui constituent les principaux éléments, d'autres ajouts (les fibres, les gravillons, les colorants) peuvent être employés afin d'apporter certaines qualités recherchées à un usage donné. [7]

## I.5. Recherche bibliographique menée sur le sujet du béton de sable de dunes [08]

Certains des résultats précédents ont été menés sur le sable de dunes :

- D'après l'étude de AYACHI en 2011, présente une étude de béton de sable de dune en ce qui concerne le mode de conservation. Les données sont présentées dans les tableaux suivants :

*Tableau I.1: Les différentes compositions du béton.*

Composition du béton	SD (kg)	SA (kg)	Ciment (kg)	E/C
100% SD (C1)	1382,6	/	460,87	0,6
30% SD+ 70%SA (C2)	416,6	927,05	462,88	0,58
40% SD+ 60%SA (C3)	555,46	833,19	462,88	0,58

Tableau I.2 : Les résultats des essais mécaniques à 28j.

Composition du béton	Traction			Compression		
	1 <sup>er</sup> mode	2 <sup>ème</sup> mode	3 <sup>ème</sup> mode	1 <sup>er</sup> mode	2 <sup>ème</sup> mode	3 <sup>ème</sup> mode
C1	2,51	4,4	3,5	10,51	18,7	14,06
C2	3,52	6,54	5,21	11,2	23,02	22,75
C3	3,77	6,72	6,58	11,73	30,06	23,37

D'après les résultats des propriétés mécaniques (compression et traction) du béton de sable obtenus pour l'ensemble des mixtures, la composition3 affiche une nette amélioration, par rapport à la première et la deuxième composition à 28 jours, est cela dans tous les modes, cependant il faut signaler aussi, que les échantillons conservés dans l'eau pendant une durée de 14 jours (2<sup>ème</sup> mode), ont donné les meilleurs résultats dans toutes les compositions suivi de ceux conservé dans l'eau pendant 28 jours (3<sup>ème</sup> mode). Delà on peut dire que les échantillons conservés dans un milieu humide (dans l'eau), ont affichés une amélioration de la résistance à la compression et à la traction par rapport à ceux conservé dans un milieu sec (air libre). Ceci est dû probablement Au phénomène de l'évaporation qui est limitée dans le climat humide, et que la procédure d'hydratation se poursuit sans interruption, contrairement au milieu sec où l'évaporation se fait d'une manière rapide, sans laisser le temps pour le durcissement. Aussi cette différence dans les résultats peut être due à la granulométrie des sables. Du fait que, plus le module de finesse est faible plus la résistance à la compression et à la traction diminue. Cette influence peut être expliquée par la présence des vides à l'intérieur de la matrice, influant d'une manière négative sur la résistance mécanique du béton de sable.

- En 2004 BENTATA présente une étude expérimentale d'un béton avec le sable de dune.

Tableau I.3: Les différentes compositions du béton.

Composition du béton	SD (Kg)	SA(Kg)	G (3/8) (Kg)	G (8/15) (Kg)	E (Kg)	C (Kg)	E/C
100% SA	/	690	289	832	210	400	0,52
75% SA + 25% SD	168	586	307				
50% SA + 50% SD	330	330	316				
75% SA + 25% SD	468	156	344				
100% SD	568	/	380				

Tableau I.4: Les résultats des essais mécaniques à 28j.

Composition du béton	Traction (MPa)		Compression (MPa)	
	Air	Eau	Air	Eau
100% SA	2,5	2,4	31	29
75% SA + 25% SD	2,2	2	24	23
50% SA + 50% SD	2,6	2,5	27	23
75% SA + 25% SD	2,4	2,4	24	22
100% SD	2,5	2,4	24	20

D'après les résultats menés en Tableau I.4 on peut observer les constatations suivantes :

- Le béton témoin toujours présente une meilleure résistance à la compression dans les différents âges d'essai.
- La cure et le milieu de conservation maintiennent la même variation pour les différents types des bétons, ce qui montre l'indépendance entre l'hydratation de ciment et la qualité du sable utilisé.
- L'augmentation de dosage en sable de dune dans la composition du béton, crée une diminution en résistance à la compression du béton.

#### **I.6. Méthodes de formulation du béton de sable [5], [9]**

Parmi les différentes approches de formulation du béton de sable, nous pouvons citer :

- L'approche de B. COURET, en 1982.
- L'approche de P. DELUDE, en 1984.
- L'approche de GUINEZ, GLUAIS et DELUDE, en 1984.
- La méthode de SABLOCRETE : une approche théorique de la formulation des bétons de sable.
- L'approche de CHANVILLARD et BASUYAUX en 1996.
- La méthode de mortier normalisé.

En plus de ces approches spécifiques au béton de sable, il existe d'autres méthodes de formulation de béton ordinaire qui peuvent être appliquées, telles que :

- La méthode de BARON LESAGE
- La méthode de SCRAMTAIEV

Dans la suite de notre étude, nous nous concentrerons sur les méthodes sélectionnées : la méthode de mortier normalisé, la méthode de SABLOCRETE, la méthode de BARON LESAGE et la méthode de SCRAMTAIEV.

### I.6.1. Méthode de mortier normalisé

Dans cette méthode le béton de sable est basé sur la composition d'un mortier normalisé : une part de ciment et trois parts de sable.

### I.6.2. Méthode de SABLOCRETE [5]

Dans la littérature française, il existe une méthode de formulation des bétons de sable. Elle a été utilisée dans le projet SABLOCRETE, Cette méthode présente deux approches de formulation :

- Une approche théorique basée sur l'optimisation de la compacité du squelette granulaire et qui constitue une base de formulation des bétons de sable.
- Une approche expérimentale basée sur la réalisation de gâchées successives.

#### I.5.2.1. Approche théorique de la formulation des bétons de sable

La méthode se base sur la formule de CAQUOT pour déterminer la compacité du squelette granulaire. Cette compacité correspond au complément à l'unité de la porosité. Au début du 20<sup>ème</sup> siècle, CAQUOT a développé une relation mathématique (I.1) capable d'estimer le volume de vides d'un mélange granulaire en fonction de son étendue granulaire d/D :

$$v = v_0 \left( \frac{d}{D} \right)^{\frac{1}{5}} \quad (\text{I.1})$$

Tel que :

- $v_0$  est une constante expérimentale égale à 0,5.
- D et d correspondent respectivement à la dimension de tamis retenant 10% et 90% du granulat.

Dans cette méthode, le dosage en fines du béton de sable, moyennant quelques hypothèses simplificatrices, correspond à la moitié de la porosité de l'étendue granulaire de sable.

$$[\text{fines}] = 0,38 \left( \frac{0,08}{D} \right)^{\frac{1}{5}} (\% \text{ Volumique}) \quad (\text{I.2})$$

Le dosage en ciment et en additions s'obtient par la résolution du système suivant :

$$\begin{cases} \text{Ciment} + \text{addition} = [\text{fines}] \\ \frac{\text{Addition}}{\text{Ciment}} = \text{Optimum d'activité} \end{cases}$$

A ce stade, l'ensemble squelette granulaire et fines présente une compacité optimale qui conduit à une porosité minimale. Cette dernière se décompose en la somme d'un volume d'eau (e) et d'un volume de vides piégés (v). La porosité minimale théorique du béton est



issue des travaux de CAQUOT sur la compacité. Elle est déterminée par l'équation suivante :

$$(e + v)_{\min} = 0,8 \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{5}} \quad (\text{I.3})$$

Avec :

- $d/D$  représente l'étendue granulaire de l'ensemble du squelette granulaire.

La valeur de  $(d)$ , borne inférieure de l'étendue granulaire, est difficile à estimer compte tenu des effets de floculation dans l'eau qui peuvent se produire à l'échelle des fines particules. Pour l'estimation de la valeur de  $(d)$ , on différencie deux cas :

- Mélange totalement défloculé à l'aide des agents défloculants.

Le diamètre  $(d)$  peut être défini comme la moyenne harmonique de la dimension des grains du constituant le plus fin assimilé à des sphères. On trouve ainsi la relation suivante :

$$d = \frac{60}{f \times \rho} \quad (\text{I.4})$$

Avec :

- $d$  : la borne inférieure de l'étendue granulaire (mm).
- $f$  : La surface spécifique Blaine ( $\text{cm}^2/\text{g}$ ).
- $\rho$  : La masse volumique des grains ( $\text{g}/\text{cm}^3$ ).

- Mélange non défloculé

Dans le cas d'un mélange non défloculé, il est difficile de donner une valeur précise à  $(d)$  car la dimension des floes relève de considérations physico-chimiques très complexes. Cette valeur est fixée entre 20 à 25  $\mu\text{m}$ .

L'estimation du dosage en eau passe par une évaluation préalable du volume d'air piégé. Un ordre de grandeur peut être obtenu par la formule suivante, qui conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5% :

$$[\text{vide}] = k \times [\text{eau}] \quad (\text{I/m}^3) \quad (\text{I.5})$$

Avec :

- $k$  compris entre 0,2 et 0,25.

Enfin, l'estimation du dosage en sable est obtenue en retranchant au mètre cube la somme des dosages des constituants déterminés préalablement.

$$[\text{sable}] = 1000 - [\text{fines}] - [\text{eau}] - [\text{vides}] \quad (\text{I/m}^3) \quad (\text{I.6})$$

### I.5.2.2. Approche expérimentale de la formulation des bétons de sable

La méthode expérimentale s'agit toujours de formuler un béton qui soit le plus compact possible. Le travail est à un dosage en ciment fixé, de manière à mieux répondre aux prescriptions normatives qui imposent bien souvent un dosage minimum. Cette méthode est itérative et basée sur la réalisation de gâchées légères.

#### ■ Formulation de base sans fines d'addition

Nous chercherons à déterminer une formule d'un mètre cube constituée de ciment, d'eau et de sable, ayant une maniabilité de 7 à 10 secondes au maniabilimètre LCL.

- Dosage en ciment (**C**) : Les prescriptions normatives imposent très souvent un dosage minimum en ciment par mètre cube de béton, en fonction des parties d'ouvrages ou bien de l'agressivité du milieu.
- Dosage en adjuvant : Il faut introduire dans cette formule un fluidifiant réducteur d'eau, au dosage normal préconisé par le fabricant (N% du poids des éléments inférieurs à 80 µm en extrait sec), qui permettra de défloculé les fines.
- Dosage en eau (**E**) : le dosage en eau est une valeur approximative, l'expérience des praticiens donne les valeurs suivantes :
  - 220 (l/m<sup>3</sup>) pour un dosage en ciment de 350 (kg/m<sup>3</sup>).
  - 250 (l/m<sup>3</sup>) pour un dosage en ciment de 400 (kg/m<sup>3</sup>).

On peut évaluer à partir de l'approche théorique de formulation, le dosage en eau en fonction de la porosité du squelette granulaire :

$$E = \frac{800}{1 + \alpha} \times \left(\frac{d}{D}\right)^{\frac{1}{5}} \quad (\text{I.7})$$

Avec :

- $\alpha$  compris entre 0,1 et 0,15
- d est la borne inférieure de la phase solide du béton (mm), peut être défini par l'équation (I.4) si le mélange est défloculé.
- D est la borne supérieure de l'étendue granulaire du sable (mm)

Si mélange n'est pas défloculé, alors il faut prendre pour (d) une estimation de la dimension des floccs, entre 0,020 et 0,025 mm.

- Détermination du teneur en air : Un béton contient toujours un volume d'air. Dans le cas des bétons de sable, la teneur en air est comprise entre 5 et 7%.

$$[\text{air}] = 1000 \times [5\% \text{ à } 7\%] \quad (\text{I.8})$$

- Détermination du dosage en sable (**S**) : Après avoir déterminé les quantités de ciment, de l'eau, de l'adjuvant et d'air, le volume du sable s'obtient en complétant la formule d'un mètre cube :

$$[\text{ciment}] + [\text{eau}] + [\text{adj}] + [\text{air}] + [\text{sable}] = 1000 \quad (\text{I.9})$$

$$V_{\text{Ciment}} + V_{\text{Eau}} + V_{\text{adjuvant}} + V_{\text{air}} + V_{\text{sable}} = 1000 \quad (\text{I.10})$$

Les volumes sont exprimés en litres. Ce qui donne :

$$M_{\text{sable}} = [1000 - (V_{\text{Ciment}} + V_{\text{Eau}} + V_{\text{adjuvant}} + V_{\text{air}})] \times MV_{\text{sable}} \quad (\text{I.11})$$

La somme des masses de chacun des constituants donne la masse volumique apparente théorique ( $MV_{\text{calculée}}$ ) de la formule en supposant que le volume total occupé par ces constituants, y compris le volume d'air, soit égal à  $1\text{m}^3$ .

### I.6.3. Méthode de BARON-LESAGE [10], [11]

Cette méthode semble la mieux adaptée à la formulation des bétons de sable puisqu'elle se base sur la maniabilité, propriété influencée par la présence de sable de dunes. Pour appliquer cette méthode, il faut connaître le dosage en granulats de sorte que le squelette minéral soit optimal. Par conséquent d'après BARON-LESAGE deux hypothèses doivent être respectées : la 1<sup>ère</sup>, au départ le dosage en eau et en ciment fixé, le béton le plus maniable est aussi le plus compact et son squelette est optimal, la 2<sup>ème</sup>, le dosage optimal en granulats ne dépend pas des teneurs en eau et en ciment. Pour la composition optimale d'un béton, plusieurs paramètres peuvent être étudiés : le dosage en ciment, le dosage en eau ou le dosage en granulats (s/g= sable/gravier).

■ Etapes de calcul : Les étapes à suivre pour la composition optimale d'après la méthode de BARON-LESAGE sont :

- Choix du dosage en ciment

Le dosage en ciment dépend essentiellement des dimensions maximales des granulats ( $D_{\text{max}}$ ), ainsi que la nature de l'ouvrage. L'étude expérimentale de l'influence de  $D_{\text{max}}$  sur le dosage en ciment (C) par J. BARON et R. LESAGE conduit à l'équation empirique suivante :

$$C_{\text{opt}} = \frac{(730 \pm 50)}{D_{\text{max}}^{\frac{1}{5}}} \quad (\text{I.12})$$

- $C_{\text{opt}}$  : dosage optimal en ciment exprimé en  $(\text{kg}/\text{m}^3)$ .

- $D_{\max}$  : dimension du plus gros granulat en (mm).

$$c = \frac{C_{\text{opt}}}{\rho_{\text{ciment}}} \quad (\text{I.13})$$

- $c$  : Proportion en ciment.
- $\rho_{\text{ciment}}$  : Masse volumique absolue du ciment en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).
- Choix du rapport eau/ciment ( $e/c$ )

Les résistances mécaniques d'un béton compact sont des fonctions décroissantes du rapport ( $e/c$ ). Pour obtenir des résistances suffisantes, on se fixe en général une limite supérieure de ce rapport, soit  $e/c \leq 1,5$  en volume. La teneur en eau sera fixée à priori de telle sorte que :  $e/c = 1,5$ .

$$e = 1,5 c \quad (\text{I.14})$$

- $e$  et  $c$  : Proportion en eau et proportion en ciment respectivement.
- Dosage en eau

$$E = e \times \rho_{\text{eau}} \quad (\text{I.15})$$

$\rho_{\text{eau}}$  : Masse volumique absolue d'eau ( $\rho_{\text{eau}} = 1000 \text{ kg}/\text{m}^3$ ).

- Détermination des compositions granulaires optimales

Le rapport  $s/g$  (sable/gravier) optimal est compris entre 0,5 et 0,83.

La composition du béton est égale à l'unité :

$$c + e + s + g = 1 \quad (\text{I.16})$$

$$s + g = 1 - (e + c) \quad (\text{I.17})$$

Connaissant le rapport ( $s/g$ ) et la somme ( $s + g$ ), on peut déterminer chaque proportion (Proportion en sable et en gravier).

Donc le dosage en sable  $S$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) est :

$$S = s \times \rho_{\text{sable}} \quad (\text{I.18})$$

$\rho_{\text{sable}}$  : Masse volumique absolue du sable ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Dosage en gravier :

$$G = g \times \rho_{\text{gravier}} \quad (\text{I.19})$$

$\rho_{\text{gravier}}$  : Masse volumique absolue du gravier ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

#### I.6.4. Méthode de SCRAMTAIEV [12], [13]

Le principe de cette méthode est le suivant : la somme de tous les matériaux composants pour un dosage de  $1 \text{ m}^3$  de béton frais est égale à 1000 litres. C'est une méthode de calcul

purement expérimentale. Les données de base servant pour le calcul de la composition du béton sont : La classe de résistance requise du béton ( $R_b$ ), le degré de fluidité ou de consistance du béton, les caractéristiques des matériaux d'origine, activité du ciment ( $R_c$ ), la masse spécifique (absolue) du ciment, les masses spécifiques (absolues) et masses volumiques (apparentes) du sable, ou gravier et la porosité des pierres concassées ou du gravier.

Le professeur SCRAMTAIEV a établi les relations suivantes, qui donnent la valeur de la résistance du béton ( $R_b$ ) en fonction du rapport C/E et des quantités du liant et des granulats.

- Pour un béton courant (béton plastique et fluide) :  $C/E \leq 2.5$  on a :

$$R_b = A \cdot R_c \cdot [(C/E) - 0,5] \quad (I.20)$$

D'où :

Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange :

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

- Pour un béton de qualité (béton ferme et très ferme) :  $C/E > 2.5$  on a :

$$R_b = A \cdot R_c \cdot [(C/E) + 0,5] \quad (I.21)$$

D'où :

Rapport du poids de ciment au poids de l'eau dans l'unité de volume du mélange :

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

Avec :

$R_b$  : La résistance à la compression du béton après 28 jours de durcissement.

$R_c$  : L'activité ou classe du ciment.

A, A' : coefficients admis d'après le Tableau I.5 selon les propriétés et la qualité des matériaux utilisés.

Tableau I.5 : Valeurs des coefficients A et A'.

Granulats et liants	A	A'
Qualité supérieure	0,65	0,43
Qualité ordinaire	0,6	0,4
Qualité inférieure	0,55	0,37

- Détermination de la dépense en eau :

Elle est établie approximativement d'après le Tableau I.6, qui tient compte de la qualité des matériaux utilisés.

Tableau I.6 : Quantité d'eau nécessaire à la préparation du béton.

Caractéristiques du mélange de béton	Dosage en eau l/m <sup>3</sup> par rapport à la grosseur <b>D<sub>max</sub></b> (mm)					
	Pierres concassées			Pierres roulées		
Affaissement au cône (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

- Détermination de la dépense en ciment :

$$C = [(C/E) \cdot E] \quad (I.22)$$

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

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 :

$$(C/\rho_c) + (E/\rho_e) + (S/\rho_s) + (G/\rho_g) = 1000 \quad (I.23)$$

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

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

$$(C/\rho_c) + (S/\rho_s) + E = [(P_g \cdot \alpha \cdot G/\gamma_g)] \quad (I.24)$$

Avec :  $P_g$  : Porosité des pierres concassées.

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

$\alpha$  : Coefficient d'écartement des grains des pierres concassées, donné par le Tableau I.7.

Tableau I.7: Valeur de coefficient  $\alpha$ .

Dosage en ciment (kg/m <sup>3</sup> )	E/C				
	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8
250	-	-	1,26	1,32	1,38
300	-	1,3	1,36	1,42	-
350	1,32	1,38	1,44	-	-
400	1,4	1,46	-	-	-

En résolvant simultanément les deux équations (I.21) et (I.24), on trouve l'expression qui permet de déterminer la qualité nécessaire de pierres concassées :

$$G = 1000 / [P_g \cdot (\alpha / \gamma_g) + (1 / \rho_g)] \quad (\text{I.25})$$

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

$$S = [1000 - [(C / \rho_c) + E + (G / \rho_g)]] \times \rho_s \quad (\text{I.26})$$

### I.7. Conclusion

En résumé, ce chapitre a couvert les éléments clés liés à notre recherche, notamment les constituants du béton de sable et les méthodes de formulation utilisées. Ces informations constituent une base solide pour la suite de notre étude sur le béton.

---

## *Chapitre II*

### *Matériaux et méthodes*

---



## Chapitre II : Matériaux et méthodes

### II.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présentons les caractéristiques de chaque constituant rentrant dans nos formulations en plus de différentes formulations obtenues. [13] Cette étape permettra de prédire les différentes interactions possibles entre nos composants ainsi que leurs compatibilités vis-à-vis des caractéristiques mécaniques de notre béton. La caractérisation est adaptée en fonction des normes qui le régissent.

### II.2. Matériaux utilisés

#### II.2.1. Le sable

Deux types de sable ont été utilisés : un sable de dune (SD) d'Ain El Beida (Ouargla) et un sable alluvionnaire (SA) de la carrière CASAP SILIS.



Photo II.1: Echantillon de sable de dunes. Photo II.2: Echantillon de sable alluvionnaire.

#### II.2.1.1. Analyse granulométrique

L'essai de l'analyse granulométrique est défini par la norme NF P 18-560, les deux sables ont des granulométries continues comme il est présenté dans la Figure II.1.



Photo II.3: Essai d'analyse granulométrique des sables.

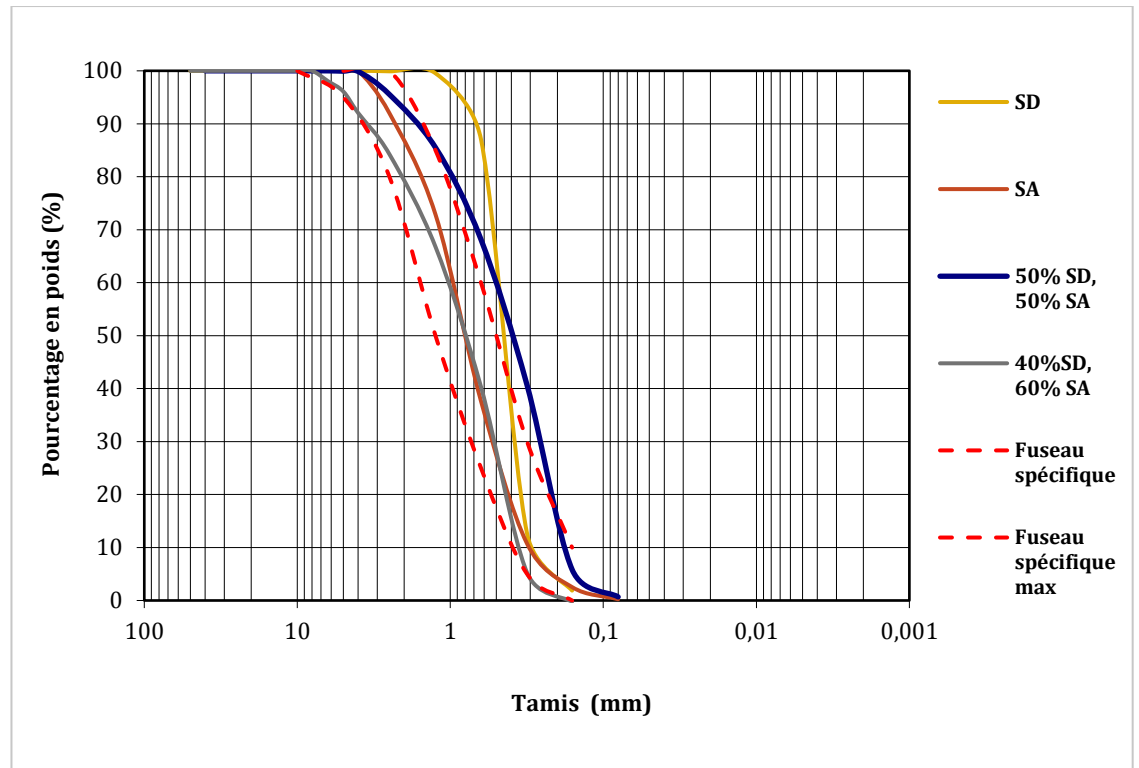


Figure II.1: Granulométries des sables utilisés.

D'après la Figure II.1, il est clair que le sable de dunes était un sable extra-fin avec une structure uniforme qui présentait une distribution de taille de particules serrée, avec des tailles de grains principalement comprises entre 0 et 1,25 mm. En fait, presque tous les grains avaient le même diamètre ; tandis que le sable alluvionnaire avait une structure bien gradée entre 0 et 5 mm. [15]

Tableau II.1: Diamètres maximaux des sables utilisés.

Type de sable	SD	SA
Diamètre maximale (mm)	1,25	5

### II.2.1.2. Module de finesse (MF)

Le module de finesse des deux sables a été calculé à partir des données de granulométrie conformément à la norme NF P18-304. Les résultats obtenus sont les suivants :

Tableau II.2: Module de finesse des sables utilisés.

Granulats	SD	SA
Module de finesse -MF-	1,01	2,84

### II.2.1.3. Masse volumique absolue et apparente

Pour étudier la formulation d'un béton, il est indispensable de connaître la masse volumique absolue et apparente des granulats. La masse volumique absolue est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, sans tenir compte des vides pouvant exister dans ou entre les grains, la masse volumique apparente est la masse du matériau par unité de volume, celui-ci intégrant à la fois les grains et les vides.

Des tests de masse volumique apparente et absolue référencés par la norme NF P18-554, NF P18-555 respectivement donnent les résultats montrés dans le Tableau II.3.

Tableau II.3: Masse volumique apparente et absolue des sables utilisés.

Type de sable	SD	SA
Masse volumique apparente (g/cm <sup>3</sup> )	1462,23	1561,56
Masse volumique absolue (g/cm <sup>3</sup> )	2,64	2,6

### II.2.1.4. Equivalent de sable

L'essai d'équivalent de sable, conforme à la norme NF P18-598, a été réalisé sur les deux types de sable dans le but d'apprécier la propreté du sable utilisé dans la composition du béton. Ce test consiste à séparer les particules fines du sol des éléments sableux plus grossiers, et une procédure normalisée permet de quantifier la propreté du sable en déterminant un coefficient d'équivalent de sable. L'équivalent de sable est donné par :

$$ESP = \frac{h_2}{H} \times 100$$

$$ESV = \frac{h_1}{H} \times 100$$

Où :

ESP : Equivalent de sable -Piston-

ESV : Equivalent de sable -Visuel -

H : hauteur totale. (Sable propre + éléments fines).

$h_2, h_1$  : hauteur visuelle et hauteur par piston de sable propre seulement respectivement.



Photo II.4: Essai d'équivalent de sable.

Tableau II.4: Résultats d'essai de l'équivalent de sable.

Type de sable	ESV	ESP	Nature et qualité
Sable de dunes	96,16	92,86	Sable très propre
Sable alluvionnaire	65,13	60,8	Sable légèrement argileux

### II.2.1.5. Essai au bleu de méthylène

L'essai au bleu de méthylène, conforme à la norme NF P 94-068, a été réalisé dans le but d'obtenir un paramètre d'identification appelé "valeur au bleu du sol" (VB). Ce paramètre permet d'évaluer de manière globale la quantité et la qualité des argiles présentes dans le sol. Le principe de l'essai consiste à injecter une solution de bleu de méthylène dans le sol jusqu'à saturation par adsorption.

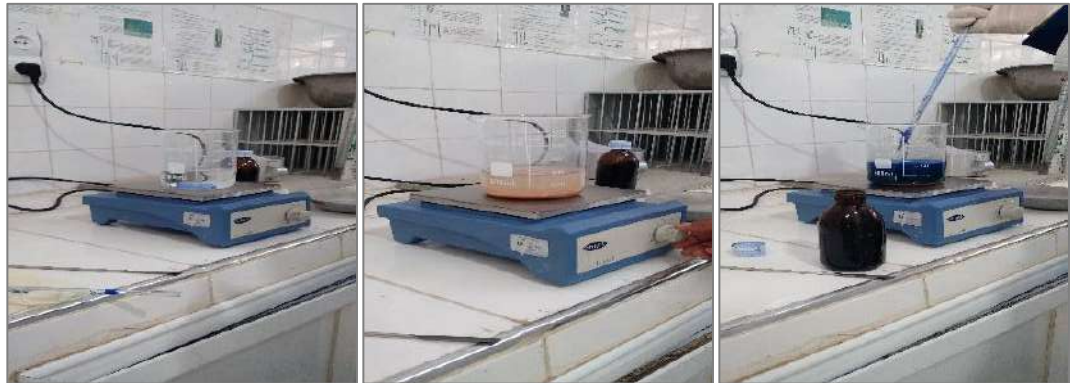


Photo II.5: Essai au bleu de méthylène.

Tableau II.5: Résultats d'essai au bleu de méthylène.

Echantillon	VB (ml/g)	Nature du sol
Sable de dunes	0,07	Sol sableux
Sable alluvionnaire	0,13	Sol sableux

Tous ces résultats ont confirmé que le sable dunaire était uniformément gradé avec un faible module de finesse ( $MF \approx 1$ ), mais d'un autre côté, c'était un sable propre. En raison de sa propreté, le sable dunaire pouvait être utilisé pour formuler du béton de sable. Cependant, sa granulométrie uniforme ne lui permettait pas d'atteindre une bonne densité lors de la compaction. Ainsi, le sable dunaire nécessitait une correction par modification de sa granulométrie et pour améliorer ses performances. La correction a été effectuée en

ajoutant un pourcentage de sable alluvionnaire. Deux pourcentages de combinaisons de sable alluvionnaire et de sable dunaire ont été testés : 60 % de sable dunaire et 40 % de sable alluvionnaire (référéncé comme B3) et 50 % de sable dunaire et 50 % de sable alluvionnaire (référéncé comme B2). Les courbes de granulométrie des deux mélanges de sables ont été établies et sont présentées dans la Figure II.1. Le module de finesse a été amélioré à 2,04 pour le mélange B2 et à 2,16 pour le mélange B3.

#### II.2.1.6. Coefficient d'absorption d'eau

L'évaluation du coefficient d'absorption d'eau pour différents types de sable révèle des données significatives pour la formulation des mélanges de béton. Les résultats obtenus sont les suivants :

- Sable alluvionnaire :  $CA = 1,76\% < 2,50$ .
- Sable de dunes :  $CA = 2,73\% > 2,50$ .

On remarque que le sable de dune présente un coefficient d'absorption d'eau qui dépasse la valeur admissible ce qui va gêner la fluidité du béton.



Photo II.6: Photo prise durant l'essai de détermination de l'absorption d'eau.

#### II.2.2. Le ciment

Le ciment utilisé est un ciment portland composé : ELMATINE (CPJ-CEM II/B 42,5), de masse volumique absolue  $3,1 \text{ g/cm}^3$ . Les caractéristiques physiques et mécaniques de ciment sont présentées au Tableau II.7. La fiche technique de ciment est indiquée à l'Annexe 1.

##### II.2.2.2 Temps de prise

L'essai de détermination du temps de prise du ciment vise à obtenir un paramètre essentiel appelé "temps de prise". Ce paramètre permet d'évaluer la durée nécessaire pour que le ciment atteigne un état de prise spécifique. Le principe de l'essai implique le mélange du

ciment avec de l'eau, suivi de l'utilisation de l'appareil de Vicat pour mesurer la profondeur de pénétration de l'aiguille dans la pâte cimentaire. Des photos prises lors de l'essai sont présentées ci-dessous, suivies du Tableau II.6, qui détaille les résultats de l'essai de consistance, et du Tableau II.7, résumant les caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé.



Photo II.7: Photos prises durant l'essai de détermination du temps de prise du ciment.

Tableau II.6: Résultats de l'essai de consistance.

Essai de consistance					
N°	Poids de ciment (g)	Poids d'eau (g)	Pourcentage (%)	E/C	d (mm)
1	500	125	25	0,25	5

Tableau II.7: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment utilisé.

Caractéristiques physiques			Caractéristiques mécaniques
Consistance normale (%)	Temps de prise (min)		Résistance minimale à compression à 28 jours
	Début	Fin	42,5
25	100	222	

### II.2.3. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans notre étude est l'eau potable du réseau public de la ville de Ouargla. Les résultats obtenus sont présentés dans l'Annexe 2.

#### II.2.3.1. Détermination de PH d'eau

La détermination du pH de l'eau au moyen d'un pH-mètre suit un processus méthodique. Il commence par le prélèvement d'un échantillon d'eau représentatif dans un récipient

propre. Ensuite, le pH-mètre est mis en marche, et son électrode est soigneusement immergée dans l'échantillon d'eau. La mesure est laissée à stabiliser, et une fois cette stabilisation atteinte, la valeur du pH de l'échantillon d'eau est relevée à partir de l'écran du pH-mètre.



Photo II.8: Essai de détermination de PH d'eau utilisé.

### II.2.3.2. Détermination de chlorure dans l'eau

La détermination de la concentration d'ions chlorure dans un échantillon d'eau repose sur un processus de titration. Les étapes clés comprennent la préparation des solutions, la préparation de l'échantillon, la titration proprement dite, et le calcul des résultats.

Dans un premier temps, on prépare une solution de nitrate d'argent de concentration connue, qui sert de réactif titrant, ainsi qu'une solution de chromate de potassium comme indicateur.



Photo II.9: Solution de nitrate d'argent.



Photo II.10: Solution de chromate de potassium.

Si l'eau contient des ions bromures, on ajoute une solution de nitrate de sodium pour précipiter les ions bromures. Ensuite, on prélève un volume précis de l'échantillon d'eau et on ajoute l'indicateur (chromate de potassium). On commence alors à ajouter la solution

de nitrate d'argent, créant un précipité de chlorure d'argent. La titration se poursuit jusqu'à ce qu'un changement de couleur persistant se produise, indiquant la fin de la réaction, généralement marqué par le passage du jaune au rouge. Enfin, en notant le volume de solution de nitrate d'argent utilisé pour atteindre le point d'équivalence, on peut calculer la concentration des ions chlorure dans l'échantillon d'eau à l'aide de la stœchiométrie de la réaction.



Photo II.11: L'ajout de chromate de potassium.



Photo II.12: L'ajout de la solution de nitrate d'argent.



Photo II.13: Le changement de couleur d'eau du jaune au rouge.

### II.3. Méthodes de formulation de béton de sable

Pour déterminer la formulation optimale du mélange, quatre différentes formulations de béton avec du sable dunaire ont été réalisées à partir des mêmes matériaux sous les appellations M1, M2, M2', M3, M4 respectivement pour les méthodes : mortier normalisé, SBLOCRETE- approche théorique, SABLOCRETE-approche expérimentale, BARON-LESAGE et SCRAMTAEIV.

Trois mélanges ont été envisagés pour chaque formulation. Le mélange B1 a été réalisé avec 100 % de sable dunaire SD ; le mélange B2 a été réalisé avec une combinaison de 50% SD et 50 % SA ; et le mélange B3 a été réalisé avec une combinaison de 40 % SD et 60 % SA. Ces trois mélanges ont ensuite été testés pour identifier le meilleur résultat.

Le mélange recherché doit répondre en premier lieu et en plus de l'aspect économique, à un objectif technique essentiel :

→ Une résistance mécanique moyenne (25 à 40 MPa).

Le Tableau II.8 présente la dimension du plus gros granulat  $D_{max}$  et la masse volumique absolue de sable pour chaque type de composition de béton.



Tableau II.8: Dimension du plus gros granulat et la masse volumique absolue pour chaque type de béton.

Type de composition	$D_{\max}$ (mm)	Masse volumique absolue ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
B1	1,25	2,64
B2	5	2,62
B3	5	2,616

### II.3.1. Formulation selon la méthode de mortier normalisé

La formulation des bétons de sable été réalisée sur la base sur la méthode expérimentale pour déterminer le rapport E/C, et d'après le dosage de ciment on trouve la quantité de sable par le rapport : Sable/Ciment = 3.

L'exécution de cette méthode nous donne les différentes compositions de béton de sable, qui sont données par le Tableau II.9.

Tableau II.9: Composition de  $1\text{m}^3$  selon la méthode de mortier normalisé.

Formulation	E/C	Ciment (Kg)	Sable (Kg)		Eau (l)
			SD	SA	
M1-B1	0,58	462,88	1388,6	0	268,5
M1-B2	0,49	472,16	708,2	708,2	231,4
M1-B3	0,49	472,16	566,6	849,9	231,4

### II.3.2. Formulation selon la méthode de SABLOCRETE

Dans cette méthode de formulation on est passé par deux approches.

- ▶ L'approche théorique de SABLOCRETE.
- ▶ L'approche expérimentale de SABLOCRETE.

#### II.3.2.1. Formulation selon l'approche théorique de SABLOCRETE

La formule (I.2) nous permet d'estimer la quantité totale en fines, selon le type de béton en substituant la valeur de D selon le Tableau II.8. La formule (I.3) nous donne la porosité du béton. Dans ce cas le mélange n'est pas défloculé, nous adoptons alors pour d la valeur 0,020mm. Qui se décompose en prenant  $k = 0,2$  avec la formule (I.5) et donne le volume d'eau et des vides. Finalement, le dosage en sable est déterminé selon la formule (I.6). Les résultats sont donnés dans le Tableau II.10.

### II.3.2.2. Formulation selon l'approche expérimentale de SABLOCRETE

Nous chercherons à déterminer une formule d'un mètre cube constituée de ciment, d'eau et de sable ; donc on a choisi de travailler à partir d'un dosage en ciment fixé qui ne variera pas tout au long de l'étude. Nous le noterons  $C(\text{kg}/\text{m}^3)$ . On prend  $C = 400 \text{ Kg}/\text{m}^3$ .

L'expérience des praticiens nous indique qu'un dosage approximatif en eau, noté  $E$ , est de  $250 (\text{l}/\text{m}^3)$  lorsque le dosage en ciment est de  $400 (\text{kg}/\text{m}^3)$ . Il est également important de prendre en compte le volume d'air présent dans le béton. En moyenne, on considère un volume d'air de 6%, ce qui correspond à  $[\text{air}] = 60 (\text{l}/\text{m}^3)$ .

Après avoir déterminé les quantités de ciment, de l'eau, d'air, le volume du sable s'obtient en complétant la formule d'un mètre cube (I.9) Ce qui donne par la formule (I.11) une masse de sable  $S (\text{kg}/\text{m}^3)$  varie selon la masse volumique de type de béton. Les résultats sont donnés dans le Tableau II.10.

Tableau II.10 : Formulation selon la méthode de SABLOCRETE.

Formulation	Ciment	Eau	Vides	E/C	Sable (Kg/m3)	
	(Kg/m3)	(l/m3)	(l/m3)		SD	SA
M2-B1	678,9	292	58,4	0,43	1136,784	0
M2-B2	514,6	220,83	44,166	0,43	751,08	739,7
M2-B3	514,6	220,83	44,166	0,43	591,76	901,296
M2'-B1	400	250	60	0,63	1480,96	0
M2'-B2					734,87	734,87
M2'-B3					587	880,5

### II.3.3. Formulation selon la méthode de BARON-LESAGE

En respectant les étapes de calcul définies par BARON-LESAGE, le calcul se résume en ce qui suit :

La dimension du plus gros granulat  $D_{\text{max}}$  utilisé dans cette recherche est égale à : 1,25 mm pour M3-B1 et 5 mm pour M3-B2 et M3-B3. Ce qui donne en utilisant la formule (I.12) un dosage en ciment dans les gammes suivantes :

- $D_{\text{max}} = 1,25 \text{ mm} \rightarrow 650 \leq C_{\text{optimale}} \leq 745$
- $D_{\text{max}} = 5 \text{ mm} \rightarrow 493 \leq C_{\text{optimale}} \leq 565$

Nous avons opté pour un dosage en ciment de  $700 \text{ Kg/m}^3$  pour la composition B1 et de  $500 \text{ Kg/m}^3$  pour la composition B2 et B3. La proportion en ciment 'c' est donnée par la formule (I.13).

Afin de simplifier l'étude le rapport eau/ciment (e/c) est fixé au départ à 1,5 donc la proportion en eau 'e' peut déterminer par la formule (I.14), le dosage en eau E ( $\text{Kg/m}^3$ ) est donné par la formule (I.15) et vu que la compacité du béton est supposée égale à l'unité avec un minimum d'eau et le rapport s/g = 0 (g = 0), on peut déterminer la proportion en sable 's' en utilisant la formule (I.16) ainsi que le dosage en sable S ( $\text{Kg/m}^3$ ) par la formule (I.18). L'ensemble des compositions du béton retenues par la formulation de BARON-LESAGE est donné par le Tableau II.11

Tableau II.11 : Formulation selon la méthode de BARON-LESAGE.

Formulation	C <sub>choisis</sub>	E	E/C	S ( $\text{Kg/m}^3$ )	
	( $\text{Kg/m}^3$ )	( $\text{Kg/m}^3$ )		SD	SA
M3-B1	700	338,7	0,48	1149,7	0
M3-B2	500	241,9	0,48	574,84	775,8
M3-B3	500	241,9	0,48	630,2	931

#### II.3.4. Formulation selon la méthode de SCRAMTAIEV

La démarche consiste à rechercher une composition de béton de sable (sans gravier) ayant comme principales caractéristiques : une résistance mécanique ( $R_b = 25 \text{ MPa}$ ) et une maniabilité plastique facilitant la mise en œuvre de ce béton.

Pour cela, on a suivi les étapes suivantes :

- Définition du rapport « ciment / eau » C/E (I.20) :

Pour un béton courant ( $C/E \leq 2.5$ ) pour  $R_b = 25 \text{ MPa} \rightarrow C/E = 1,48$ .

Avec :  $R_c = 42,5 \text{ MPa}$ ,  $A = 0,60$  (Tableau I.5).

- Détermination de la dépense en eau :

On a  $D_{\max} < 10 \text{ mm}$ , alors on ne peut pas déterminer la dépense en eau par le Tableau I.6, mais on peut la déterminer par le rapport  $C/E = 1,48$  en fixant la valeur de la dépense en ciment, pour  $C = 450 \text{ kg/m}^3 \rightarrow E = 304,05 \text{ l/m}^3$ .

- La détermination du dosage en sables pour un mètre cube de béton frais :

Pour une dépense en pierres concassées  $G = 0$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ), on fait le calcul de la dépense en sable ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )(I.26).

Tableau II.12 : Formulation selon la méthode de SCRAMTAIEV.

Formulation	Rb	C/E	C	E	S(Kg)	
	(MPa)		(Kg)	(l)	SD	SA
M4-B1	25	1,48	450	304,05	1454,08	0
M4-B2		1,48			721,535	721,535
M4-B3		1,48			576,344	864,516

## II.4. Essais de caractérisations

### II.4.1. Masse volumique apparente MV

La masse volumique apparente calculée de la composition du béton représente la somme des masses des composants tels que le ciment, le sable et l'eau, exprimée en  $\text{kg}/\text{m}^3$ .

- La masse volumique apparente du béton frais ( $MV_{bf}$ ) : elle est facilement déterminée par la formule suivante :

$$MV_{bf} = \frac{(\text{Masse du moule} + \text{Masse du béton}) - (\text{Masse du moule})}{\text{Volume du moule} (V = (4 \times 4 \times 16) \times 3 = 768 \text{ cm}^3)}$$

- La masse volumique apparente à l'état durcis ( $MV_{bd}$ ) : elle est donnée par la masse de l'éprouvette au jour de l'écrasement divisée par son volume :

$$V = (4 \times 4 \times 16) = 256 \text{ cm}^3$$

La connaissance de ces mesures est essentielle car elles affectent directement la qualité et les performances du béton dans différentes applications de construction. Une masse volumique apparente inadéquate peut entraîner une perte de résistance.

### II.4.2. Essai de compression

Cet essai est exécuté avec une presse pour matériaux durs (**Erreur ! Source du renvoi introuvable.**), comportant une mâchoire inférieure fixe et une mâchoire supérieure mobile.

La résistance à la compression sera calculée selon l'équation suivante :

$$R_c = \frac{F_c}{b^2} \quad (\text{II.1})$$

Où :

$R_c$  : Résistance à la compression en MPa.

$F_c$  : Charge de rupture en N.

$b$  : Coté de l'éprouvette en mm.

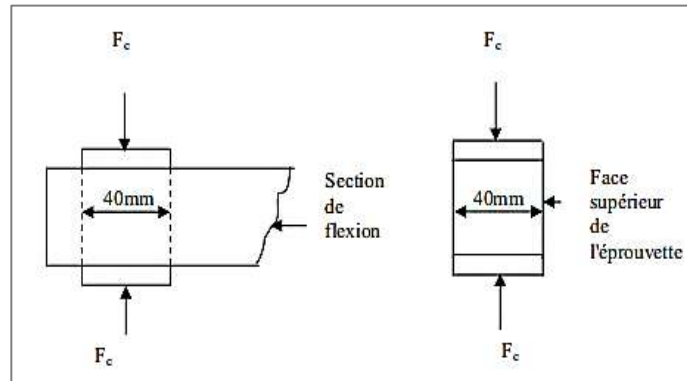


Figure II.2: Dispositif de rupture en compression. [24]



Photo II.14: Dispositif de rupture en compression.

### II.4.3. Essai de traction par flexion

La ( Figure II.3) présente le dispositif à rouleau utilisé en flexion trois points ; comportant deux appuis à rouleau distant de 120 mm sur lesquels repose l'éprouvette prismatique 4x4x16 cm, et un troisième rouleau équidistant des deux premiers, transmettant une charge concentrée  $F_f$ . [23]

La formule qui nous permet de calculer la résistance à la flexion est comme suit :

$$R_{tf} = 1,5 \frac{F_f}{b^3} l \quad (\text{II.2})$$

Où :

$R_{tf}$  : Résistance à la flexion en MPa.

$F_f$  : Charge de rupture de l'éprouvette en flexion N.

$l$  : Longueur qui sépare les deux appuis inférieurs en mm.

$b$  : Coté de l'éprouvette en mm.

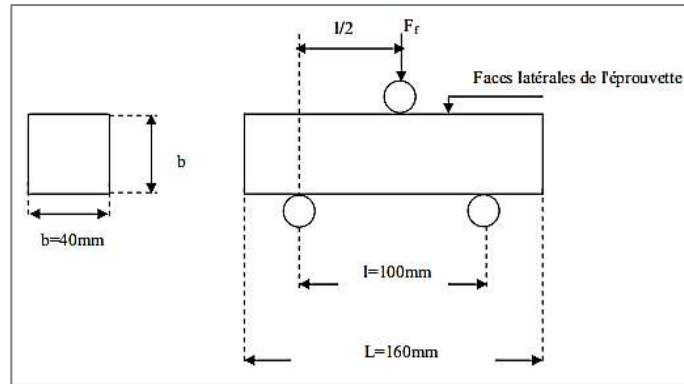


Figure II.3: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points).  
[24]



Photo II.15: Dispositif pour l'essai de résistance à la flexion (3 points).

#### II.4.4. Essai non destructif – essai aux ultrasons

Cet essai permet de déterminer la vitesse de propagation d'onde longitudinales (de compression) à travers un élément en béton. Des ondes ultrasonores sont envoyées à travers un échantillon prismatique entre un émetteur et un récepteur, l'appareil mesure le temps mis par l'onde pour se déplacer de l'émetteur au récepteur ; la vitesse de l'onde est ensuite déduite. Cet appareil nous indique le temps (T) de propagation des ondes à travers l'éprouvette de longueur (L) et donne la vitesse de propagation (V) selon l'équation :

$$v = \left( \frac{S}{T} \right) 10^6 \quad (\text{II.3})$$

Avec :

V : vitesse de propagation en (m/s).

S : distance entre les têtes en mètre (m).

T : temps en microseconde ( $\mu\text{s}$ ).

Selon les appréciations du CNERIB (Centre National d'Études et de Recherches sur les Industries du Béton), le classement qualitatif des bétons peut être établi en fonction de la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore  $V$  (m/s). Ainsi :

- ▶  $2500 \leq V < 3200$ , le béton est considéré comme ayant une faible résistance.
- ▶  $3700 \leq V < 4000$ , le béton est considéré comme ayant une résistance moyenne.
- ▶  $4000 \leq V < 4200$ , le béton est qualifié de haute résistance.
- ▶  $V > 4200$ , le béton est classé comme ayant une très haute résistance.

Ces critères permettent d'évaluer la performance et la qualité du béton en termes de résistance. [25]

### II.5. Confection des éprouvettes et conditions de conservation

Cette étude est menée sur des éprouvettes prismatiques ( $40 \times 40 \times 160 \text{ mm}^3$ ).



Photo II.16: Moules prismatiques utilisés  $40 \times 40 \times 160 \text{ cm}^3$ .

La procédure de mélange a été faite de la manière suivante :

- Préparation des mélanges.



Photo II.17: Préparation des constituants des mélanges.

- Malaxage du sable sec (S) avec le ciment (C) pendant 60 secondes.



Photo II.18: L'ajout de sable et de ciment.

- ☑ Ajout de la quantité d'eau (E), puis malaxage de l'ensemble (S) + (C) + (E) durant 3min.
- ☑ Le remplissage des moules est réalisé en deux couches avec vibration pour chaque couche.



Photo II.19: La mise en place de béton.

- ☑ Les éprouvettes sont conservées à l'air libre puis démoulées au bout de 24 heures et plongées dans l'eau pendant une durée de 14 jours [8] ; ensuite les éprouvettes sont retirées de l'eau et exposées à l'air libre jusqu'à la date d'essai.

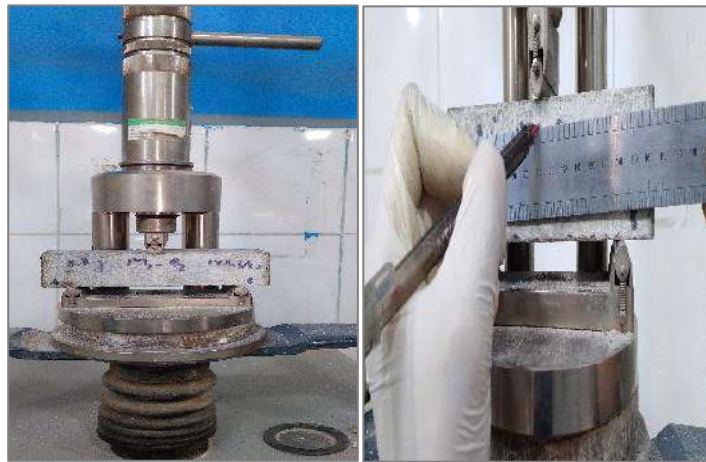


Photo II.20: La conservation des éprouvettes avant le démoulage et le démoulage des éprouvettes.





*Photo II.21: Essai de détermination de la résistance à la compression.*



*Photo II.22: Essai de traction par flexion.*

## **II.6. Conclusion**

Nous avons montré dans ce chapitre une caractérisation sur les matériaux utilisées dans notre recherche, ainsi que les compositions obtenues par les quatre méthodes de formulation des bétons de sable utilisés. Par la suite nous avons présenté les procédures expérimentales qui vont nous permettre d'analyser nos bétons afin d'évaluer l'influence de la méthode de formulation du béton sur sa résistance à la compression et à la traction.

---

## *Chapitre III*

### *Résultats et discussion*

---

## Chapitre III : Résultats et discussion

### III.1. Introduction

Dans ce chapitre, nous présenterons les résultats de notre étude sur les caractéristiques essentielles du béton de sable des dunes ainsi que les interprétations qui les accompagnent. Nous avons choisi de déterminer les résistances à la compression et à la traction à 7, 14 et 28 jours, tout en examinant également l'effet et la relation d'autres paramètres avec ces résistances. Les réponses tant attendues seront présentées dans les lignes suivantes.

### III.2. Résultats de la masse volumique apparente (MV)

Les résultats de la Figure III.1 montrent des variations dans la masse volumique apparente calculée des compositions de béton de sable en fonction des différentes méthodes de formulation pour les différents types de béton étudiés.

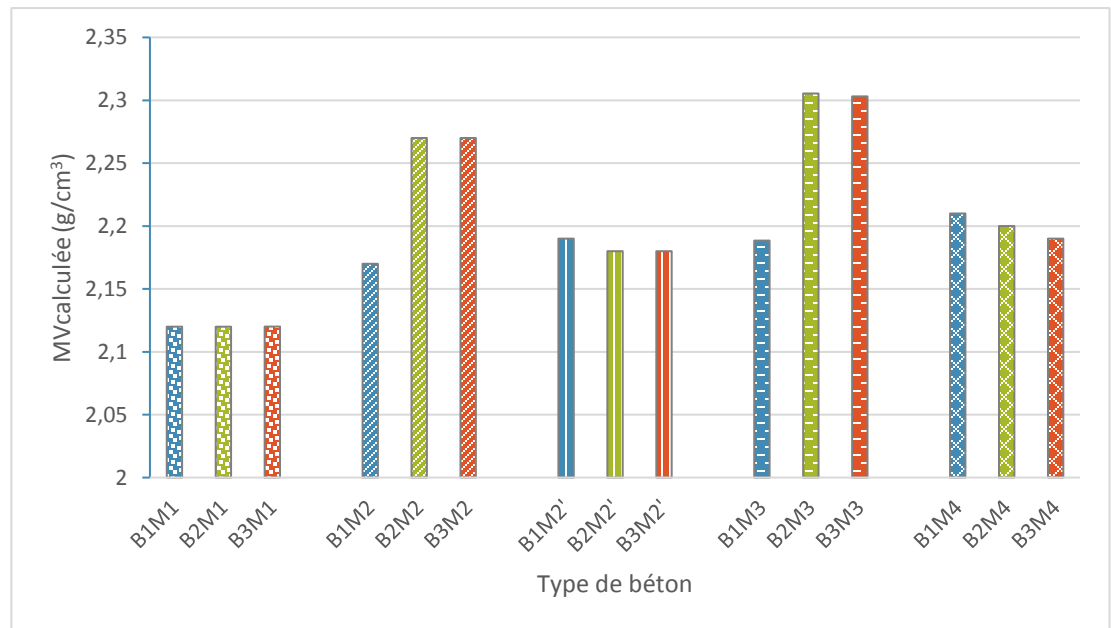


Figure III.1: Variation des masses volumiques apparente calculée des bétons de sable de dunes en fonction de type et de méthode de formulation de béton.

☞ Influence du type de béton : Selon la méthode M1, on constate que les masses volumiques apparentes sont relativement similaires pour tous les types de béton. Cette similitude peut s'expliquer par la possibilité que les variations dans la taille des agrégats aient été équilibrées de manière à maintenir des masses volumiques globalement constantes. En d'autres termes, la méthode M1 semble indiquer que la répartition des

agrégats dans les différents types de béton est telle que leur masse volumique apparente reste stable. En revanche, la méthode M2 révèle une variation intéressante. Elle indique que les masses volumiques apparentes de B3 et B2 sont identiques, mais elles sont supérieures de 4,41% à celle de B1. Cela pourrait signifier que la méthode de formulation M2 favorise une disposition des agrégats dans B2 et B3 qui entraîne une augmentation de la masse volumique par rapport à B1. Cela peut être dû à une meilleure compaction ou à une distribution différente des agrégats. La méthode M2' donne des résultats similaires pour B3 et B2, mais cette fois, elles sont inférieures de 0,46% à celle de B1. Cette légère réduction de la masse volumique apparente peut résulter d'une distribution des agrégats légèrement moins favorable dans B2 et B3 selon la méthode M2'. Cependant, la différence est minime. Lorsque l'on utilise la méthode M3, les masses volumiques apparentes de B3 et B2 sont presque identiques, mais elles dépassent celle de B1 de 5,07%. Cette augmentation substantielle pourrait être due à une formulation particulière dans la méthode M3 qui favorise une plus grande compacité ou une meilleure distribution des agrégats dans B2 et B3, ce qui se traduit par des masses volumiques plus élevées. Enfin, la méthode M4 révèle une variation intéressante, car la masse volumique apparente de B1 est supérieure de 0,45% à celle de B2 et de 0,91% à celle de B3. Cela pourrait indiquer que la méthode M4 conduit à une distribution des agrégats dans B1 qui favorise une masse volumique légèrement plus élevée par rapport à B2 et B3. Cette différence, bien que modeste, peut être significative dans certaines applications.

✎ Influence de la méthode de formulation : Pour le type de béton B1, la méthode M4 affiche une augmentation de masse volumique de 0,82%, 0,89%, 1,73% et 3,99% par rapport à M2', M3, M2 et M1 respectivement. Pour le type de béton B2, M3 présente des augmentations de masse volumique de 1,54%, 4,7%, 5,44% et 8,04% par rapport à M2, M4, M2' et M4 respectivement. Quant au béton B3, les augmentations de masse volumique avec la méthode M3 sont de 1,44%, 4,7%, 5,35% et 7,95% par rapport à M2, M4, M2' et M1 respectivement. Ces variations peuvent être dues par l'influence positive de l'ajout de sable alluvionnaire sur la compacité et l'adhésion des grains. Ainsi qu'au réarrangement des grains au sein de la pâte de ciment lors de la formulation du béton. Différentes méthodes de formulation peuvent conduire à une distribution différente des grains de sable, ce qui peut influencer la masse volumique du mélange final.

La Figure III.2 présente la variation des masses volumiques apparentes calculée et réelle des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton.

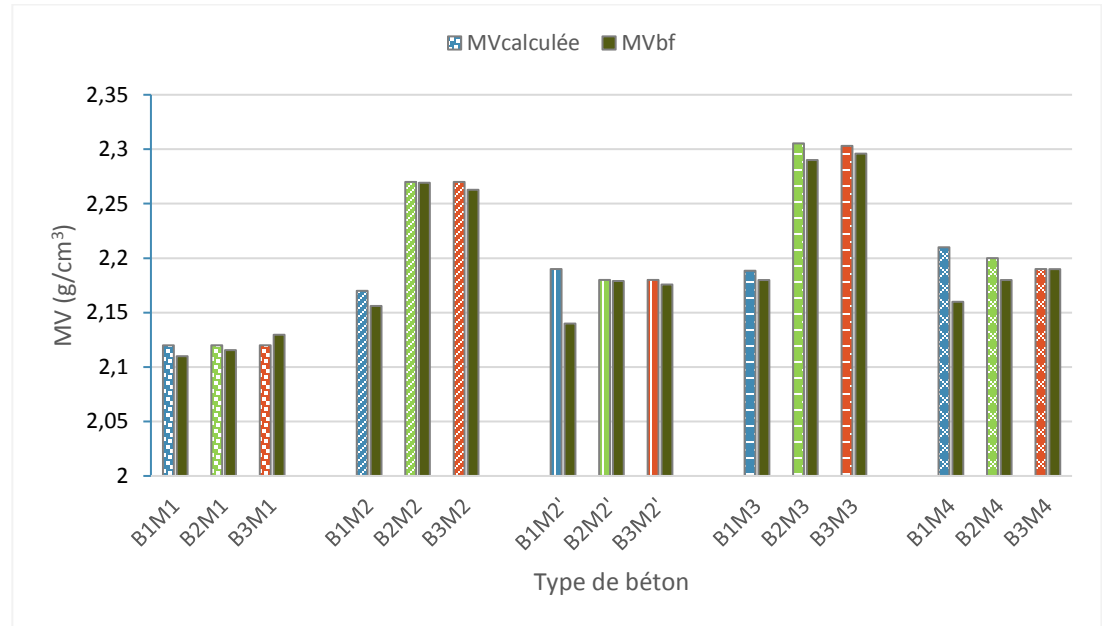


Figure III.2: Variation des masses volumiques apparentes calculée et frais des bétons de sable de dunes en fonction de type et de méthode de formulation de béton.

✎ Influence du type de béton : Selon toutes les méthodes, les masses volumiques calculées (théoriques) de la composition et la masse volumique du béton à l'état frais sont presque similaires pour tous les types de béton, à l'exception de B1 où une différence remarquable est observée. Lorsqu'on examine les résultats, on constate que la masse volumique calculée des mélanges de béton, effectuée à partir des méthodes de formulation utilisées, correspond généralement bien à la masse volumique mesurée du béton à l'état frais, pour la plupart des types de béton. Cependant, une exception notable se trouve dans le cas du béton de type B1, pour lequel une différence significative entre la masse volumique calculée et la masse volumique mesurée est observée. Plusieurs facteurs peuvent contribuer à cette disparité. L'un de ces facteurs pourrait être la granulométrie des agrégats, en particulier la distribution des grains de sable dunaire. Dans le cas de B1, la proportion de sable dunaire est de 100 %, ce qui signifie que des grains de sable de taille similaire dominant, entraînant potentiellement une répartition inégale des grains. De plus, la compacité du béton peut être affectée par la répartition des grains et l'adhérence entre eux. Dans un mélange de béton, l'arrangement des grains de sable, la façon dont ils sont interconnectés et leur degré d'adhérence les uns aux autres jouent un rôle essentiel dans la

masse volumique globale. Pour le B1, des facteurs internes ou des caractéristiques du sable dunaire utilisé pourraient provoquer une distribution des grains moins uniforme, influençant ainsi la masse volumique.

✎ Influence de la méthode de formulation : Pour chaque type de béton dans chaque méthode, les masses volumiques calculées (théoriques) de la composition et la masse volumique du béton à l'état frais sont presque similaires. Les résultats obtenus peuvent être attribués au processus de vibration du béton. Il est important de souligner que les vibrations peuvent également influencer la masse volumique finale du béton, en particulier dans le cas de B1. En effet, la vibration peut entraîner des modifications dans la distribution des grains de sable, selon la méthode de formulation utilisée, ce qui se traduit par des variations de masse volumique dans le mélange final. Ainsi, le choix de la méthode de formulation peut avoir un impact sur la répartition des grains de sable, ce qui, à son tour, affecte la masse volumique finale du béton.

La Figure III.3 montre la variation des masses volumiques apparentes à l'état durci ( $MV_{bd}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton.

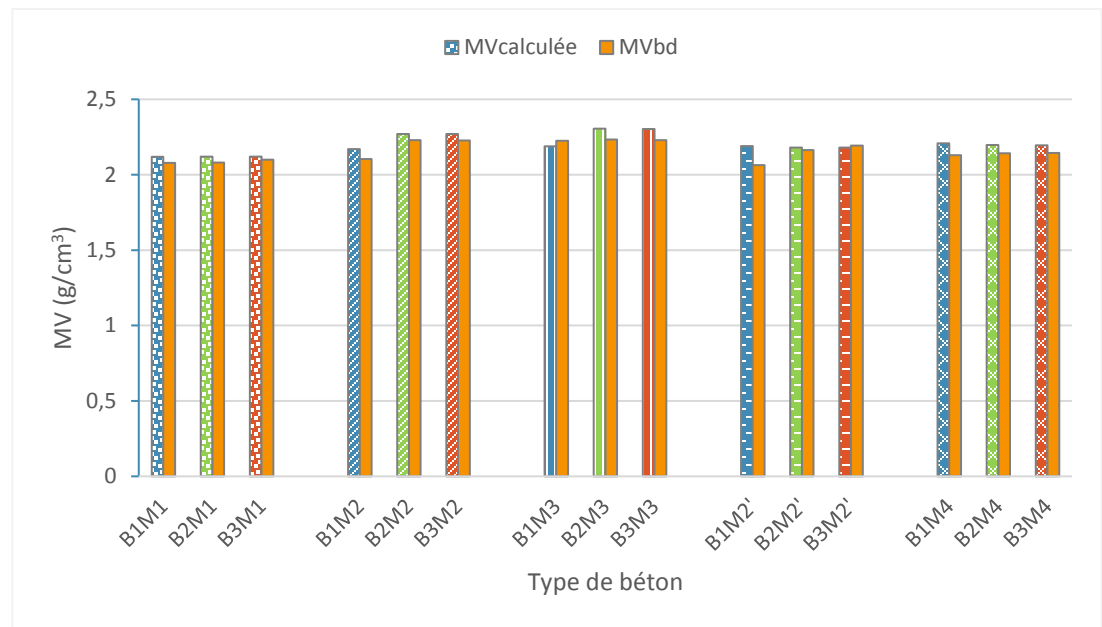


Figure III.3 : Variation des masses volumiques apparentes calculée et durci des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton et la méthode de formulation.

✎ Lorsque nous examinons la Figure III.3, une observation cohérente émerge. Peu importe le type de béton ou la méthode de formulation employée, la masse volumique calculée (MV) est systématiquement plus élevée que la masse volumique du béton à l'état

durci (MVbd). Cette constatation suggère que le processus de durcissement du béton entraîne généralement une réduction de la masse volumique apparente. Cette diminution de la masse volumique au fur et à mesure que le béton durcit peut-être attribuée à divers facteurs. L'un de ces facteurs clés est le processus d'évaporation de l'eau pendant le durcissement, ce qui entraîne une compacité accrue des particules de ciment et des agrégats, ce qui diminue la masse volumique apparente. Cette observation est conforme à ce que l'on observe couramment dans le comportement du béton.

La Figure III.4 présente la variation des masses volumiques apparentes à l'état frais et durci des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton.

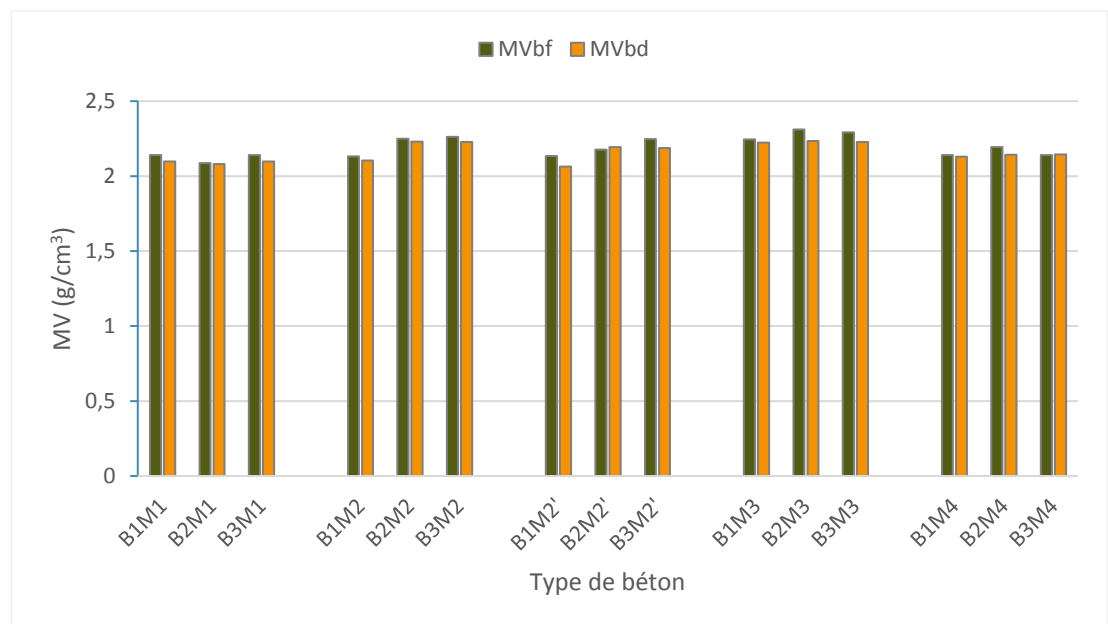


Figure III.4: Variation des masses volumiques apparentes à l'état frais et durci des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton et la méthode de formulation.

On observe que la masse volumique à l'état frais est plus élevée que celle à l'état durci. Cette différence. Au fur et à mesure que le béton durcit, plusieurs phénomènes interviennent. L'hydratation du ciment, qui est le processus chimique de formation de liaisons solides entre les particules de ciment et l'eau, contribue à la compacité du matériau. Parallèlement, l'évaporation de l'excès d'eau à la surface du béton réduit le volume total, augmentant ainsi la masse volumique. De ce fait, la masse volumique calculée (théorique) à l'état frais est généralement plus élevée que celle du béton à l'état durci. Cependant, il est crucial de noter que cette différence peut varier en fonction de divers paramètres, notamment les conditions de durcissement spécifiques et la formulation du béton.

### III.3. Résultats de la vitesse de propagation des ondes ultra-sonore dans les bétons de sable formulés

L'influence de type de béton sur la vitesse de propagation d'onde ultrasonore effectuée à l'âge de 28 jours, montré par la Figure III.5.

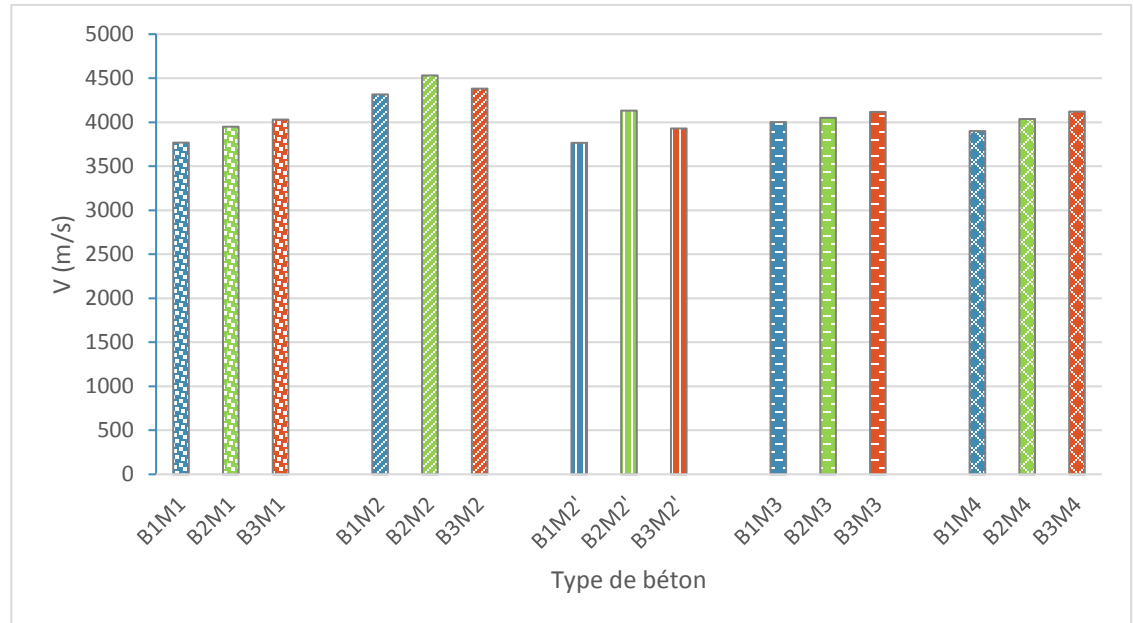


Figure III.5: Variation de vitesse de propagation de l'onde ultrasonore ( $V$ ) dans les bétons de sable en fonction de la méthode de formulation de béton.

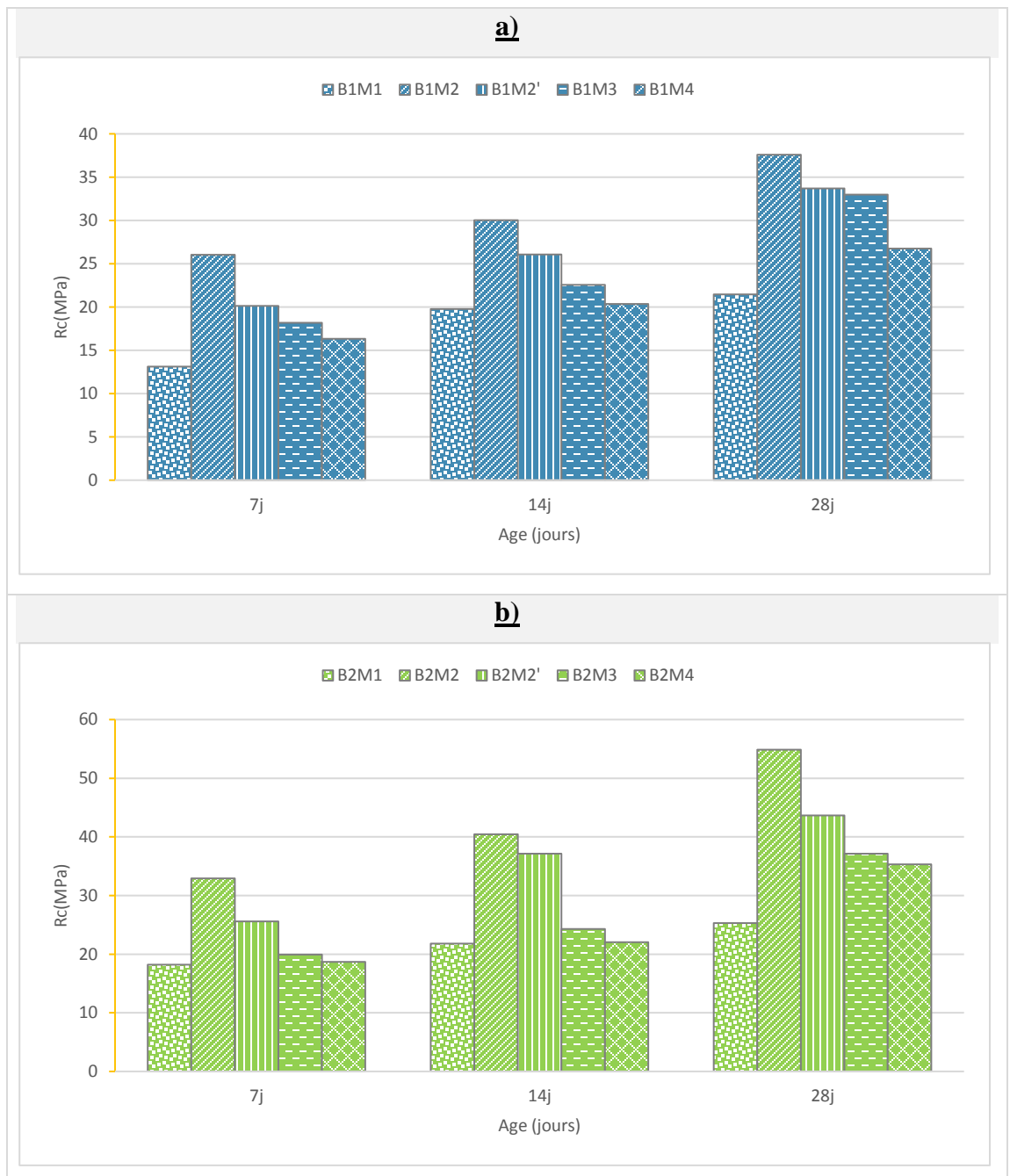
Les mélanges de béton réalisés par M1, M2', M3 et M4 ont des vitesses d'impulsion comprises entre 3700 et 4200 m/s, correspondant à une excellente qualité de béton homogène et à une résistance moyenne jusqu'à haute selon le CNERIB. Les mélanges réalisés avec la méthode M2 présentent des vitesses d'impulsion supérieures à 4200 m/s, indiquant une excellente qualité homogène et une résistance très élevée selon le CNERIB. La vitesse d'impulsion diminue avec l'augmentation de la teneur en sable dunaire pour les méthodes M1, M3 et M4. Ceci est cohérent avec les résultats de  $MV_{calculée}$  pour M3, qui montrent également une diminution avec l'augmentation de la teneur en sable dunaire en raison de la finesse du sable dunaire. Pour M1 et M4,  $MV_{calculée}$  sont identiques ce qui suggère que la variation de la vitesse de l'onde ultrasonore est attribuable au réarrangement des grains dans la pâte de ciment. Une disposition plus compacte des grains conduit à une augmentation de la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore. L'influence de la méthode de formulation sur la vitesse de propagation des ondes ultrasonores à l'âge de 28 jours est examinée dans les résultats obtenus. On observe que, pour les mélanges B1, B2 et B3, M2



a donné les meilleurs résultats en affichant les vitesses de propagation les plus élevées parmi les quatre méthodes testées. Cela est peut-être dû au concept des différentes méthodes, on observe que le principe de la méthode M2 vise à minimiser la porosité du béton.

#### III.4. Résultats de la résistance à la compression

La Figure III.6, a,b,c) met en évidence l'influence de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton à différents âges (7, 14 et 28 jours).



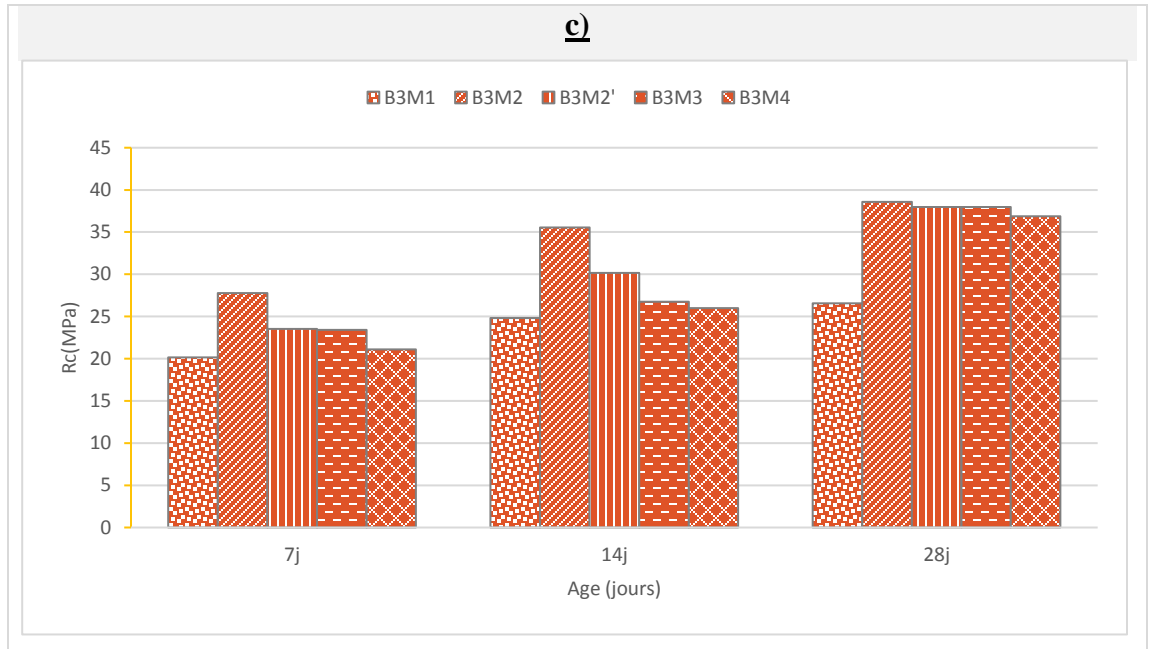


Figure III.6 : Variation de la résistance à la compression ( $R_c$ ) en fonction de méthode de formulation aux différents âges, a) B1, b) B2, c) B3.

✎ Dans la Figure III.6, on observe que la méthode M2 présente la plus grande résistance à la compression par rapport à M2', M3, M4 et M1 respectivement à chaque stade de durcissement du béton.

Pour B1 Figure III.6 -a), à l'âge de 7 jours, M2 présente des augmentations de résistance de 22,61 %, 30,17 %, 37,3 % et 49,60 %. À 14 jours, les augmentations sont de 13,21 %, 24,82 %, 32,24 % et 34,17 %. À 28 jours, les augmentations sont de 10,40 %, 12,31 %, 28,87 % et 42,96 %.

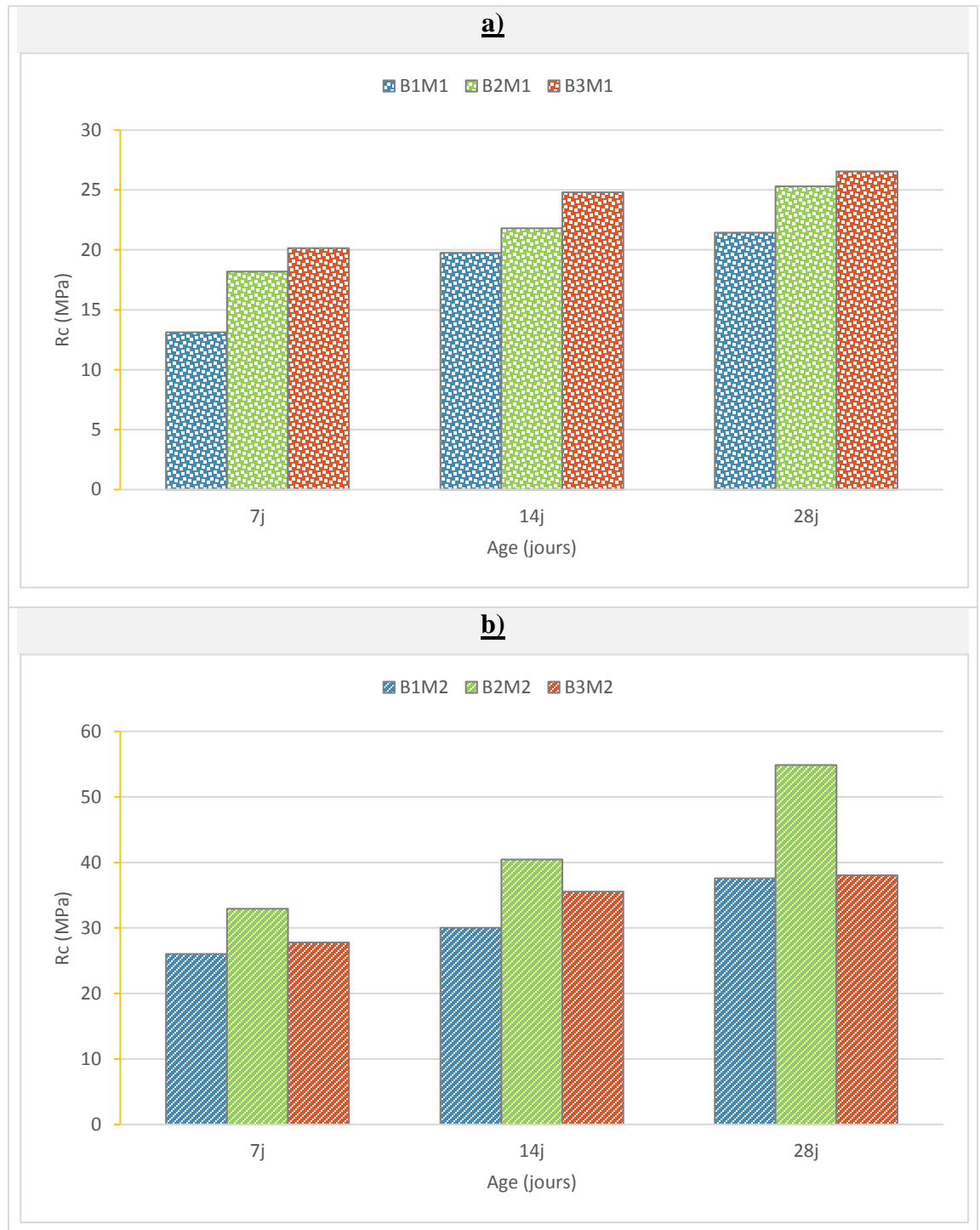
Pour B2 Figure III.6 -b), à l'âge de 7 jours, M2 présente des augmentations de résistance de 22,24 %, 39,43 %, 43,24 % et 44,72 %. À 14 jours, les augmentations sont de 8,19 %, 39,95 %, 45,58 % et 46,11 %. À 28 jours, les augmentations sont de 20,50 %, 32,33 %, 35,63 % et 53,9 %.

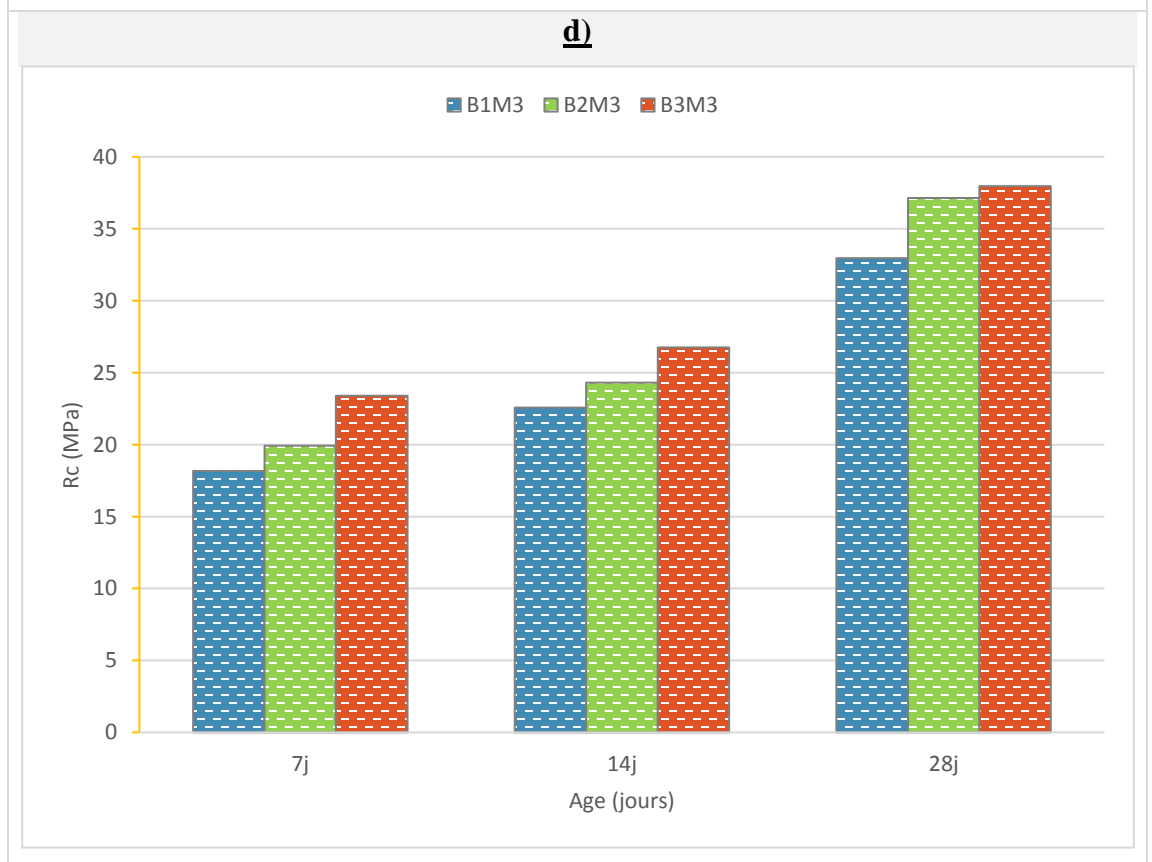
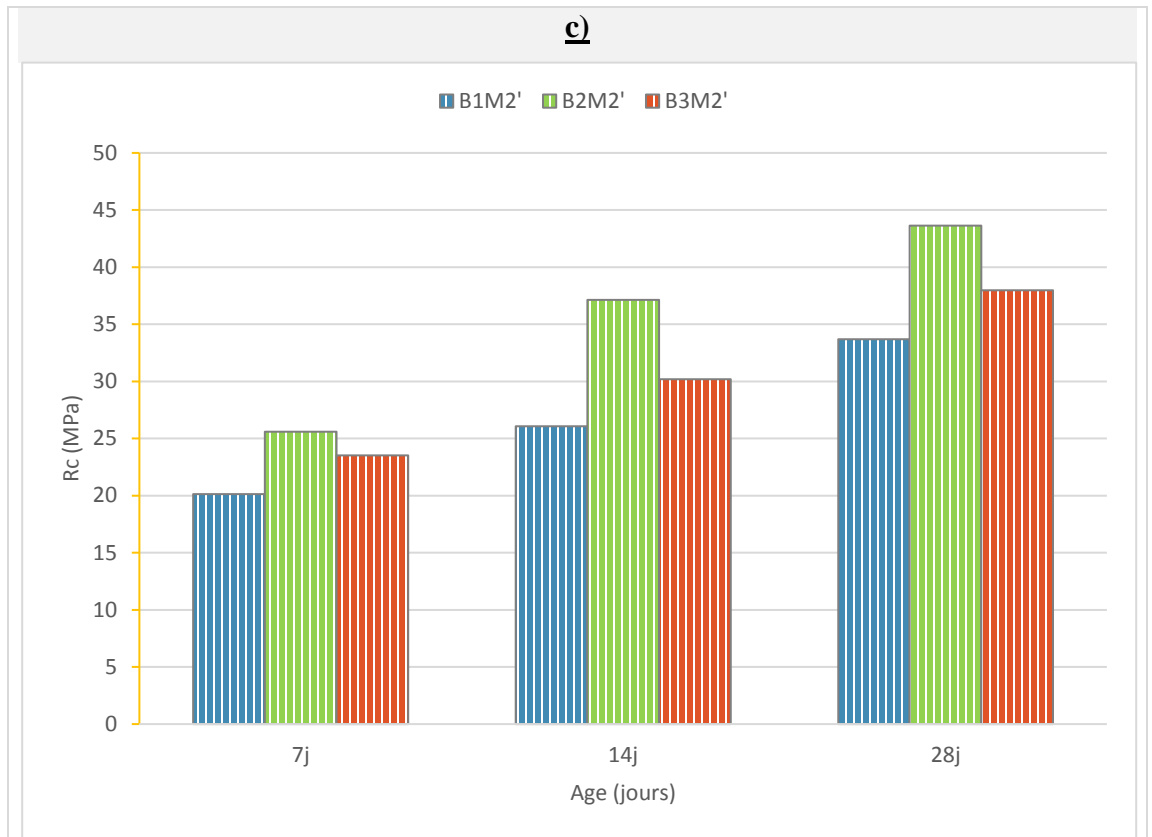
Pour B3 Figure III.6 -c), à l'âge de 7 jours, M2 affiche des augmentations de résistance de 15,23 %, 15,7 %, 24,02 % et 27,41 %. À 14 jours, les augmentations sont de 15,07 %, 24,68 %, 26,82 % et 30,17 %. À 28 jours, les augmentations sont de 1,57 %, 1,58 %, 4,42 % et 31,15 %.

✎ Ces résultats peuvent être attribués au principe fondamental de la méthode M2, qui vise à optimiser la compacité du squelette granulaire dans la formulation des bétons de sable. En favorisant une compacité maximale de l'ensemble de squelette granulaire et fins,

cela conduit à une porosité minimale. Ainsi, ces résultats soulignent l'efficacité de la méthode M2 pour obtenir des résistances mécaniques élevées dans les bétons de sable à base de différents types de sable, B1, B2 et B3, à différents âges de durcissement.

La Figure III.7 a,b,c,d,e) présente la variation de la résistance à la compression ( $R_c$ ) en fonction type de béton aux différents âges.





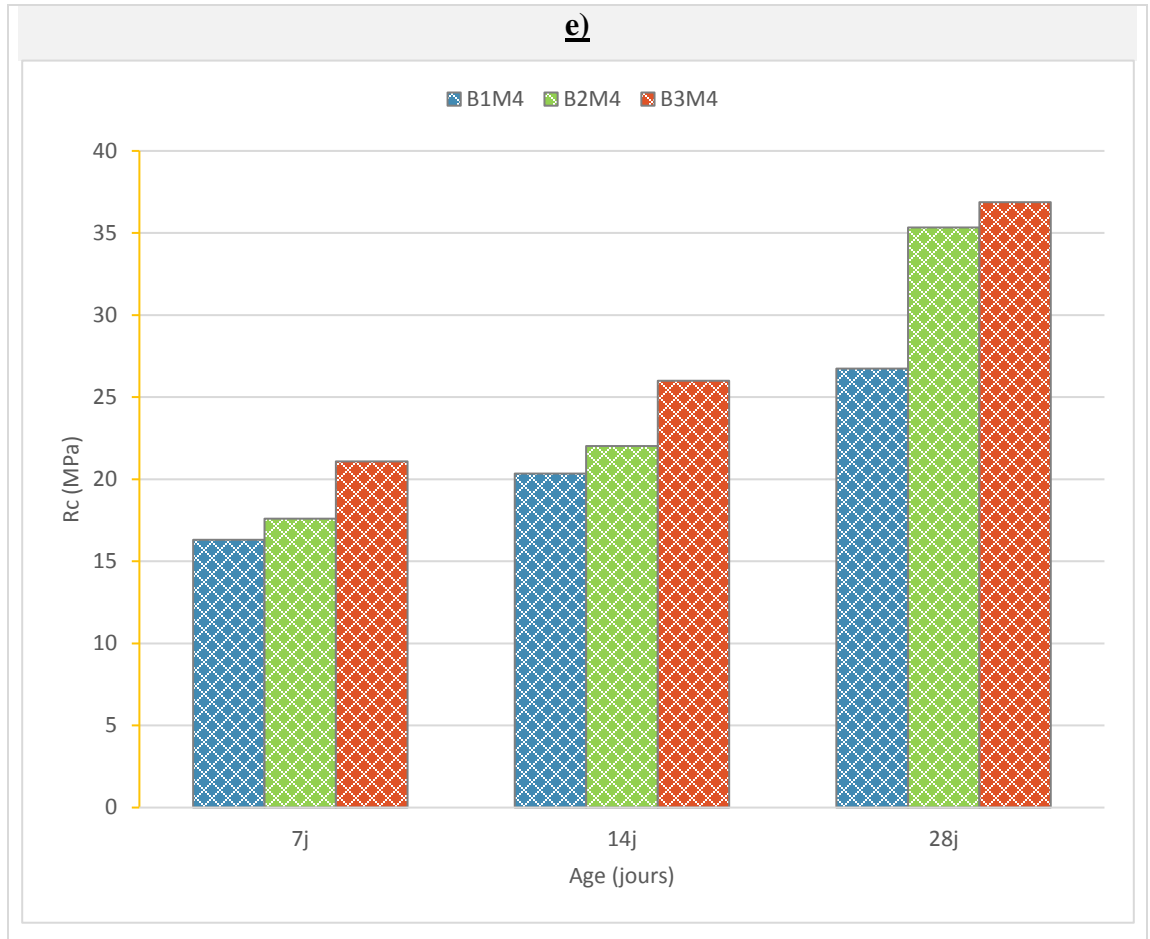


Figure III.7: Variation de la résistance à la compression ( $R_c$ ) en fonction type de béton aux différents âges. a ) -M1, b)M2, c)M2', d)M3 et e)M4.

La Figure III.7, montre que le type de béton a une influence sur la résistance à la compression à différents âges. Le mélange B3 présente la meilleure résistance par rapport aux mélanges B1 et B2 pour les méthodes M1, M3 et M4 à tous les âges testés. Le mélange B3 affiche des améliorations significatives par rapport au B2 et au B1, avec des pourcentages d'amélioration variables selon les âges. Selon la Figure III.7 -e), le mélange B3 maintient son avantage en termes d'augmentation de résistance par rapport aux mélanges B2 et B1, même à l'âge de 28 jours. Cependant, en ce qui concerne les méthodes M2 et M2', le mélange B2 présente la plus grande résistance à la compression parmi les trois mélanges à tous les âges, avec des augmentations significatives par rapport au B3 et au B1, selon les Figure III.7 -b et c) cela suggère que d'autres paramètres, tels que le réarrangement des grains au sein de la pâte de ciment, pourraient être responsables des variations observées, une autre observation intéressante est que le mélange B2, qui contient une proportion supérieure de sable de dunes, présente une capacité notable à

remplir les vides et à minimiser la porosité du béton. Cela conduit à une compacité optimisée donc à une structure solide et résistante.

### III.5. Résultats de la résistance à la traction

La Figure III.8 a,b,c) présente la variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de la méthode de formulation.



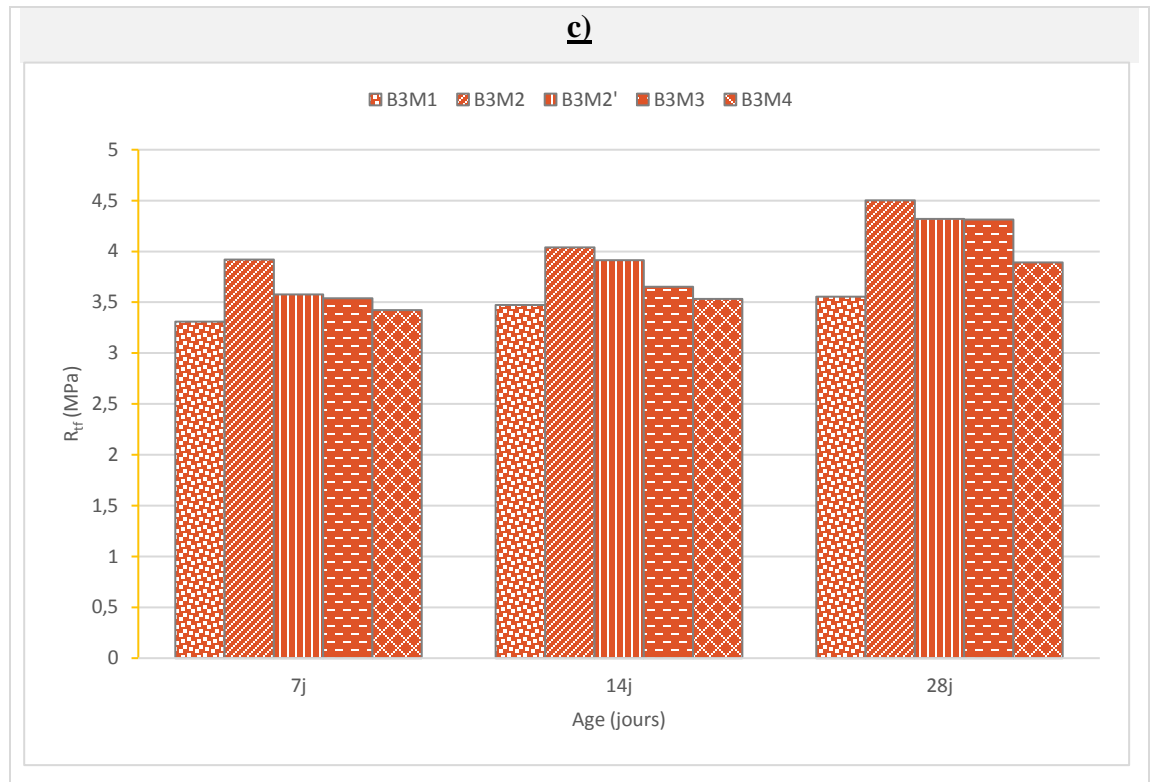
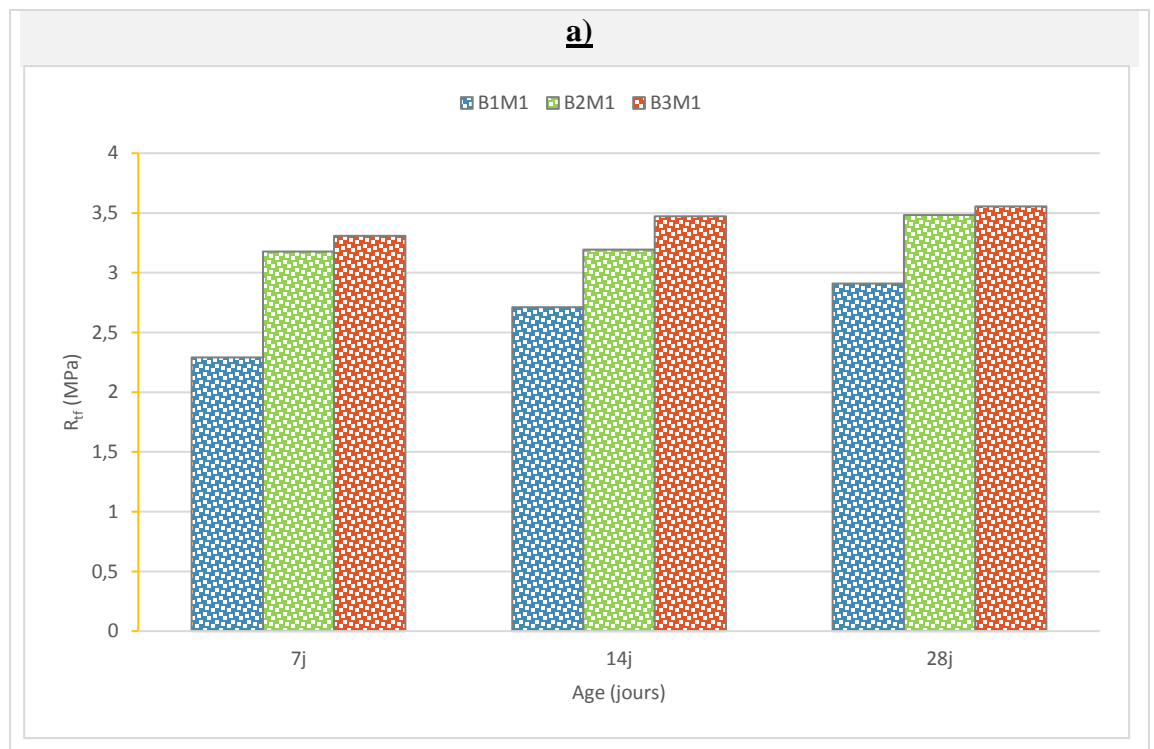
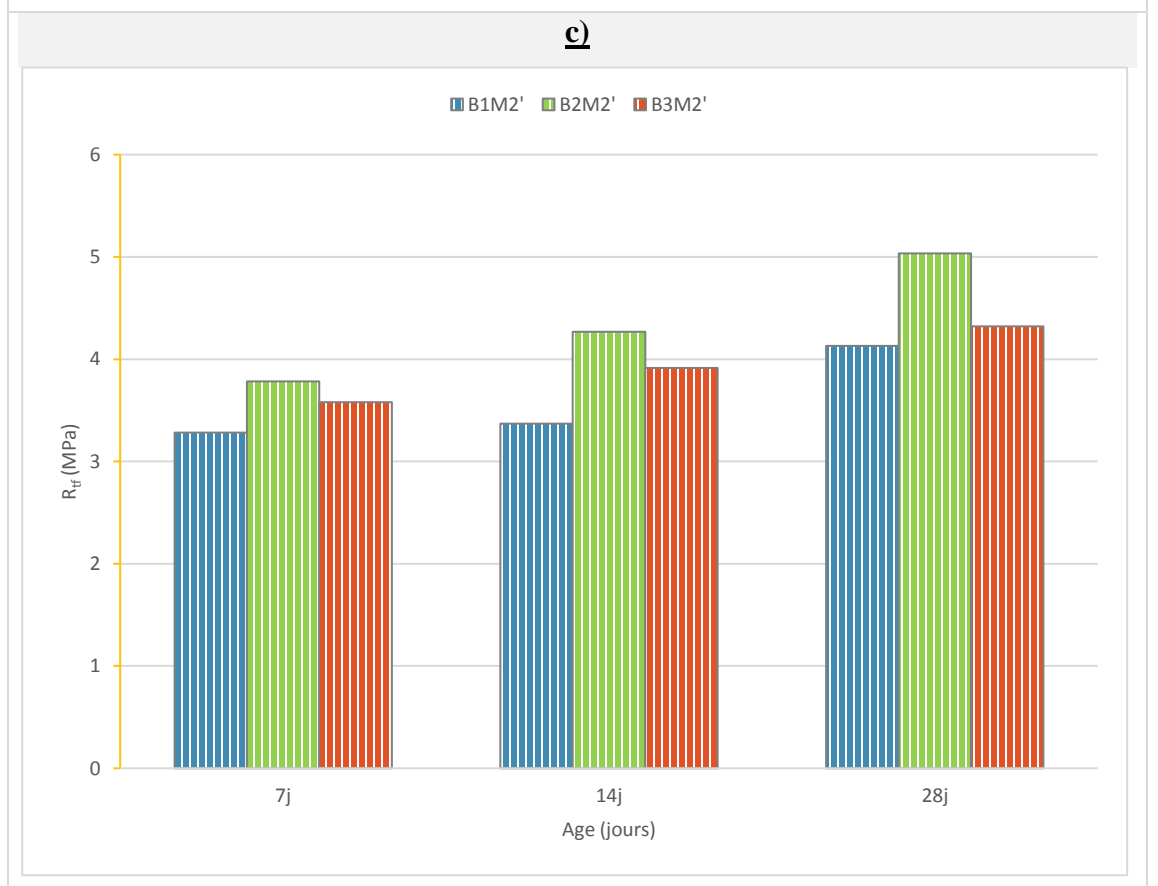
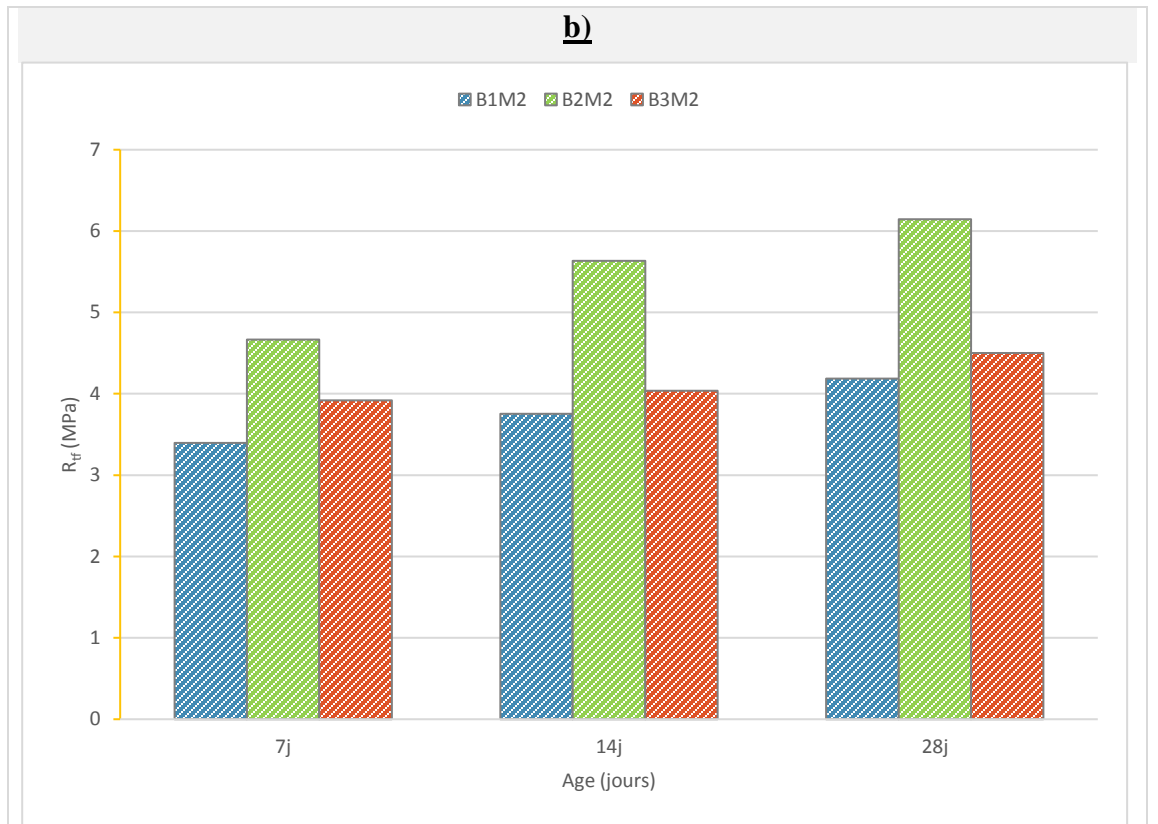


Figure III.8 : Variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de méthode de formulation. a) B1, b) B2, c) B3.

La Figure III.9 a,b,c,d,e) présente la variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton.







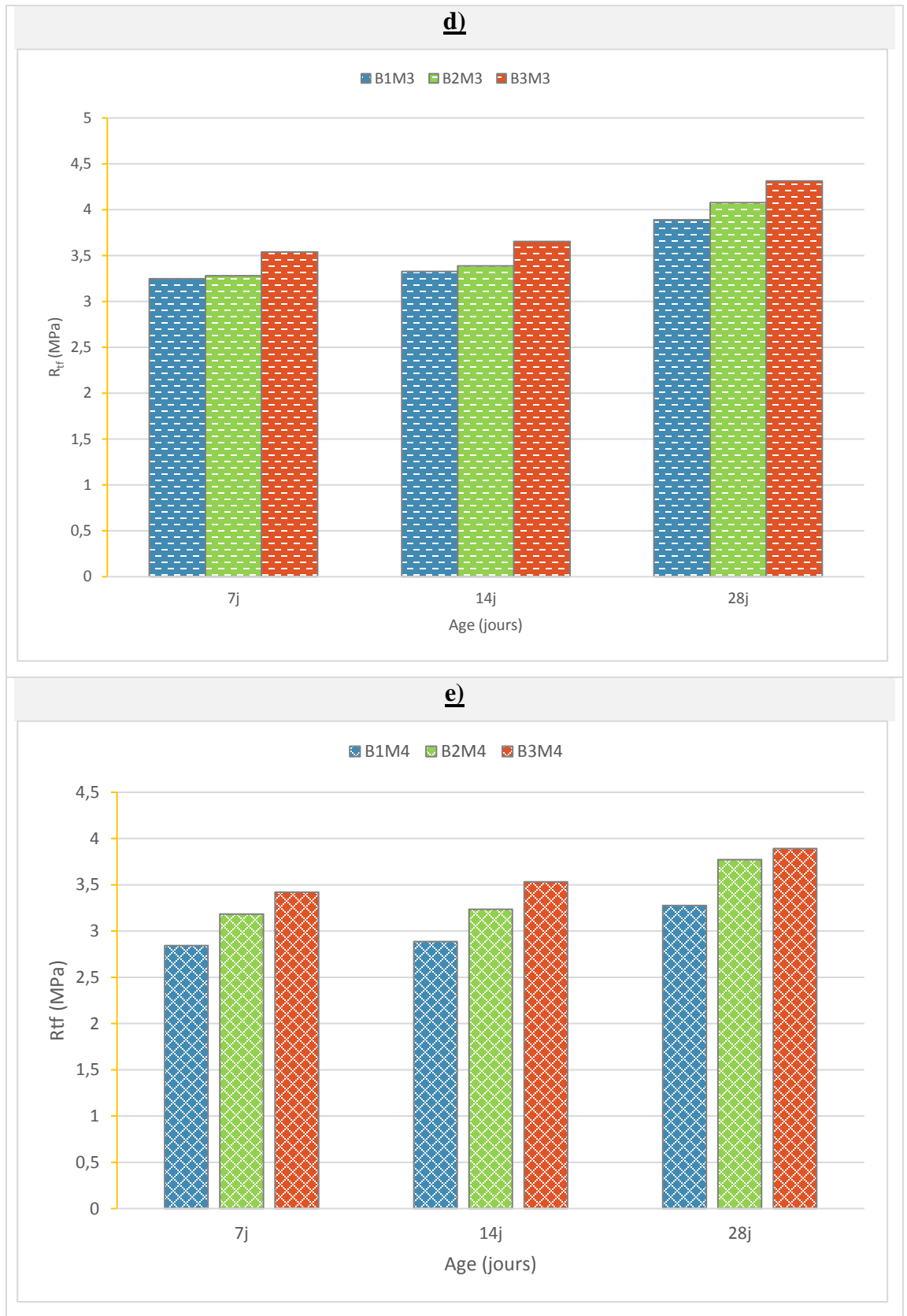


Figure III.9: Variation de la résistance à la traction ( $R_{tf}$ ) des bétons de sable de dunes en fonction de type de béton. a) -M1, b) M2, c) M2', d) M3 et e) M4.

Les résultats de Figure III.8, montre l'influence de la méthode de formulation sur la résistance à la traction du béton à différents âges (7, 14 et 28 jours) ; la supériorité de la méthode M2 en termes de résistances à la traction du béton par rapport à les autres méthodes étudiées M2', M3, M4 et M1 respectivement est clair. La Figure III.8-a montre que, à l'âge de 7 jours, M2 affiche une augmentation de 3,38 %, 4,44 %, 16,33 % et de 32,60 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 14 jours, M2 présente des augmentations de 10,23 %, 11,38 %, 23,11 % et 27,78 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 28 jours, les augmentations sont de 1,40 %, 7,12 %, 21,82 % et 30,55 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. La Figure III.8-b montre que, à l'âge de 7 jours, M2 affiche une augmentation de 18,96 %, 29,71 %, 31,79 % et 31,9 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 14 jours, M2 présente des augmentations de 24,23 %, 39,86 %, 42,57 % et 43,3 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 28 jours, les augmentations sont de 18,06 %, 33,66 %, 38,63 % et 43,31 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. La Figure III.8-c montre que, à l'âge de 7 jours, M2 affiche une augmentation de 8,75%, 9,75 %, 12,74 % et 15,63 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 14 jours, M2 présente des augmentations de 3,10 %, 9,58 %, 12,54 % et 14,05 % par rapport à M2', M3, M4 et M1. À 28 jours, les augmentations sont de 4,05 %, 4,20 %, 13,56 % et 21,02 % par rapport à M2', M3, M4 et M1.

La Figure III.9 présente l'influence du type de béton sur la résistance à la traction à différents âges (7, 14 et 28 jours). Le mélange B3 présente la meilleure résistance à la traction pour les méthodes M1, M3 et M4, tandis que le mélange B2 est le meilleur pour la méthode M2 et M2'. Les mélanges B3 et B2 ont une meilleure résistance à la traction que le B1, mais cela varie selon la méthode de formulation. On observe la relation entre le principe de M2, qui cherche à réduire la porosité du béton, et l'effet positif de la correction granulométrique sur la résistance à la traction des mélanges de béton de type B2 et B3 par rapport au mélange de type B1. Cela peut être interprété par l'efficacité de principe de l'approche théorique SABLOCRETE basée sur la minimisation de la porosité vise à réduire les vides et les espaces entre les grains de sable dans le béton, ce qui peut contribuer à une meilleure compacité et à des propriétés mécaniques améliorées et le réarrangement des grains dans la pâte de ciment ainsi que l'effet du temps de durcissement. Le lien entre la réduction de la porosité et l'amélioration des propriétés mécaniques est étroit. La réduction de la porosité augmente la compacité, réduisant ainsi

les vides et les espaces dans la matrice du béton. Cela conduit à des propriétés mécaniques supérieures, telles qu'une meilleure résistance à la traction.

### III.6. La relation entre la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (V) et la résistance à la compression ( $R_{c28}$ )

La Figure III.10 a,b,c) présente la variation de la résistance à la compression ( $R_{c28}$ ) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (V) en fonction de méthode de formulation.



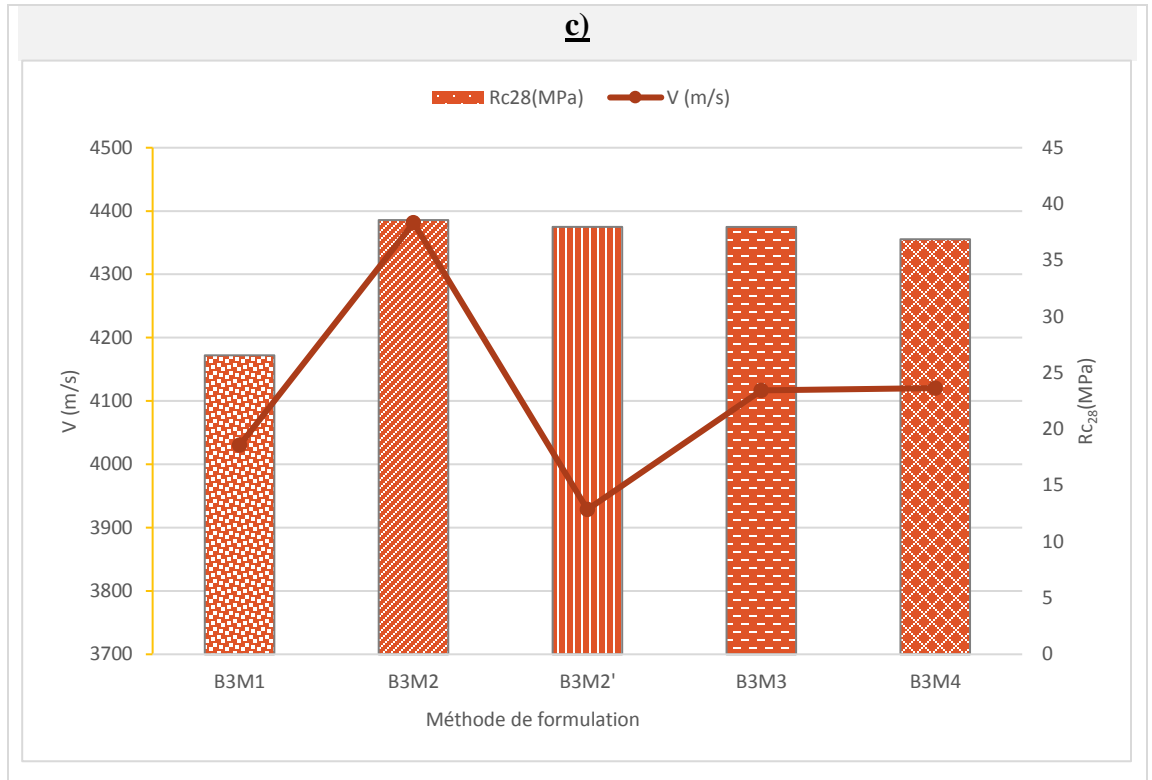
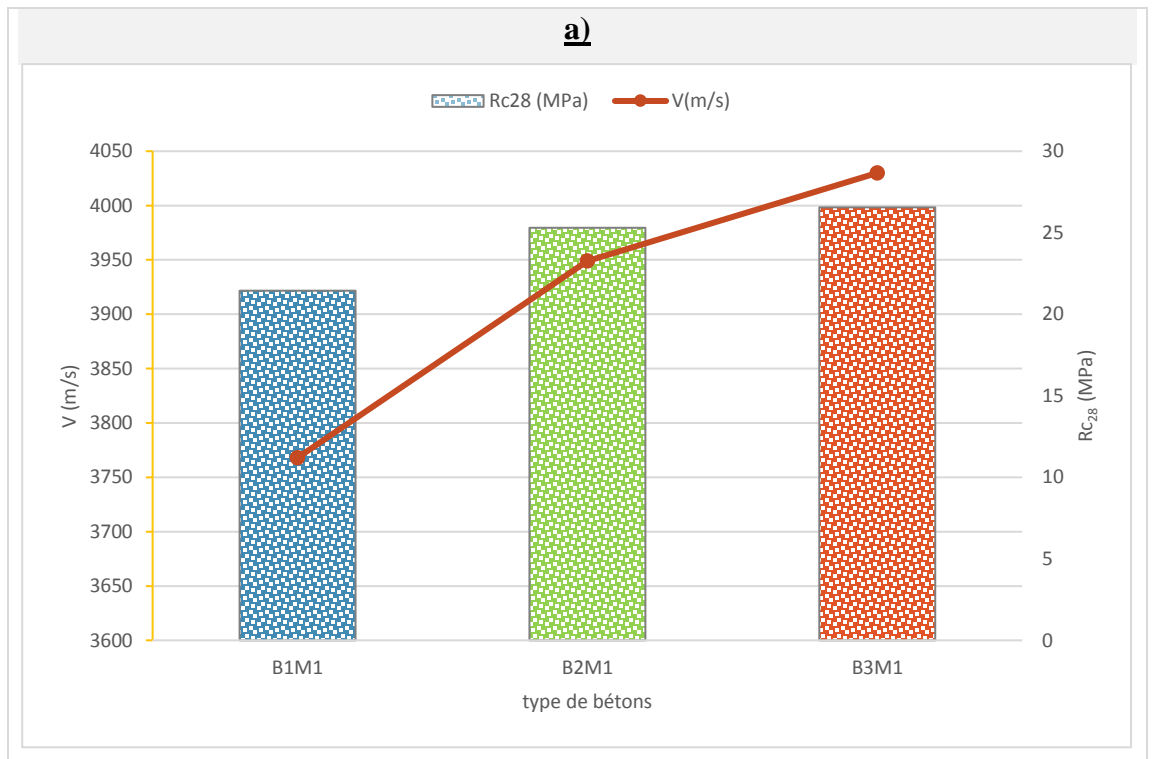
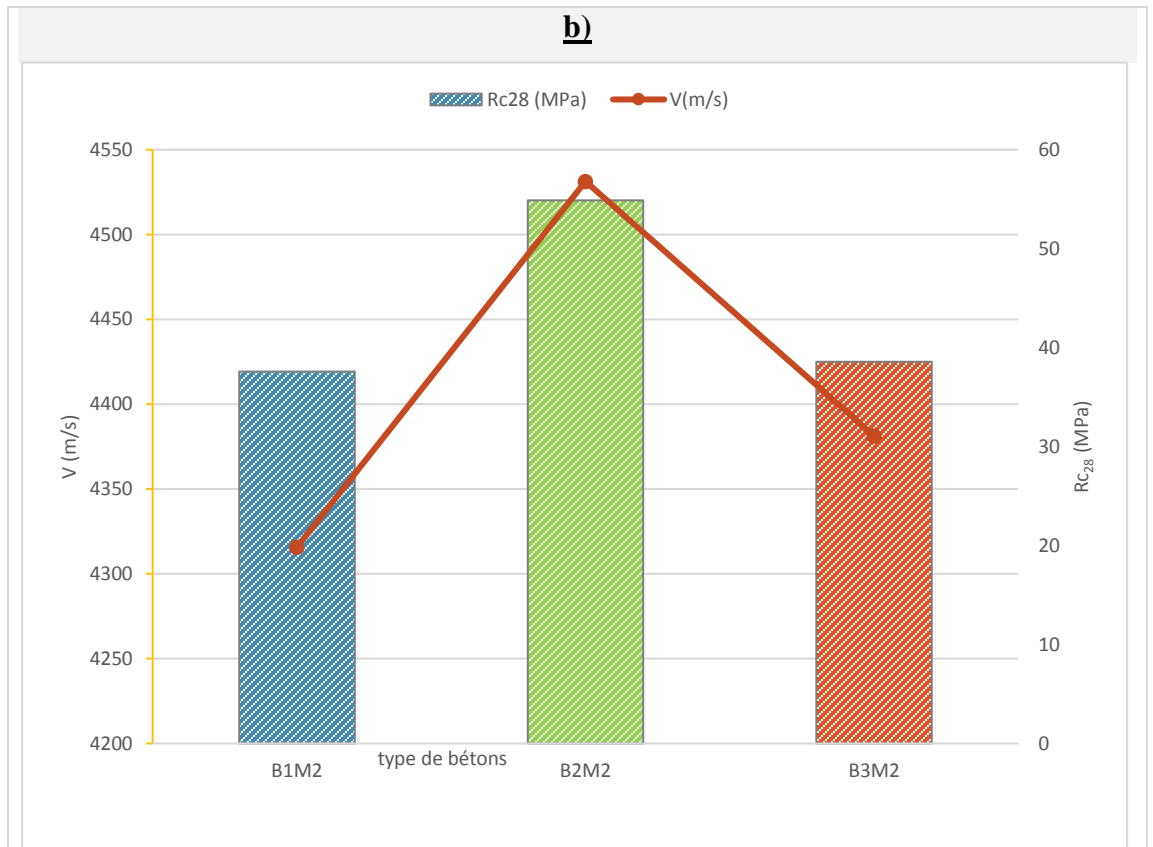


Figure III.10 : Variation de la résistance à la compression ( $R_{c28}$ ) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore ( $V$ ) en fonction de méthode de formulation. a) B1, b) B2, c) B3.

La Figure III.11 a,b,c,d,e) présente la variation de la résistance à la compression ( $R_{c28}$ ) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore ( $V$ ) en fonction de type de béton.





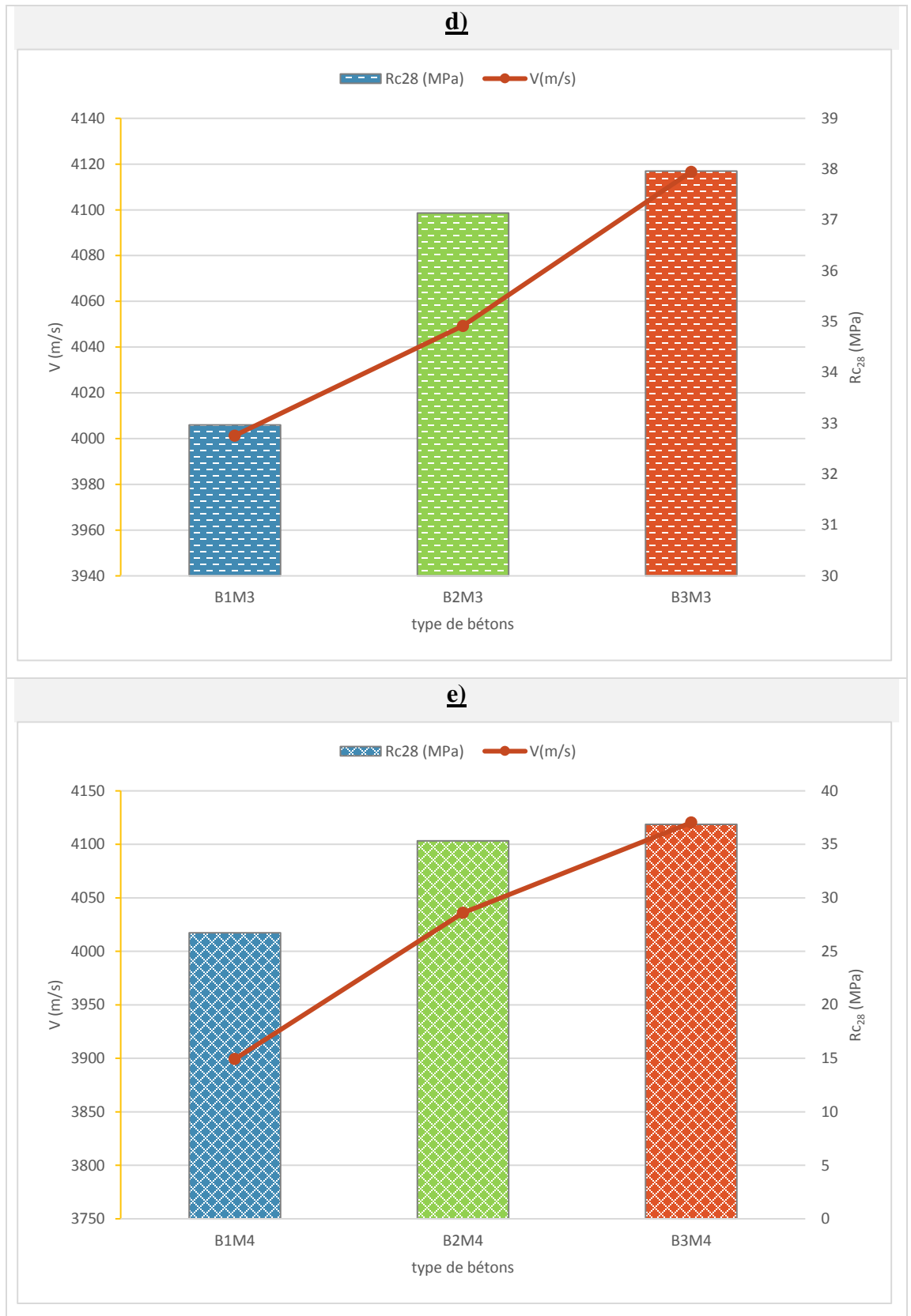


Figure III.11 : Variation de la résistance à la compression (MPa) et la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore (m/s) en fonction de type de béton. a) -M1, b) M2, c) M2', d) M3 et e) M4.

La Figure III.10 et Figure III.11 montrent la relation de corrélation directe entre  $V$  et  $R_{c28}$ , en ce qui concerne les méthodes de formulations et aussi les types de bétons : lorsque la résistance à la compression du béton est élevée, cela indique généralement que le béton est de haute qualité et capable de supporter des charges élevées. Cette résistance est associée à une plus grande densité. En conséquence, les ondes ultrasonores se propagent plus rapidement à travers le béton, ce qui se traduit par une vitesse de propagation de l'onde ultrasonore élevée. Cette corrélation positive suggère que la mesure de la vitesse de propagation de l'onde ultrasonore peut fournir une indication indirecte de la résistance à la compression du béton.

### III.7. Conclusion

Ce chapitre renferme les résultats expérimentaux concernant les différentes méthodes de formulation du béton de sable, dans le but de déterminer si la méthode de formulation a une influence sur la résistance mécanique du béton. Les résultats montrent une grande différence de résistance à la compression à 28 jours entre le béton formulé selon la méthode de mortier normalisé (qui présente les résultats les plus faibles) avec une diminution de l'ordre de 42,96% pour B1, 53,9% pour B2 et 31,15% pour B3, par rapport à la méthode de SABLOCRETE (qui donne les meilleurs résultats de résistance mécanique par rapport aux autres).

---

*Conclusion générale  
et  
Recommandations*

---



## CONCLUSION GENERALE

Ce travail, apporte une contribution dans la connaissance du béton de sable de dunes, il a permis d'ouvrir une porte sur la possibilité de remplacer le béton classique par le béton de sable de dunes sans graviers. Les axes de recherches définies ci-dessus permettront dans un avenir proche aux habitants du sud d'utiliser ce matériau local. L'étude de l'influence des méthodes de formulation des bétons de de sable sur ses caractéristiques mécaniques, a permis de tirer les conclusions suivantes :

- Il n'existe pas de méthode exacte pour calculer la composition d'un béton de sable, ce qui pose des difficultés dans la détermination de sa composition.
- Sur la base des résultats obtenus, deux formules ont été identifiées comme présentant de bons résultats :
  - Il est suggéré d'utiliser la méthode de SABLOCRETE, basée sur une approche théorique, a permis d'obtenir des résistances mécaniques élevées. Cependant, cette méthode nécessite l'ajout de filler pour obtenir une porosité minimale dans le béton.
  - De plus, la méthode de SCRAMTAEIV a également démontré de bons résultats en termes de résistance, tout en permettant des économies sur les composants du béton.
- La correction granulométrique a démontré une amélioration des résistances mécaniques du béton de sable dunaire. Elle joue un rôle clé dans le passage des résultats de type B2 à ceux de type B3. Il est donc recommandé de définir une limite pour l'ajout de correction de sable alluvionnaire
- Il est important de prendre en compte d'autres paramètres de caractérisation du béton pour choisir la meilleure méthode. La caractérisation mécanique, telle que la résistance à la compression et à la traction, ne suffit pas à elle seule.

## RECOMMANDATIONS

Sur la base de ces conclusions, voici quelques recommandations pour optimiser la formulation du béton de sable dunaire et approfondir les connaissances sur ses propriétés :

- En plus des caractéristiques mécaniques, il est essentiel de prendre en compte la durabilité du béton tels que le retrait, le fluage et les fissurations.
- Ajouter des fines telles que la fumée de silice et les fillers de calcaire pour améliorer certaines propriétés du béton et prendre en compte l'aspect économique.
- Explorer différentes proportions de sable de dunes et de sable alluvionnaire, en accordant une attention particulière à l'intervalle de 50% à 60% de sable de dunes pour optimiser les performances mécaniques.
- Utiliser des méthodes spéciales pour faciliter le processus de comparaison des résultats pour sélectionner précisément la meilleure formulation du béton de sable dunaire.

---

*Références  
bibliographiques*

---

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] BENMALEK, Mohamed Larbi. *Contribution à l'étude du béton de sable dunaire pour éléments de structures*. 1993. Thèse de doctorat. Ecole Nationale Polytechnique.
- [2] ZRI, Abdeljalil. *Mise en place d'une nouvelle approche de formulation d'une matrice cimentaire à base de sable de dragage : application aux bétons de sables et granulats*. 2010. Thèse de doctorat. Lille 1.
- [3] AMIRAT, Abdelkarim. *Formulation et comportement d'un béton de sable de dunes pour structures*. 2004. Thèse de doctorat.
- [4] BELFERRAG, Allaoua. *Valorisation des fibres métalliques issues des déchets pneumatiques dans les bétons de sable de dunes*. 2006. Thèse de doctorat. Ouargla, Université Kasdi Merbah. Faculté des Sciences et Sciences de l'Ingénieur.
- [5] SABLOCRETE, Projet. Presse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées. *Béton de sable, Caractéristiques et pratique d'utilisation*. Ed. Association Amicale des Ingénieurs Anciens Elèves de L'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1994.
- [6] KHADI, Ndiaye. *Optimisation des formulations des bétons de sable*. Thèse de doctorat. Université Cheikh Anta Diop.
- [7] GUENOUN, Rachid. *Etude et formulation d'un béton de sable de dune*. 2003. Thèse de doctorat, École Nationale Polytechnique. Alger
- [8] AYACHI, Amor Mohamed. *Etude des propriétés mécaniques du béton de sable de dunes*. Mémoire mastère. Université Ouargla, 2011.
- [9] BENMALEK M.L., DERABLA R., *Elaboration and Characterization of a Concrete formulated with Dune Sand and Industrial By-Products*. Colloque « Sols et Matériaux à Problèmes », 9-11 février 2007. Tunisie.
- [10] GUERMITI, Laid. *Contribution à l'amélioration de certaines caractéristiques du béton de structure à base de sable de dune corrigé et renforcé par des fibres métalliques*. 2013. Thèse de doctorat. Université de Ouargla-Kasdi Merbah.
- [11] GUICIOUER, Djamila. *Caractérisation expérimentale d'un Béton de structure composite hybride*. 2006. Thèse de doctorat. Boumerdes, Université M'Hamed Bougara. Faculté Des Sciences De l'Ingénieur.

- [12] MOHAMED MADANI, Abdelbaki. *Propriétés des micros bétons légers*. 2016. Thèse de doctorat. Université De Mohamed Boudiaf M'sila Faculté De Technologie.
- [13] REFRAFI, Salah. *Influence des ajouts sur les caractéristiques physico-mécaniques des mortiers et des bétons*. 2009. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [14] BENAMRANE, Dounia Zed. *L'effet de la méthode de formulation sur la résistance à la compression du béton*. 2017, Mémoire de Master. Université Kasdi Merbah, Ouargla.
- [15] KHAY, Saloua El Euch, NEJI, Jamel, et LOULIZI, Amara. Compacted dune sand concrete for pavement applications. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials*, 2011, vol. 164, no 2, p. 87-93.
- [16] NF P 18-560. Normes française « *Analyse granulométrique* ». Septembre 1990.
- [17] NF P 18-304. Normes française « *Module de finesse* ».
- [18] NF P 18-555. Normes française « *Mesure des masses volumiques, coefficient d'absorption et teneur en eau des sables* ». Décembre 1990.
- [19] NF P 18-598. Normes française « *Equivalent de sable* ». Octobre 1991.
- [20] NF P 94-068. Normes française « *Mesure de la capacité d'adsorption de bleu de méthylène d'un sol ou d'un matériau rocheux* ». Octobre 1998.
- [21] NF P 15-473. Norme française « *Détermination du temps de prise* ». Aout 1995.
- [22] Norme NF EN « *Analyses chimiques eau de gâchage pour béton* ». Juillet 2003
- [23] BELFERRAG, Allaoua. *Contribution à l'amélioration des propriétés mécaniques et rhéologiques des bétons de sable de dunes*. 2016. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.
- [24] DUPAIN, Raymond, LANCHON, Roger, et SAINT-ARROMAN, Jean-Claude. *Granulats, sols, ciments et bétons : caractérisation des matériaux de génie civil par les essais de laboratoire : terminale STI, Génie civil, BTS Bâtiment, BTS Travaux publics, DUT Génie civil, MST Génie civil, Ecoles d'ingénieurs*. Casteilla, 2000.
- [25] YAGOUB, Mohamed. *Evaluation De La Qualité Du Béton De Fibres In Situ Cas De Béton Autoplaçant Avec Des Fibres Mixtes*. 2009. Thèse de doctorat. Université Mohamed Khider-Biskra.

[26] AHMAD, Jawad, MAJDI, Ali, DEIFALLA, Ahmed Farouk, *et al.* *Concrete Made with Dune Sand: Overview of Fresh, Mechanical and Durability Properties*. *Materials*, 2022, vol. 15, no 17, p. 6152.

---

# *Annexes*

---

## ANNEXES

### ANNEXE 01



# ماتين MATINE

ALGÉRIE



### Ciment portland au Calcaire

NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine Ciment gris pour bétons de haute-performance destiné à la construction des Ouvrages d'Art, infrastructures et superstructures pour bâtiments.

Matine  
NA442 CEM II/B-L 42,5 N

Matine est certifié, conforme à la norme Algérienne (NA442 - 2013) et Européenne (EN 197-1).

#### AVANTAGES PRODUIT

- + Une résistance initiale élevée pour vos ouvrages nécessitant un décoffrage rapide
- + Favorise la maniabilité de béton et le maintien de sa rhéologie
- + Une Classe Vale qui offre une haute performance au béton.
- + Meilleure durabilité du béton.





### APPLICATIONS RECOMMANDÉES

- Construction des Ouvrages d'Art, infrastructure et superstructure pour bâtiments.
- Préfabrication légère
- Béton de haute performance



### FORMULATION CONSEILLÉE

	Ciment	Sable (sec)	Graviers (sec)	Eau (litres)
dosage pour béton C25/30	X 1			25 L

Remarque: un bidon = 10 Litres

### CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES

#### • Analyses chimiques

	Valeur
Perte au feu (%) (NF45042)	100%
Teneur en sulfates (SO <sub>3</sub> ) (%)	2,5%
Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	3,2%
Teneur en chlorures (NF45042) (%)	0,06%

#### • Temps de prise à 20° (NF 2301)

	Valeur
Début de prise (min)	150±50
Fin de prise (min)	230±50

#### • Composition minéralogique du Cément (Bepact)

	Valeur
CSA (%)	60%
CSA' (%)	7,5%

#### • Résistance à la compression

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

#### • Propriétés physiques

	Valeur
Densité Normale (kg/m <sup>3</sup> )	25,5±2,0
Fraction suvante à l'essai de 5 à 20 mm (NF45042)	4,750 - 5,250
Rétract à 28 jours (mm)	≤ 3,000
Expansion (mm)	≤ 3,0

### CONSIGNES DE SÉCURITÉ

1- PROTÉGEZ VOTRE PEAU: Porter les équipements adaptés (cas, chaussures, lunettes, gants, gilet) lors du chargement et déchargement des sacs.

2- MANUTENTION: Lever le sac en évitant les torsions et en gardant le dos droit.



LA FARGE  
LafargeHolcim

©2021 LafargeHolcim. Sac et 10kg

LA FARGE ALGERIE  
Boulevard 101, 166 rue d'Alger, Alger Oranville,  
les Pins méditerranéens, 01000 Annaba, Algérie  
Tél: +33 (0)3 21 98 38 32  
Fax: +33 (0)3 21 92 41 94  
www.lafarge-algerie.com  
algerie@lafarge-algerie.com  
Tél: 02 198 38 38

LA FARGE  
ALGERIE

## ANNEXE 02

### ANALYSES CHIMIQUES EAU DE GÂCHAGE POUR BETON

Norme NF EN 1008 Juillet 2003

Bulletin d'analyse physicochimique N° 00/2023

Client			
Projet			
Lieu de prélèvement	Eau de robinet (Région d'Ouargla)	Dénomination d'échantillon	Eau de gâchage.
Date de prélèvement	-	Date de réception	
Prélèvement fait par :	Client.	Date d'analyse	15/02/2023

Contrôle préliminaire (paragraphe 4.3)		Contamination nocive (paragraphe 4.3.4)		
Examens	Indication	Substance	Concentration maximale (mg/l)	Indication
Indication sur la couleur.	Absence.	Suaves.	100	-
Indication sur l'odeur.	Absence.	Phosphates, exprimés en PO <sub>4</sub> .	100	-
Goût.	Absence.	Nitrites, exprimés en NO <sub>2</sub> .	500	-
Huiles et graisses.	Absence.	Ploomb, exprimé en Pb.	100	-
Détergents.	Absence.	Thal, exprimé en Thal.	100	-
*	~	*	-	*

Paramètres	Résultats d'analyses	Limite Norme NF EN 1008	Interprétation
Sulfates [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ] mg/l méthode d'essai 6.1.1	685	≤ 2000 mg/l	Conforme NF
Chlorures [Cl <sup>-</sup> ] mg/l méthode d'essai 6.1.1	497	Béton précontraint ≤ 900 mg/l	Conforme NF
		Béton armé ≤ 1000 mg/l	Conforme NF
		Béton non armé ≤ 4500	Conforme NF
Alcalins (Na <sub>2</sub> O) méthode d'essai 6.1.3	-	≤ 1.500 mg/l	-
Matières humiques méthode d'essai 6.1.2	Absence	Test de coloration	Conforme NF
pH méthode d'essai 6.1.1	7,43	5 ≤ pH ≤ 8,5	Conforme NF
Sulfure test method 6.1.1	Absence	Indication de couleur	Conforme NF
Nitrate [NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> ] test method 4.3.4	Absence	≤ 500 mg/l	Conforme NF

**Interprétation :** Eau conforme pour tous type de béton.

**Cochet et Associés**

