REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Développement d'un nouveaux composite cimentaire écologique à base de déchet végétale

---

Présenté par :

M^elle^. **ABDENNEBI BESMA**

M^elle^. **FORTAS AMIRA**

Proposé et Dirigé par :

Dr. Boukhelkhal Djamila

Promotion Juin 2023

Remerciements

Tout d'abord, nous tiens à remercier ALLAH, le clément et le miséricordieux de m'avoir donné la force et le courage de mener à bien ce modeste travail.

Ce n'est pas qu'il est difficile de remercier tous ceux qui ont participé de près nous de loin à ce travail, mais il faut avouer que les formules sont nombreuses que le choix des bons mots a été toujours difficile. Entre vifs sincères, profonds et nous passons les obscures subtilités de la langue française le choix de la formule de remerciements est difficile. Nous tenons à remercier.

Notre encadreur Madame ***Boukhelkhal Djamila*** d'avoir accepté de nous encadrer. Pour l'honneur qu'il m'a fait d'encadrer ce travail, pour sa disponibilité, pour son écoute, pour l'aide très préciese et l'intérêt constant qu'il a bien voulu montrer pour ce travail qu'il a guidé par de judicieux conseils, qui a bien su me communiquer pour mener au mieux cette étude.

Une grande merci à monsieur **Hadjdj Moussa** pour son aide pratique et son soutien moral et son encouragement.

Je remercie très chaleureusement mes parents, mes sœurs, mes frères, et tous mes collègues.

Une grande merci est adressée à tous les ingénieurs et les travailleurs du hall technologique.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de près ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

BESMA / AMIRA

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.
Particulièrement :

À ma chère mère **FATMA** qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde

A mon cher **ALI** père qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager

À tous mes frères et sœurs

À toute LA famille **ABDENNEBI**

À tous mes amis et collègues

Tous ceux que j'aime

Mon marié « **ILAYES** »

ABDENNE BESMA

Dédicace

Je dédie ce travail

A ma famille, elle qui m'a doté d'une éducation digne, son amour a fait de moi ce que je suis aujourd'hui.
Particulièrement :

À ma chère mère **OUM EL KHIR** Qui m'a entouré d'amour, d'affection et qui fait tout pour ma réussite, que dieu la garde

A mon cher **MOHAMED** père qui a toujours été à mes côtés pour me soutenir et m'encourager

À tous mes frères et sœurs

À toute LA famille **FORTAS**

À tous mes amis et collègues

Tous ceux que j'aime

Mon marié « **MOHAMED**

FORTAS AMIRA

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين وإعادة تحويل النفايات العضوية (نواة الزيتون ونواة التمر)، في انتاج الخرسانة الرملية السائلة بنسب مختلفة من استبدال الرمل الطبيعي (10، 20، 30، 40 و50٪ لنواة التمر و10، 20 و30، 40٪ لنواة الزيتون). من أجل تحسين الالتصاق بين والملاط والركام النباتي، سلطت الدراسة الضوء أيضًا على تأثير طريقتين للمعالجة (هيدروكسيد الصوديوم والملاط الإسمنتي) لهذه الركام على الخصائص المدروسة للخرسانة الرملية السائلة. تمت دراسة خصائص الخرسانة المنتجة في الحالة الرطبة وفي الحالة المتصلبة. أظهرت النتائج المتحصل عليها أن النفايات العضوية المدمجة (نوى التمر ونوى الزيتون) تقلل من قابلية الميوعة ، الكثافة وقوة الانضغاط الخرسانة الرملية السائلة. بالمقابل تم تحسين الخصائص الحرارية بشكل كبير بإضافة هذه النفايات العضوية. لذلك يمكننا الحصول على مواد بناء جديدة عازلة باستطاعتنا استخدامها في الطرق المختلفة للبناء.

الكلمات المفتاحية: النفايات,نواة الزيتون,نواة التمر,الخرسانة الرملية السائلة.

Résumé

L'objectif principal de cette étude est de contribuer à la valorisation et au recyclage des déchets organiques (noyaux d'olive et noyaux de datte), dans la production du béton de sable fluide (BSF) avec déférents pourcentages de substitution du sable naturel (10, 20, 30, 40 et 50% pour les noyaux noyau de datte, et 10, 20, 30 et 40% pour les noyaux d'olive). Afin d'améliorer l'adhérence entre la pâte du ciment les granulats végétaux, l'étude a mis en évidence aussi l'effet de deux modes de traitement (NaOH et coulis de ciment) de ces granulats sur les caractéristiques étudiées du BSF. Les propriétés des bétons élaborés à l'état frais et durci ont été étudiées. Les résultats obtenus montrent que les déchets organiques incorporés (noyaux de datte et noyaux d'olive) ont diminué la maniabilité, la densité et la résistance à la compression des BSF. Par ailleurs, les propriétés thermiques sont fortement améliorées avec l'ajout de ces déchets. Donc, il est possible d'obtenir des nouveaux matériaux de construction isolants susceptibles d'être utilisés dans les différentes voies de construction.

Mots clés : déchets, noyaux d'olive ,noyaux datte, déton de sable fluide.

Abstract

The main objective of this study is to contribute to recovery and recycling of organic waste (olive and date cores), in the production of fluid sand concrete (FSC) with different percentages of substitution of natural sand (10, 20, 30, 40 and 50% for date cores, and 10, 20, 30 and 40% for olive cores). In order to improve the adhesion between the cement paste and the organic aggregates, the study also highlighted the effect of two treatment methods (NaOH and cement grout) of these aggregates on the studied FSC characteristics. The characteristics of the produced concretes in the fresh and hardened state were studied. The obtained results show that the incorporation of organic wastes (date cores and olive cores) decreased the workability, density and compressive strength of BSF. Furthermore, the thermal properties are greatly improved with the addition of this waste. Therefore, it is possible to obtain new insulating building materials that can be used in different construction ways.

Sommaire

LISTES DES FIGURES

LISTE DE TABLEAU

Notations Et Abréviations

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE 1 : SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. INTRODUCTION 3
1.2. LE BETON DE SABLE 3
1.2.1. Définition 3
1.2.2. Historique 4
1.2.3. Les composants du béton de sable 4
1.2.3.1. Les sables 4
1.2.3.2. Les fines d'ajout (ou addition) 5
1.2.3.3. Les ciments 9
1.2.3.4. L'eau de gâchage 9
1.2.3.5. Les adjuvants 9
1.2.4. Formulation du béton de sable 11
1.2.4.1. Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable 11
1.2.5. Propriétés essentielles du béton de sable 19
1.2.5.1. Granulométrie et maniabilité 19
1.2.5.2. Granulométrie et résistance 19
1.2.5.3. Propriétés spécifiques 21
1.3. Bétons de sable fluides 24
1.4. RECYCLAGE DES DECHETS DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES …. 26
1.4.1. Introduction 26
1.4.2. Origine de la production de déchets 26
1.4.3. Différents types de déchets 26
1.4.4. Législation européenne relative aux déchets 28
1.4.5. Recyclage 28
1.4.5.1. Définition de recyclage 28
1.4.5.2. Compostage 29
1.4.5.3. La chaîne du recyclage 29
1.4.5.4. Récupération et recyclage 30
1.4.5.5. Compostage 30
1.4.5.6. Valorisations des déchets organiques 31

1.5. Utilisation des résides végétaux dans le domaine de génie civil.....31

1.5.1. Introduction..... 31
1.5.2. Noyau d'olive..... 31
1.5.2.1. Définition..... 32
1.5.2.2. Caractéristiques des noyaux d'olive 32
1.5.3. Influence de noyau d'olive sur le comportement des matériaux à base cimentaires …33
1.5.4. Noyau datte 34
1.5.4.1. Définition..... 34
1.5.4.2. Caractéristiques des noyaux de dattes..... 35
1.5.4.3. Domaine utilisé de noyau de dattes..... 35
1.6. Conclusion 36

CHAPITRE 2 : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET METHODES D'ESSAIS

2.1. INTRODUCTION 37
2.2. Caractérisation des matériaux utilisés 37
2.2.1. Le ciment 37
2.2.2. Les fillers (poudre de marbre) 38
2.2.3. Le sable 39
2.2.4. Les Résidus végétaux..... 41
2.2.4.1. Noyaux d'olive 41
2.2.4.2. Noyaux de datte 43
2.2.5. L'eau de gâchage..... 46
2.2.6. Adjuvant 46
2.3. Traitement des granulats végétaux 47
2.3.1. Traitement par l'hydroxyde de sodium NaOH 47
2.3.2. Traitement par le coulis de ciment 48
2.4. Formulation du béton 48
2.5. Malaxage des mélanges 50
2.6. Les essais réalisés sur les différents mélanges (BSF) 51
2.6.1. Etat frais 51
2.6.1.1. Essais d'étalement au mini-cône 51
2.6.1.2. Densité 52
2.6.2. Confection, démoulage et conservation des éprouvettes 52
2.6.3. Etat durci..... 53
2.6.3.1. Essai de la résistance à la compression 53
2.6.3.2. Essai de Vitesse ultrasonique 54
2.6.3.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité 55

2.6.3.4. Porosité accessible à l'eau..... 56
2.6.3.5. Les propriétés thermiques 57
2.7. Conclusion……60

CHAPITRE 3 : RESULTATS ET DISCUTIONS

3.1. INTRODUCTION 61
3.2. FORMULATION DES MÉLANGES..... 61
3.2.1. Détermination du rapport SP/C 61
3.2.2. Compositions des différents bétons de sable fluides à base des granulats végétaux ...65
3.3. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT FRAIS 68
3.3.1. Besoin en adjuvant (superplastifiant)..... 68
3.3.1.1. BSF à base des noyaux d'olive 68
3.3.1.2. BSF à base des noyaux de datte 69
3.3.2. La densité fraiche..... 69
3.3.2.1. BSF à base des noyaux d'olive 70
3.3.2.2. BSF à base des noyaux de datte 71
3.4. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT DURCI 71
3.4.1. La densité sèche..... 71
3.4.1.1. BSF à base des noyaux de datte 72
3.4.1.2. BSF à base des noyaux d'olive 73
3.4.2. Résistance à la compression 73
3.4.2.1. BSF à base des noyaux de datte 73
3.4.2.2. BSF à base des noyaux d'olive 75
3.4.3. La vitesse ultrasonique 77
3.4.3.1. BSF à base des noyaux de datte 77
3.4.3.2. BSF à base des noyaux d'olive 78
3.4.4. Porosité accessible à l'eau 79
3.4.4.1. BSF à base des noyaux de datte 79
3.4.4.2. BSF à base des noyaux d'olive 80
3.4.5. L'absorption d'eau par capillarite..... 81
3.4.5.1. BSF à base des noyaux de datte 81
3.4.5.2. BSF à base des noyaux d'olive 82
3.4.6. La conductivité thermique..... 83
3.4.6.1. BSF à base des noyaux de datte 83
3.4.6.2. BSF à base des noyaux d'olive 84
3.5. CONCLUSION 85

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions générales..... 86

Références Bibliographiques

Références bibliographiques 87

Annexe

Annexe 90

LISTE DE TABLEAU

LISTE DE TABLEAU

Tableau1.1	Relation entre le $Dmax$ et le dosage minimal en ciment	**Page 6**
Tableau1.2	Les types d'adjuvants et leurs fonctions	**Page10**
Tableau2.1	Composition chimique et minéralogique du ciment utilisé	**Page 38**
Tableau2.2	Propriétés physiques de la poudre de marbre	**Page 39**
Tableau2.3	Caractéristiques physiques du sable utilisé	**Page 41**
Tableau2.4	Composition chimique des noyaux d'olive utilisés	**Page 43**
Tableau2.5	Composition chimique des noyaux de datte utilisés	**Page 45**
Tableau2.6	Caractéristiques physiques des résidus végétaux utilisés	**Page 45**
Tableau3.1	Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en super plastifiant du béton de sable fluide témoin	**Page 62**
Tableau3.2	Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux	**Page 63**
Tableau3.3	Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux traités par le NaOH	**Page 64**
Tableau3.4	Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux traités par coulis de ciment	**Page 65**
Tableau3.5	Différentes compositions du BSF à base des noyaux d'olive	**Page 66**
Tableau3.6	Différentes compositions du BSF à base des noyaux de dattes	**Page 66**
Tableau3.7	Différentes compositions du BSF à base des noyaux de dattes traités par le NaOH	**Page 66**
Tableau3.8	Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange noyau d'olive de traitées par le NaOH	**Page 67**
Tableau3.9	Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange Noyau dattes et coulage de ciment	**Page 67**
Tableau3.10	Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange noyau d'olive et coulage de ciment	**Page 67**

Listes des Figures

Listes des Figures

Figure 1.1.	Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel	**Page 4**
Figure 1.2.	Fines anguleuses	**Page 6**
Figure 1.3.	Fines sphériques	**Page 7**
Figure 1.4.	Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines	**Page 13**
Figure 1.5.	Le béton de sable en projection	**Page 14**
Figure 1.6.	Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable	**Page 14**
Figure1.7.	Latino entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée	**Page 15**
Figure 1.8.	Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle).	**Page 17**
Figure 1.9.	Organigramme de la méthode théorique	**Page 18**
Figure 1.10.	Effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance	**Page 19**
Figure 1.11.	Influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance	**Page 20**
Figure 1.12.	Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation	**Page 21**
Figure 1.13.	Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures	**Page 22**
Figure 1.14.	Eprouvettes non vibrées, non piquées	**Page 24**
Figure 1.15.	Le cycle du recyclage	**Page 29**
Figure 1.16.	Processus de valorisation organique	**Page 31**
Figure 1.17.	Noyau d'olive	**Page 32**
Figure 1.18.	La force de compression par rapport au pourcentage de cendres de déchets d'olive (OWA)	**Page 34**
Figure 1.19.	Noyau datte.	**Page 35**
Figure 2.1.	Ciment MATINE utilisé	**Page 38**
Figure 2.2.	Poudre de marbre	**Page 39**
Figure 2.3.	Sable d'Oued-Souf utilisé	**Page 40**
Figure 2.4.	Analyse FTR du sable utilisé	**Page 40**

Listes des Figures

Figure 2.5.	Noyaux d'olives concassés	**Page 42**
Figure 2.6.	Analyse FTR des noyaux d'olives concassés	**Page 42**
Figure 2.7.	Noyaux de dattes utilisés	**Page 48**
Figure 2.8.	Analyse FTR des noyaux de dattes concassés utilisées	**Page 48**
Figure 2.9.	Courbe granulométrique du sable naturel et déchets végétaux utilisé	**Page 45**
Figure 2.10.	Superplastifiant utilisé	**Page 47**
Figure 2.11.	Le traitement des granulats végétaux par la NaOH.	**Page 48**
Figure 2.12.	Procédure de malaxage au laboratoire	**Page 50**
Figure 2.13.	Séquence de malaxage du béton de sable fluide	**Page 51**
Figure 2.14.	Etapes de l'essai d'étalement	**Page 51**
Figure 2.15.	Mesure de la densité du béton	**Page 52**
Figure 2.16.	Conservation des éprouvettes	**Page 53**
Figure 2.17.	Essai de compression sur éprouvette béton	**Page 54**
Figure 2.18.	Mesure de la vitesse ultrasonique.	**Page 55**
Figure 2.19.	Essai d'absorption d'eau par capillarité	**Page 56**
Figure 2.20.	Essai de porosité accessible à l'eau	**Page 57**
Figure 2.21	L'essai de conductivité thermique par CT-mètre	**Page 58**
Figure 2.22.	Protocole expérimentale adoptés à états frais et durci.	**Page 59**
Figure 3.1.	Développement de l'essai d'étalement	**Page 62**
Figure 3.2.	Besoin en adjuvant en % pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.	**Page 68**
Figure3.3.	Besoin en adjuvant en % pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 69**
Figure3.4.	La densité apparente en (kg/m^3) des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive	**Page 70**
Figure3.5.	La densité apparente en (kg/m^3) des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 71**
Figure3.6.	La densité à l'état durci des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 72**

Listes des Figures

Figure3.7.	La densité à l'état durci des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.	**Page 73**
Figure3.8.	La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte à l'âge de 7 jours.	**Page 74**
Figure3.9.	La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte à l'âge de 28 jours.	**Page 74**
Figure3.10.	La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive à l'âge de 7 jours.	**Page 75**
Figure3.11.	La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive à l'âge de 28 jours.	**Page 76**
Figure3.12.	La vitesse ultrasonique des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 77**
Figure3.13.	La vitesse ultrasonique des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.	**Page 78**
Figure 3.14.	Porosité accessible à l'eau des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 79**
Figure 3.15.	Porosité accessible à l'eau des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive	**Page 80**
Figure 3.16.	L'absorption d'eau par capillarite des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.	**Page 81**
Figure 3.17.	L'absorption d'eau par capillarite des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.	**Page 82**
Figure 3.18.	La conductivité thermique des bétons de sable fluides à base de noyaux de datte	**Page 83**
Figure 3.19.	La conductivité thermique des bétons de sable fluides à base de noyaux d'olive.	**Page 84**
Figure A.1	Fiche technique du ciment MATINE	**Page 90**
Figure A.2	fiche technique d'adjuvante utilisé	**Page 92**

Listes des Figures

Figure A.3	Tamiseuse électrique.	**Page 93**
Figure A.4	Malaxeur.	**Page 93**
Figure A.5	Los Angeles	**Page 93**
Figure A.6	Les éprouvettes avant l'écrasement	**Page 93**
Figure A.7	broyage par broyeur	**Page 94**
Figure A.8	l'essai d'étalement	**Page 94**

Notations Et Abréviations

BSF	Béton de sable fluide
BSFT	Béton de sable fluide témoin
NO	Noyau d'olive
ND	Noyau de datte
RC	Résistance à la compression
SP	Superplastifiant
Mf	Module de finesse
CPA CEM I 42.5	Ciment Portland ordinaire de Classe 42,5
PF	Phénoplastes
Mgo	Magnésium
C_3S	Silicate tricalcique (alite)
C_2S	Silicate bi calcique (belite)
C_3A	Aluminate tricalcique
C_4AF	Aluminate-ferrite tétra calcique
A	Section de l'éprouvette (m^2)
ε	Porosité totale (%)
ΔL	Variation de longueur par apport à la longueur origine
L0	Longueur de base, prise égale à 160mm
λ	Conductivité thermique (W/m°C)
Mair	La masse d'éprouvette imbibée pesé dans l'air
Msec	La masse d'éprouvette sec
Meau	La masse d'éprouvette immergée dans l'eau
b	Côte de l'éprouvette
Fc	Charge de rupture en (N)

Introduction générale

Introduction générale

L'urgence des problèmes environnementaux implique de multiples changements dans tous les secteurs de l'économie. Le secteur du bâtiment classé parmi les premiers consommateurs d'énergie. En Algérie, ce secteur est responsable de 25% des émissions de gaz à effet de serre. Il s'agit également du secteur le plus énergivore à l'échelle nationale avec 46% de la consommation énergétique du pays. La réglementation thermique, qui a pour objectif de limiter la consommation d'énergie des bâtiments pendant leur utilisation, va fortement se durcir dans les années à venir. Dans une approche de développement durable et de limitation du réchauffement climatique, les **problématiques d'économies d'énergie et de réduction des gaz à effet de serre** apparaissent aujourd'hui comme récurrentes.

Dans ce cadre, le secteur du bâtiment doit œuvrer à une conversion de ses pratiques constructives pour améliorer la performance énergétique des bâtiments neufs et existants mais également pour proposer des matériaux innovants qui répondent aux nouvelles exigences des utilisateurs et des législations en termes d'impact environnemental et sanitaire, et de confort.

Après la recherche d'une amélioration de la résistance et de la durabilité des matériaux de construction, une étape supplémentaire est franchie avec les bétons fluides. Les bétons fluides sont des bétons spéciaux, qui se mettent en place et se serrent sous le seul effet de la gravité, donc sans apport de vibration interne ou externe, même dans les coffrages les plus ferraillés. Ces bétons ne sont évidemment qualifiés fluide et acceptable, que si le matériau final présente des propriétés homogènes. Parmi ces bétons on distingue le béton de sable fluide qui répond aux besoins de performance et de productivité des chantiers de construction ainsi qu'à la qualité et à la durabilité des travaux. Ce béton s'est avéré d'une grande importance dans certaines conditions d'utilisation telles que: absence de vibrations, difficulté d'accès aux zones de formes complexes et la nécessité de pomper le béton sur de longues distances.

Le transit des déchets est un problème grave en raison de leur âge. Parmi ces déchets se trouvent les déchets organiques. Depuis ces vingt dernières années, les déchets organiques représentent une part importante des déchets solides municipaux qui posent un sérieux problème à cause de leur nature voyants. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Parmi ces déchets on distingue les déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte).

Dans ce cadre, ce travail consiste à utiliser les résidus de noyaux d'olive et noyaux de datte après avoir été écrasés, séchés, puis incorporés dans la matrice du béton de sable fluide en remplaçant le volume du sable par des pourcentages différents (10, 20, 30, 40 et 50%). Afin d'atteindre nos objectifs, le travail présenté suit une approche pas à pas centrée sur les trois chapitres suivants :

- ✓ Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les notions fondamentales des bétons de sable fluide (définitions, constituants, méthodes de formulations, caractéristiques, utilisation ...etc.), puis on a fait une présentation sur la valorisation des déchets en général. Finalement une appréciation sur l'influence de la valorisation des résidus de noyaux d'olive et noyaux de datte sur les caractéristiques des matériaux cimentaires est présentée.

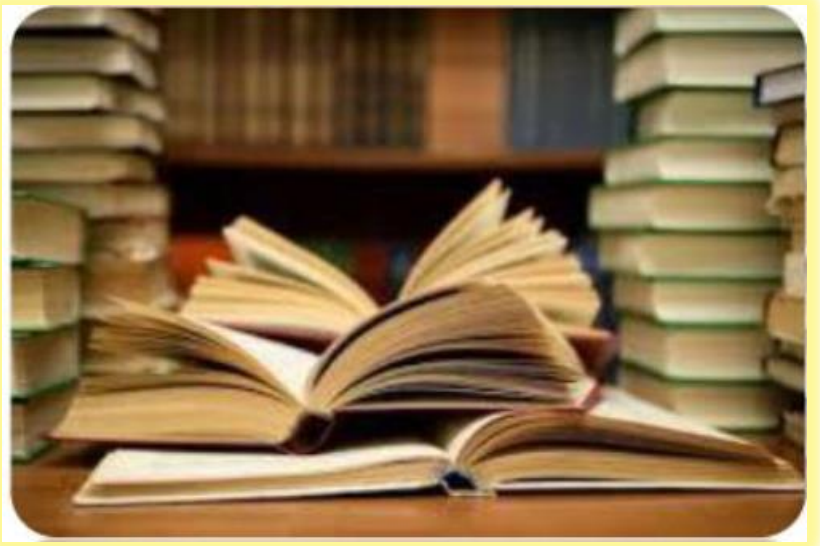
- ✓ Le deuxième chapitre est destiné en premier lieu à la caractérisation des matériaux entrant dans la composition du béton de sable fluide. En second lieu à la confection et la conservation des éprouvettes passant par la formulation et le malaxage des bétons de sable fluide. Finalement dans le protocole expérimental une description détaillé des essais de caractérisation du béton à l'état frais et durci.

- ✓ Le troisième chapitre est consacré à l'exposition et la discussion des différents résultats obtenus. Après une fixation de la formulation des bétons de sable fluides avec et sans granulats végétaux, une vérification des caractéristiques à l'état frais est achevée puis on passe à la discussion des effets dus végétaux sur les propriétés des bétons de sable fluides à l'état durci.

Enfin, nous présentons une conclusion générale sur notre travail ainsi que d'éventuelles perspectives et recommandations.

CHAPITRE 1

SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE



1.1. INTRODUCTION

Dans ce chapitre on présentera premièrement un aperçu général sur les bétons de sable, sa définition, son historique, sa particularité de formulation ainsi ses caractéristiques spécifiques. En mettant ensuite en évidence les nouvelles avancées sur les bétons fluides et leurs applications, notamment les bétons de sable fluides.

Deuxièmement, on passe en revue sur les notions de déchets et leurs valorisations dans le domaine de génie civil, on mettant le point sur les déchets végétaux issus de l'industrie alimentaire et qui peuvent être utilisés pour fabriquer des matériaux de construction de bon rendement énergétique en termes d'isolation thermique (béton et mortier).

1.2. LE BETON DE SABLE

1.2.1. Définition

Le béton de sable est un matériau constitue principalement de ciment, de sable d'eau et de filler naturel ou industriel. Ce qui distingue le béton de sable du béton ordinaire réside essentiellement dans l'emploi de granulats, le béton traditionnel est généralement constitué d'un granulat 0/16 à 0/22.5, par contre le béton de sable est constitué de granulat de faible diamètre Ø<10mm.

« Une question pourrait se poser : quelle est la différence entre le béton de sable et le mortier ? »

Le béton de sable comme son nom l'indique est un béton ou le gros granulat est le sable (D_{max} = 5mm), il ne consomme que (250 à 400) Kg/m^3 de ciment, dosage habituel des bétons classiques, la compacité optimale étant atteinte par un ajout complémentaire de fines (fillers) et de plastifiant, tandis que le mortier utilise un fort dosage en ciment de (400à 600) Kg/m3 [**1].**

Selon la norme française NF P 18-500[40], le béton de sable est un béton fin constitué par un mélange de sable(s), de ciment, d'addition(s) et d'eau ; outre ces composants de base, le BS comporte habituellement un (ou plusieurs) adjuvant.

Les ajouts (fibres, colorants, ...) utilisés dans le béton traditionnel peuvent également être incorporés au mélange. L'incorporation de gravillons d/D autorise l'appellation « béton de sable » tant que le rapport massique/S reste inférieur à 0,7 (G = gravillon ; S = sable) : on parle alors de béton de sable chargé. (Fig.1.1) **[2].**

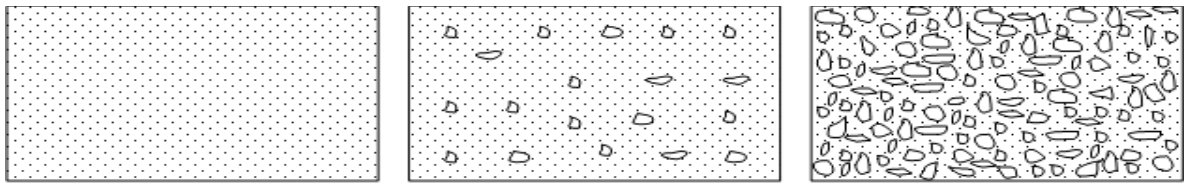


Figure 1.1 : Schéma explicatif de l'apparence du BS pur, BS chargé et du béton traditionnel **[04].**

1.2.2. Historique

Le béton de sable est un matériau ancien utilisé antérieurement au béton traditionnel. Il est tombé en désuétude, avec l'abondance des granulats du plus gros calibre permettant d'obtenir facilement des nouveaux élevés de résistances. Il retrouve cependant de nos jours un intérêt certain du fait des propriétés spécifiques de ce matériau, par rapport au béton traditionnel : excellente maniabilité et cohésion, bonne adaptation aux milieux fortement ferraillés, qualités esthétiques, etc. Par ailleurs, dans certaines régions riches en sable, il peut procurer des économies par rapport au béton traditionnel.

1.2.3. Les composants du béton de sable

Un béton de sable est composé de sable, de fines d'ajout, de ciment et d'eau, par rapport à cette composition de base et pour répondre aux besoins de certains usages, d'autres ajouts spécifiques peuvent être envisagés : gravillons, fibres, adjuvants **[3].**

1.2.3.1. Les sables

Par sables en entend tous granulats 0/D conformes aux définitions des normes NF P 18-101 et NF P 18-301*. Il s'agit soit d'un sable naturel alluvionnaire ou de ballastière, soit d'un sable de carrière issu du concassage d'une roche massive ou détritique. Aucun critère granulaire n'est à priori exigible pour réaliser un béton de sable : on peut utiliser aussi bien un sable fin même (holométrique, type sable de dune) qu'un sable alluvionnaire moyen ou grossier ou de type (0/D) de concassage [1]. La seule restriction d'emploi des sables réside dans leur propreté. Même si des études ont été faites sur les sables- pollués, aucune application n'a été réalisée avec ces sables. Les sables riches en fines naturelles nécessitent généralement beaucoup plus d'eau de gâchage, ce qui entraîne une chute de la résistance. Mais il est plus prudent à ce stade de se limiter à l'utilisation des sables propres tels qu'ils sont employés pour les bétons classiques **[3].**

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

- **Sable de rivière :** il est obtenu par dragage des lits des cours d'eau. Il doit être dur et propre pour qu'on puisse l'utiliser dans les bétons.
- **Sable de mer :** il provient des côtes de la mer. Pour l'utiliser dans les bétons, il faut qu'il ne soit pas trop fin et qu'il soit lavé de son sel.
- **Sable de carrière :** Il contient souvent de l'argile qui enrobe les grains et les empêche d'adhérer aux liants. Il est donc à proscrire.
- **Sable artificiel :** il est obtenu par concassage des roches (calcaires durs, gré …). Il est souvent plein de filler. Pour qu'il soit utilisable dans les bétons, il faut limiter le pourcentage des fines.
- **Sable de dune :** c'est une variété des sables de mer. Il est donc très fin. Les sables de dune se trouvent dans les régions sud du pays. Ils sont situés en zone présaharienne. Les sables retenus sont ceux issus des dunes continentales. Ces dunes sont constituées des nombreux amas de sables fins accumulés dans certaines régions spécifiques du Sahara. **[3]**.

1.2.3.2. Les fines d'ajout (ou addition)

La qualité essentielle du béton de façon générale est sa compacité. Les paramètres essentiels qui vont jouer sur la compacité sont

- La granulométrie du mélange et sa teneur en eau.
- L'énergie de mise en place.

La différence entre le béton classique et le béton de sable réside principalement dans la granulométrie différente. L'optimisation de la compacité, en relation avec la granulométrie, obéit à certaines règles, le principe est simple : les éléments les plus fins se logent dans les éléments les plus gros ; c'est en quelque sorte le principe des tables gigognes. Dans le cas d'un béton classique, on part des éléments les plus gros qui sont les gravillons (10 à 20 mm) ; ils créent des macro-vides que l'on peut remplir par des sables et les vides du sable par des fines. Et ces fines sont du ciment, puisque la quantité nécessaire de ciment pour assurer la résistance coïncide avec celle qu'il faut en fines pour obtenir la bonne compacité. Cette concordance entre le besoin en fines et le dosage en ciment est interprétée par la règle suivante **:[1]**

C =550/ ou C =700/ (selon l'usage du béton)

Donnant le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre (D) du granulat employé.
Le tableau donne le dosage minimum en ciment en fonction du diamètre maximal (Dmax) du granulat employé **[1].**

Tableau 1.1. : Relation entre le Dmax et le dosage minimal en ciment

Granularité	$\sqrt[5]{D}$	C=550/$\sqrt[5]{D}$	C=700/$\sqrt[5]{D}$	
0/25	1 ,904	290	370	
0/20	1,821	300	385	
0/16	1,741	315	400	Béton
0/8	1,516	360	460	
0/6.3	1,445	380	480	
0/4	1,320	415	530	
0/2	1,149	480	610	Mortier
0/1	1,000	550	700	

La forme des grains et la nature géologique des fillers influent sur la quantité d'eau requise pour obtenir un mélange maniable. Ainsi, des fillers avec des grains sphériques type filler calcaire, nécessitent moins d'eau que ceux à grains anguleux type filler siliceux, et par conséquent, assurent une meilleure compacité au mélange durci. (Fig.1.2et 1.3). On distingue des fines actives (laitiers moulus et cendres volantes) et des fines passives, résultant du broyage de roches massives (fillers calcaires et fillers siliceux).

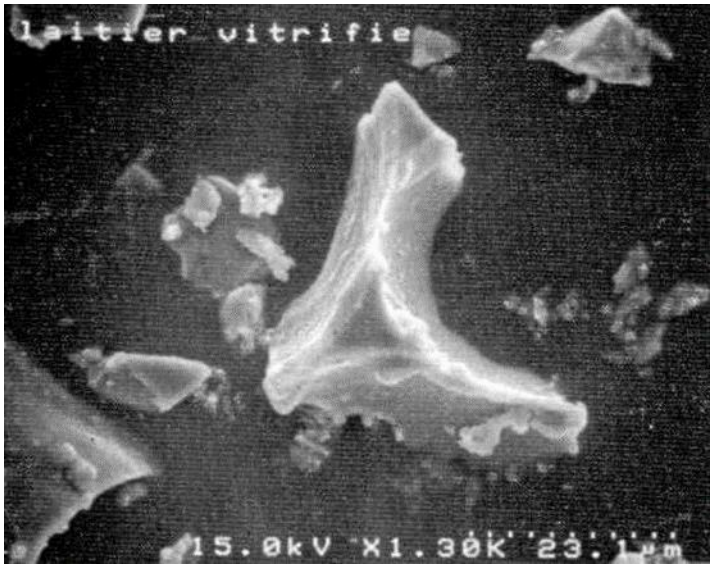


Figure 1.2 : Fines anguleuses **[4].**

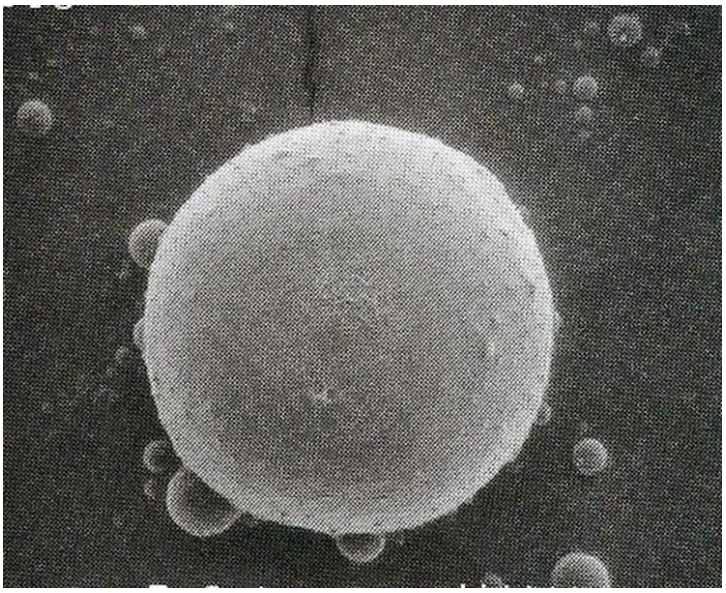


Figure 1.3 : Fines sphériques **[4].**

Les dosages en fines d'addition seront souvent importants : entre 70 et 200 kg/m3 et même au-delà. Par voie de conséquence leurs caractères (nature géologique, forme, etc.) vont influer grandement sur les caractéristiques de la formule employée. On peut constater que, à dosage constant en fines d'addition :

- La maniabilité est améliorée quand le rapport eau/ciment augmente.
- Pour un rapport eau/ciment fixé, la maniabilité dépend de la nature et du dosage en fines d'addition.

Nous citerons deux types de fines (fillers) que nous allons utiliser dans notre étude : les fillers calcaires (fines inertes) et la fumée de silice (fines actives). Les normes françaises (1979) définissent les fillers de la façon suivante : produits obtenus par broyage fin ou par pulvérisation de certaines roches (calcaire, basalte, laitiers, cendres volantes…) naturelles ou non. Ce mot filler provient de l'anglais « to fil » signifiant remplir, dont le plus gros grain de ces matériaux ne dépasse pas 0.2 MM. L'effet du filler sur la maniabilité dépend surtout de sa finesse **[4]**. Si le filler est finement broyé, il y aura réduction de la quantité d'eau pour une maniabilité fixe.

- **Les fillers calcaires**

Le filler calcaire est un matériau très finement broyé, dont les plus gros grains ne dépassent pas 80 μm, ayant une finesse à peu près identique à celle du ciment portland. Il a pour rôle de remplir les vides entre les sables. Le filler calcaire n'est pas considéré comme une pouzzolane puisqu'il n'est pas réactif.

L'addition de filler calcaire peut avoir plusieurs fonctions, comme par exemple compléter la courbe granulométrique d'un ciment déficient en grains fins, et compléter aussi la granulométrie du sable comme le cas des bétons de sable, les filler peuvent également influencer l'hydratation, être présents dans les pores capillaires (ce qui rend plus difficile la percolation de l'eau) et influencer les paramètres rhéologiques du béton

- **Fumée de silice**

Les fumées de silice sont des résides évacuées de la chambre de combustion d'un four destiné à produire de silicium ou des alliages contenant du silicium. La fumée de silice se présente sous forme de microsphères de silice amorphe d'un diamètre moyen de l'ordre de 0.1 μm, leur surface spécifique est de l'ordre de 20 et 25 m2/g, lorsque les microsphères sont bien dispersées, elles vont s'empiler dans l'espace industriel resté vide entre les grains de ciment qui possèdent un diamètre moyen environ 100 fois plus élevé. Ces fines particules améliorent les propriétés rhéologiques du mélange (fluidité, diminution de la ségrégation et du ressuage). Leur grande finesse et leur structure vitreuse en font un produit très réactif. Elles permettent aussi d'obtenir une pate plus dense car le squelette granulaire est plus compact **[5].**

La grande finesse et surface spécifique des fumées de silice tendant à augmenter la quantité d'eau nécessaire pour atteindre la même maniabilité qu'un béton sans fumée de silice. Cependant, en présence d'un super plastifiant et utilisée en petite quantité pour des bétons ayant un faible E/C, les fumées de silice peuvent augmenter quelque peu la quantité d'eau libre dans le mélange de béton et accroitre sensiblement la maniabilité. De plus, les fumées de silice augmentent la cohésive du béton et diminuent donc le ressuage et la ségrégation.

L'utilisation de fumées de silice à des dosages de 5 à 10 %, par rapport à la masse de ciment, permet au béton d'atteindre des résistances mécaniques élevées, et permet aussi d'avoir des bétons plus denses et plus imperméables, donc plus durables. Cependant, étant donné que le risque de retrait plastique est très élevé pour ce type de béton, la cure du béton doit être bien effectuée.

1.2.3.3. Les ciments

Le choix du ciment pour confectionner un béton de sable est conforme à la norme NF P15-301, le choix du ciment est fait à partir de sa classe de résistance, de ses caractéristiques d'hydratation, de l'agressivité du milieu …etc. d'une façon générale, de la composition du béton et de l'usage auquel il est destiné. Pour bien exploiter l'activité hydraulique des fines d'additions au mélange du béton de sable, les ciments type CPA (ciment portland) sont préférables. **[1].**

1.2.3.4. L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour la confection des bétons de sable est conforme à la norme NF P15-303 L'eau efficace comprend, en plus de l'eau de gâchage, une quantité non négligeable d'eau apportée par les additions d'adjuvants et autres ajouts et surtout par les sables **[6].**

1.2.3.5. Les adjuvants

Les adjuvants sont les produits qui sont incorporés en très faible quantités aux bétons (dose inférieure à 5% du poids de ciment) avant ou pendant le malaxage, dans le but d'améliorer certaines propriétés, soit à l'état frais, ou pendant la prise et le durcissement, soit à l'état durci. On définit le super plastifiant d'après son action principale, même s'il a plusieurs actions secondaires **[7].**

Il y a une gamme très importante d'adjuvants sur le marché qui se différencient par leurs fonctions et par suite par leur domaine d'application, ils sont présentés dans le tableau suivant

Tableau 1.2. : Les types d'adjuvants et leurs fonctions.

Type d'adjuvant	Fonction
Plastifiant réducteur d'eau	Permet soit une amélioration de la maniabilité, sans augmenter le dosage en eau, soit une réduction du rapport E/C, donc une augmentation des résistances mécaniques, sans modifier la maniabilité. On peut également jouer sur les deux paramètres pour augmenter la résistance mécanique tout en améliorant la maniabilité
Super plastifiant Hautement réducteur d'eau (fluidifiants)	Leurs actions sont plus importantes sur les bétons que celles des plastifiants réducteurs d'eau. Ils permettent, à teneur égale en eau, d'augmenter considérablement l'ouvrabilité des bétons.
Accélérateur de prise	Accélère la prise du béton.
Accélérateur de durcissement	Le développement des résistances initiales des bétons.
Retardateur de prise	Retarde la prise du béton.
Antigel	Abaisse notablement le point de congélation de l'eau des bétons.
Entraîneur d'air	Augmente la résistance au gel des bétons durcis.
Hydrofuge	Réduit la perméabilité et par suite la capacité d'absorption par capillarité des bétons durcis.
Les adjuvants anti-retraits	Réduisent la tension superficielle de l'eau pour contrer le mécanisme de son départ des pores qui provoque le retrait du béton.
Les inhibiteurs de corrosion	Parviennent à maintenir la couche protectrice passivant à la surface des aciers de renfort ce qui les protège de la corrosion.
Les agents de cohésion	Facilitent le pompage des bétons, réduisent la ségrégation des bétons désactivés, et les risques de délavage du béton coulé sous l'eau.
Les additifs pour béton léger	Produisent une mousse abondante qui fait abaisser la densité du béton
Les produits de cure	Ils sont pulvérisés à leur surface pour former un film protecteur continu qui va limiter le risque de fissuration par retrait d'eau rapide (bétonnage par temps chaud).

1.2.4. Formulation du béton de sable

1.2.4.1. Approche théorique d'une formulation d'un béton de sable

Les granulats d'un béton jouent un rôle d'ossature et la pâte (généralement le ciment avec l'eau) assure, dans un premier temps, la cohésion et l'écoulement, et joue aussi le rôle d'une colle liant les granulats en donnant une certaine durabilité au matériau durci. Le premier Problème qui se pose lors d'une formulation d'un béton est la compacité du squelette Granulaire définie comme le rapport du volume des constituants solides sur le volume total du mélange ; il faut assurer au mélange une compacité maximale et donc diminuer au maximum la porosité. Cependant la détermination de cette compacité maximale n'est pas facile et fait l'objet de modélisation poussée.

Caquot **[8]** a pu établir à partir des données expérimentales Une relation mathématique reliant le volume des vides d'un mélange granulaire présentant une Compacité maximale et son étendue granulaire (d/D_{max}). Pour ce mélange optimisé la relation de Caquot s'écrit comme suivant :

V=Vo (d /D max) 1/5 ….

V : Volume des vides du mélange granulaire ;

Vo : Constante expérimentale comprise entre 0,7 et 0,8 ;

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire ;

Dmax : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

Cette formule est à la base de nombreuses méthodes de formulation des bétons qui Consistent généralement à définir une courbe granulaire de référence telles que la méthode de Faury, Bolomey, Dreux, etc.

A. Dosage en fines d'un béton de sable

Pour le but d'optimiser la compacité des constituants solides du béton de sable, il faut que ces Constituants soient séparés en deux fractions :

1) Les éléments fins qui regroupent tous les grains de taille inférieure à 80 lm et qui sont l'éciment, les fines d'ajout et la fraction du sable inférieure à 80 µm.
2) Toute l'étendue du sable comprise entre 80 µm et le diamètre maximal du sable Dmax,

Ainsi que l'éventuelle fraction des éléments supérieurs à 80 µm, provenant des fines d'ajout. En faisant cette distinction entre les fines incluant les éléments inférieurs à 80 µm et l'étendue du sable compris entre 80 µm et le diamètre maximal du sable, la porosité du sable peut être Calculée selon la formule précédente de Caquot :

Ps = V= 0.75 (0.08/D)1/5 .....(2)

Ps (v) : Porosité du sable d'étendue granulaire comprise entre 80 µm et Dmax.

Dmax : Diamètre maximal du plus gros grain du mélange.

La constante expérimentale (Vo) est prise comme étant la moyenne des valeurs extrêmes (0.7, 0.8).

Un dosage optimal en fines d'ajout sert à compléter l'étendue granulaire bornée Inférieurement par la coupure 80 om, et à combler la porosité du sable ainsi calculée.

En effet Il est impossible de prendre en compte la distribution de la taille des particules pour les fines d'ajout car l'assemblage géométrique relève surtout des forces électriques Inter-granulaires.

En apportant quelques simplifications, Caquot s'est rendu compte que le volume de l'ensemble des particules fines (< 80 µm) et le volume de vide associé à l'empilement de ces fines sont Égaux, autrement dit le volume des vides restant dans le mélange est égal au volume de L'ensemble des fines d'ajout. [Fines]= [Vides]. Il suffit de combiner les deux résultats Précédents de Caquot pour en déduire que le dosage volumique optimal en fines d'ajout est la Moitié de la porosité du sable et que l'autre moitié correspond à la porosité minimale Résiduelle.

[Fines] = 0.38 (0.08/Dmax)1/5 …. (3)

Cette dernière formule montre que le dosage en fines dépend surtout de la dimension du Plus gros grain, il apparaît très clair que plus le diamètre maximum diminue plus le dosage en Fines augmente.

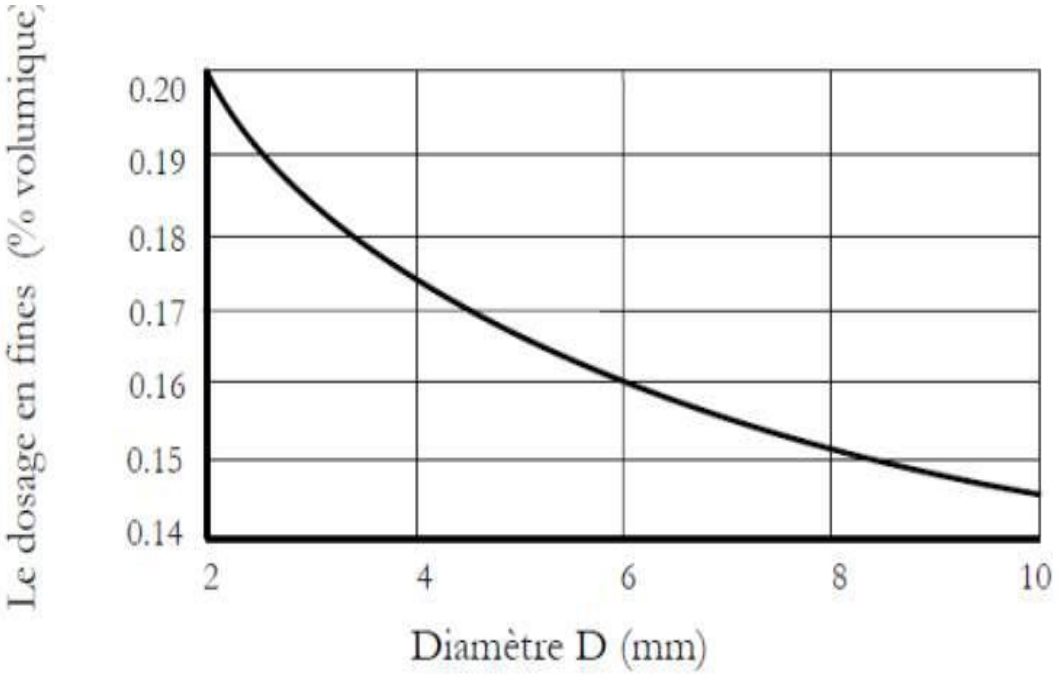


Figure 1.4 : Influence du diamètre D du sable sur le dosage en fines

B. Dosage eau d'un béton de sable

Après optimisation du squelette granulaire, la compacité maximale conduisant à une porosité minimale ne sera atteinte que si la consistance le permet ; pour cela d'autres travaux de Caquot sur la compacité ont abouti à une autre relation à partir de la relation de base, en admettant que la porosité du squelette granulaire se décompose en la somme d'un volume d'eau et d'un volume de vide piégé notés respectivement e et v.

(e+v) min = 0.8 (d/ Dmax) 1/5 …. (4)

Le calcul de la porosité minimale exige la connaissance de la plus petite dimension de L'étendue granulaire du mélange (d). L'estimation de cette valeur dans le cas d'un mélange Totalement défloculé (chaque particule élémentaire agit indépendamment) est donnée par la Formule suivante :

d = (60 / (f)) mm □□□…. (5)

Avec :

f : surface spécifique exprimée en cm2/g du constituant.

P : densité du constituant exprimée en g/cm3.

C'est la moyenne harmonique de la dimension des grains les plus fins du constituant assimilés à des sphères. Cette définition de (d) ne peut pas être retenue pour les mélanges floculés :

La dimension des flocs relevant des considérations physico-chimiques très complexes. Un ordre de grandeur peut être avancé de l'ordre de 20 à 25 µm pour le diamètre ; ainsi l'élargissement de l'étendue est la seule solution pour la réduction de la porosité théorique Minimale.



Figure I.5 : Le béton de sable en projection

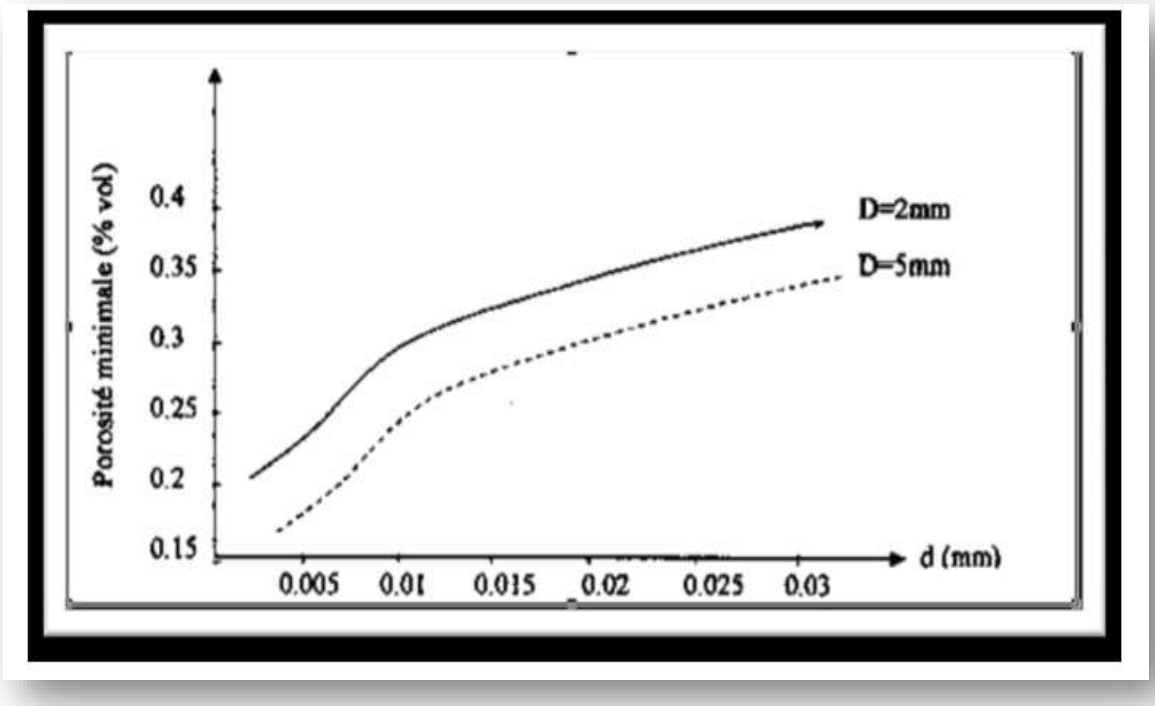


Figure 1.6 : Influence de la dimension d sur la porosité minimale du béton pour deux tailles D du sable

L'expérience montre que pour des quantités d'eau inférieures à la quantité d'eau permettant d'obtenir l'ouvrabilité optimale, le mélange piégera une forte quantité d'air quelques soient les moyens de serrage utilisés, et par suite une porosité (e+v) supérieure à (e+v) min, alors pour des quantités d'eau supérieures à celles qui donnent l'ouvrabilité optimale, la quantité d'air piégée reste stable et l'ouvrabilité augmente de façon linéaire. (fig.1.6) **[9]**.

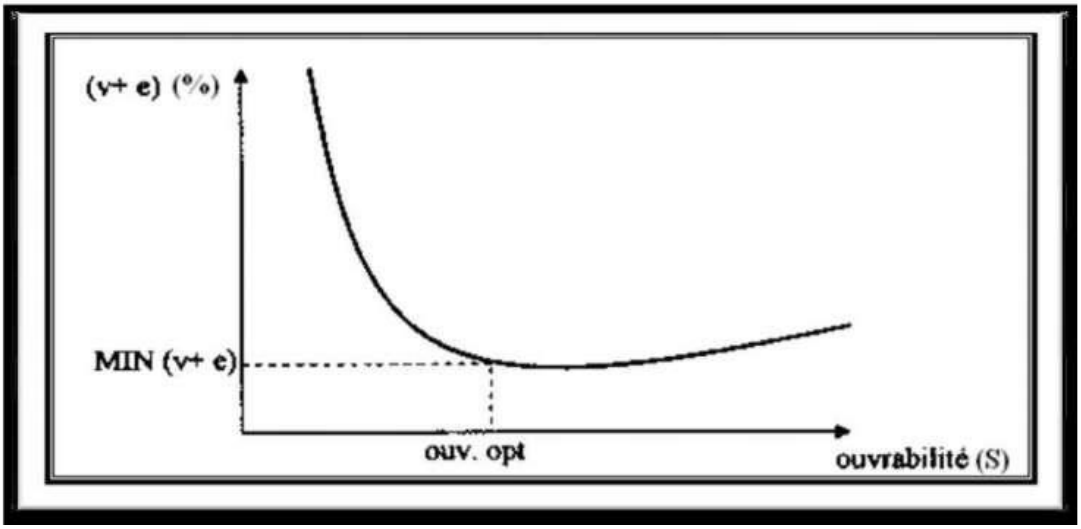


Figure 1.7 : Relation entre l'ouvrabilité et le dosage (e + v) d'une matrice pour une mise en œuvre donnée

Finalement, pour estimer le dosage en eau, il faut préalablement évaluer la quantité d'air piégée. Dans le cas des bétons de sable cette quantité est légèrement supérieure à celle des bétons ordinaires et la formule qui suit conduit à des teneurs en air de l'ordre de 3 à 5%.

[Vide] = K [eau] …… (6)

Avec :

K : constante comprise entre 0.2 et 0.25.

C. Dosage en sable

Pour estimer le dosage en sable, il suffit de compléter au mètre cube la somme des constituants fines, eau et vides, comme ci-dessous :

[Sable] = 1000-[fine]-[eau]-[vide] (l/m3)

Il reste à noter que le volume du sable ainsi calculé regroupe toutes les particules de taille Supérieure à 80 μm, soit du sable, soit de la fraction des fines d'addition **[10]**.

D. Estimation de la résistance en compression

L'estimation de la résistance en compression se fait par référence aux méthodes classiques adoptées pour les matrices cimentaires qui consistent à partitionner la contribution du squelette granulaire, de la nature du liant et des dosages des constituants de la pâte.

Dans le cas de bétons formulés avec des fines potentiellement réactives, une généralisation de la formule de FERET **[2]** a été proposée récemment.

$$Rb = \frac{Kf * Rc}{\left(1+\frac{3.1*(e+v)}{c(1+K1+K2)}\right)^2} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots (7)$$

Kf : coefficient granulaire compris entre 4.5 et 5 ;

RC : classe vraie du ciment (MPA) ;

e : dosage en eau totale (l/m3) ;

V : air piégée (l/m3) ;

C : dosage en ciment (kg/m3) ;

Rb : résistance à la compression du béton à 28 jours (MPA).

Avec :

K1 = Kcv (CV/C) +Kfs (FS/C);

0.2<Kcv<0.4 ;

2<Kfs<3.3 ;

K1 0.5 K2= Kfi1 (Fil/C) ; 0<Kfil 0.4 ;

K1<0.2

K1 : coefficient pouzzolanique

K2 : coefficient d'activité du filler calcaire.

Kcv., Kfs, Kfil : coefficients d'équivalence en ciment des différentes additions en fines.

CV, FS, FIL : dosage en cendres volantes, fumée de silice et filler calcaire (kg/m3)

Cette formule ne peut être utilisée que par une identification précise de l'activité des Additions par l'intermédiaire des coefficients déjà mentionnés (Kcv., Kfs et Kfil).

Les valeurs données pour les différents coefficients d'activité ont, ici, un caractère essentiellement indicatif, d'autres additions peuvent être également utilisées, telles que les fines siliceuses généralement considérées inertes et les fines de laitier qui peuvent présenter un caractère hydraulique non pris en compte dans la formule précédente. Ainsi d'autres paramètres pourraient également jouer un rôle sur l'activité liante des fillers.

Tels que la répartition granulaire, la forme des grains, et leur porosité. L'activité de filler calcaire présente un optimum au-delà là duquel la contribution de l'activité de filler ne participe plus aux développements de performances mécaniques. (fig1.6)

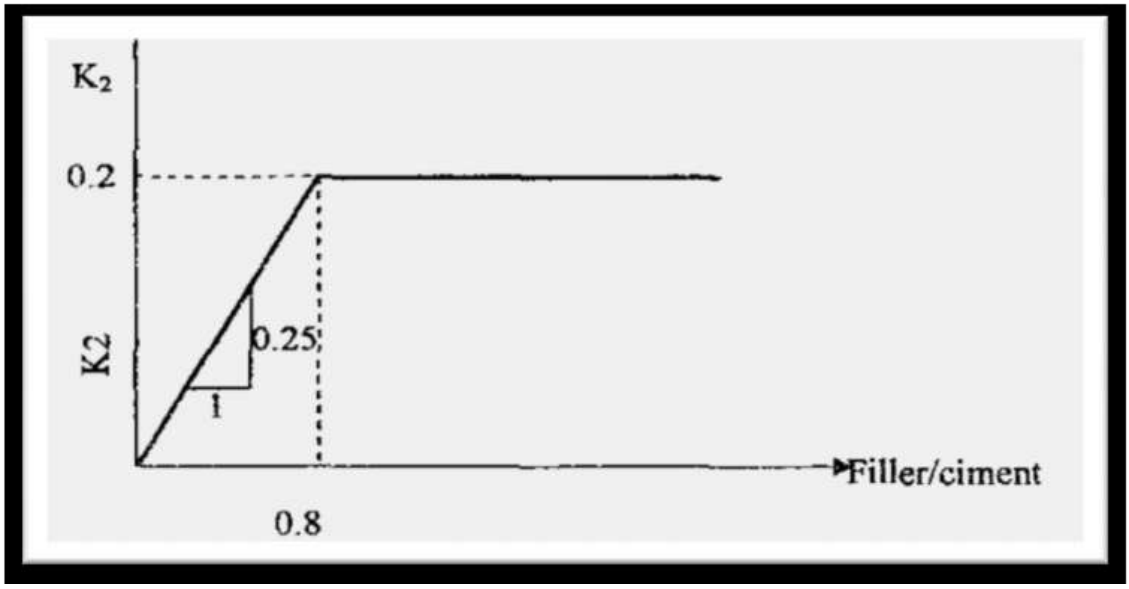


Figure 1.8 : Coefficient d'activité du filler calcaire (modèle).

Ainsi il y a d'autre paramètre qui s'ajoutant pour le dosage en fines, toute fois le dosage en Fines est estimé en termes de compacité, ces fines regroupant le ciment, l'addition (filler calcaire, cendres volantes …) et la fraction du sable inférieur à 80 µm, ainsi que l'optimum de la résistance serait atteinte pour les dosages en ciment et en addition, solution du système suivant :

- **Dosage en ciment + dosage en fines d'addition = dosage en fines.**
- **Dosage en fines d'addition / dosage en ciment = optimum d'activité.**

Cette formulation théorique simple et performante donne la possibilité au formulateur de jouer sur certains paramètres en restant à la compacité maximale, elle constitue une bonne base pour la mise au point d'une formulation de béton de sable. Elle ne peut être utilisée que dans un cadre limité, ceci est dû aux nombreuses hypothèses qui la jalonnent, c'est aussi pour cela que cette approche ne sera acceptée qu'après passage à l'expérience qui la confirme.
On peut résumer toutes les étapes de la formulation théorique sous forme d'organigramme comme indique la Figure (1.7).

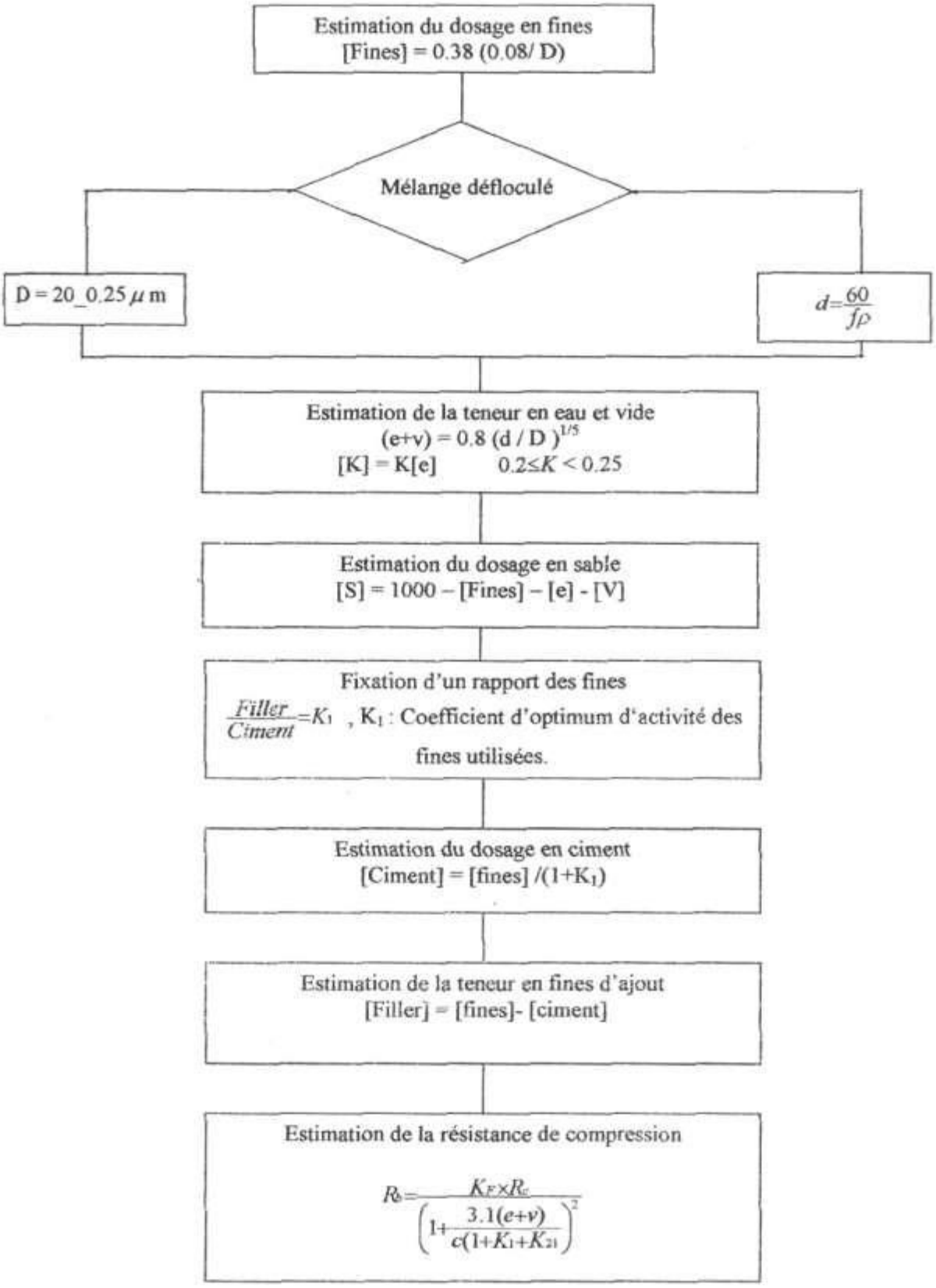


Figure 1.9 : Organigramme de la méthode théorique

1.2.5. Propriétés essentielles du béton de sable

1.2.5.1. Granulométrie et maniabilité

Le béton de sable nécessite plus d'eau de gâchage que les bétons traditionnels ; ceci se traduit par des valeurs E/C (eau/ciment) systématiquement supérieures à 0,5 ; ce rapport se situe entre 0,6 et 0,7. Cette particularité est due à une surface spécifique plus importante du mélange ; d'ailleurs, si l'on considère non plus le rapport E/C, mais le rapport E/C+A (A=addition en fines activées), on obtient des valeurs similaires aux bétons traditionnels.

La granulométrie du sable jouera également sur le besoin en eau ; plus le sable est riche en éléments grossiers, plus la maniabilité s'améliore. Ceci se traduit par une relation entre module de finesse et maniabilité.

1.2.5.2. Granulométrie et résistance

A dosage en ciment constant, la résistance peut être différente en fonction d'un certain nombre de paramètres et en particulier **[11]** :

- **La finesse de l'addition**

Plus l'addition est fine plus la compacité est importante (gain en résistance) ; ce résultat est valable quelle que soit la granulométrie de sable (sable alluvionnaire, sable de dune…etc.).

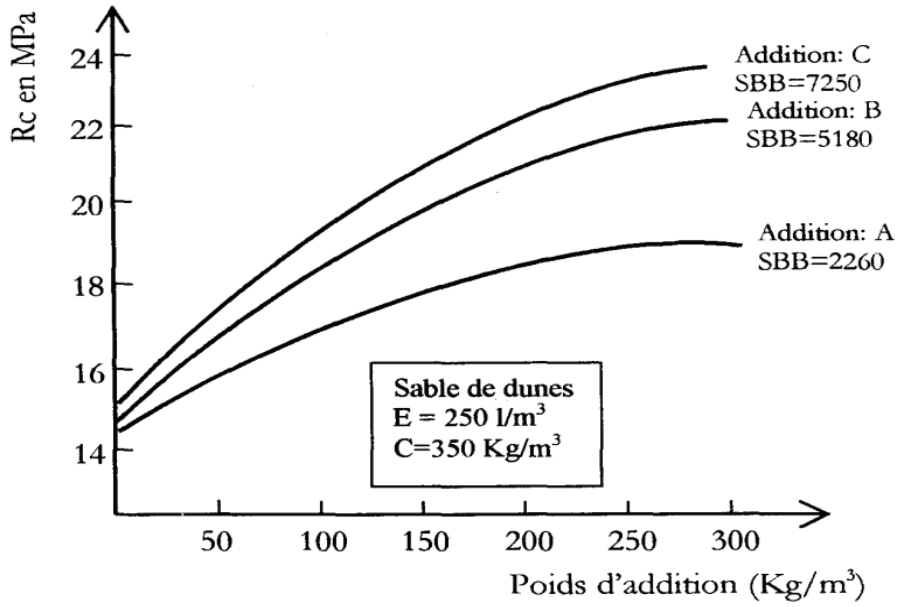


Figure 1.10 : effet du dosage et de la finesse de l'addition sur la résistance **[1].**

- **La nature de l'addition**

A même dosage selon la figure 5, on peut constater l'extrême diversité du niveau de performance atteint selon la nature du filler ; si l'addition de fines permet d'améliorer systématiquement la résistance, ce gain est en effet très variable. (Figure 5)

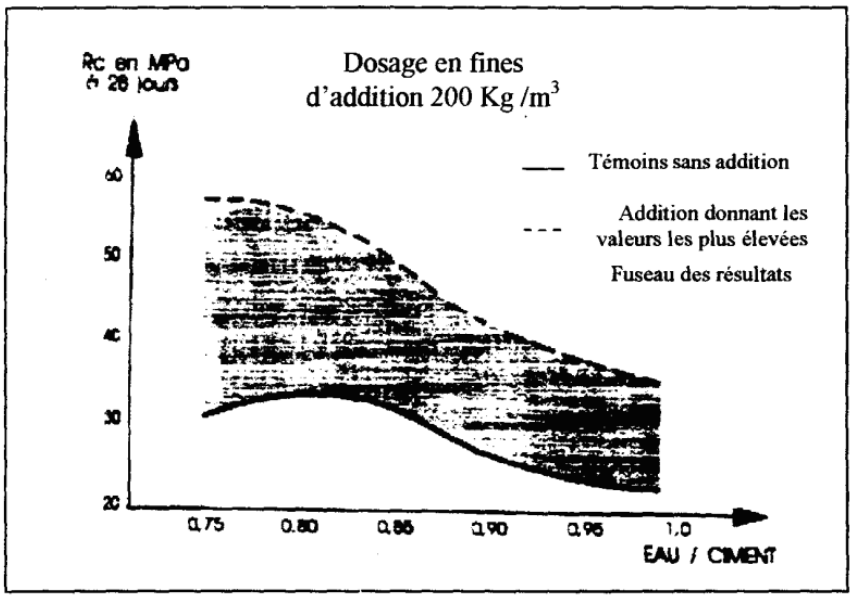


Figure 1.11 : influence de la nature de l'addition sur le niveau de résistance **[1]**

- **La dimension du Dmax :**
  - Pour des rapports E/C (eau/ciment) constants, on constate que l'effet du diamètre du plus gros granulat Dmax est peu important et en tout état de cause, pas défavorable aux sables **[1].** Cependant on constate que la maniabilité est très différente selon le type de sable. A titre d'exemple pour un Dmax égal à 20 mm, le béton de sable est très maniable, ce qui n'est pas le cas pour un diamètre Dmax égal à 1,6 MM. Ce dernier cas nécessite une quantité d'eau supplémentaire, et par conséquent une chute de résistance plus ou moins importante.
  - L'effet de la granulométrie sur la résistance apparaît plus clairement à des dosages en ciment constants.
  - Chaque fois que le diamètre maximal Dmax diminue, il faut plus d'eau pour garder la même maniabilité ce qui fait chuter implicitement la résistance.

Dans le cas du béton de sable (Dmax< 5mm), et pour minimiser la chute de résistance, on prévoit l'utilisation d'un adjuvant plastifiant réducteur d'eau.

1.2.5.3. Propriétés spécifiques

1) L'adhérence aux armatures

Selon la formulation du béton de sable (donc son niveau de performance), on obtient des propriétés spécifiques à l'adhérence aux armatures plus ou moins bons que le béton de référence. Quelques comparaisons ont été réalisées entre différentes formulations de béton de sable et un béton témoin traditionnel à l'aide de l'essai pullout.

Il s'agit de mesurer le déplacement d'une armature qui se trouve dans le matériau durci, en fonction de l'effort de traction qui lui est appliqué. Sur la base des résultats de cet essai, on remarque que des variations de compositions appliquées au béton de sable mènent à des écarts du même ordre que les bétons traditionnels, ce qui a amené à penser que les bétons de sable ne se distinguent pas particulièrement sur cet aspect des bétons traditionnels classiques. (Figure 1.10) **[12].**

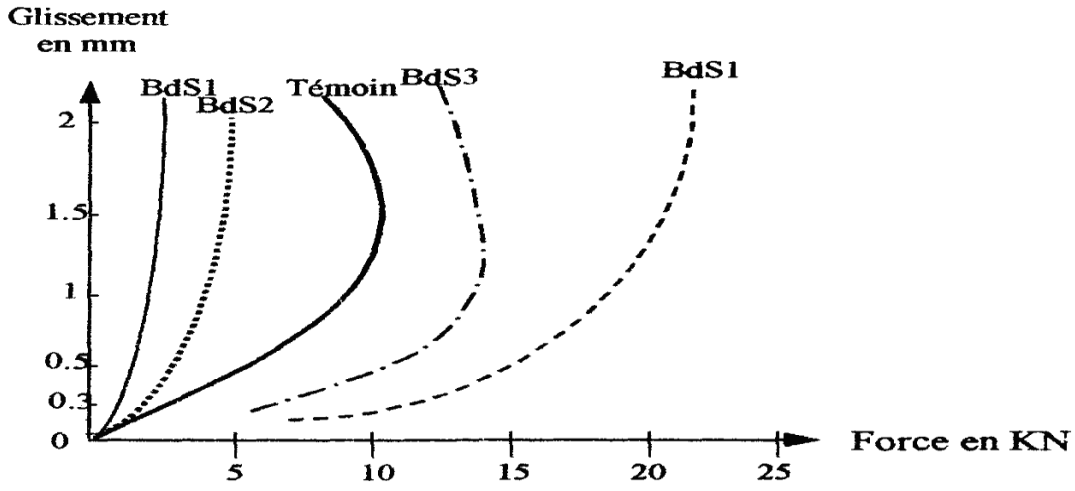


Figure 1.12 : Variation de l'adhérence d'une armature en fonction de la formulation **[1]**

Dans le cas des petites déformations (partie initiale), on constate que la contrainte correspondant au même niveau de déformation (50 microns) est d'autant plus forte que la résistance en traction du béton de sable est élevée. (Figure 8) Le phénomène d'adhérence observé dans le béton de sable est pratiquement identique à celui des bétons traditionnels (contrainte ultime varie de 30 à 60 bars), alors qu'on peut dire que l'association béton de sable-acier engendre une adhérence suffisante entre les deux matériaux, ceci permet d'envisager l'utilisation du béton de sable comme béton de structure.

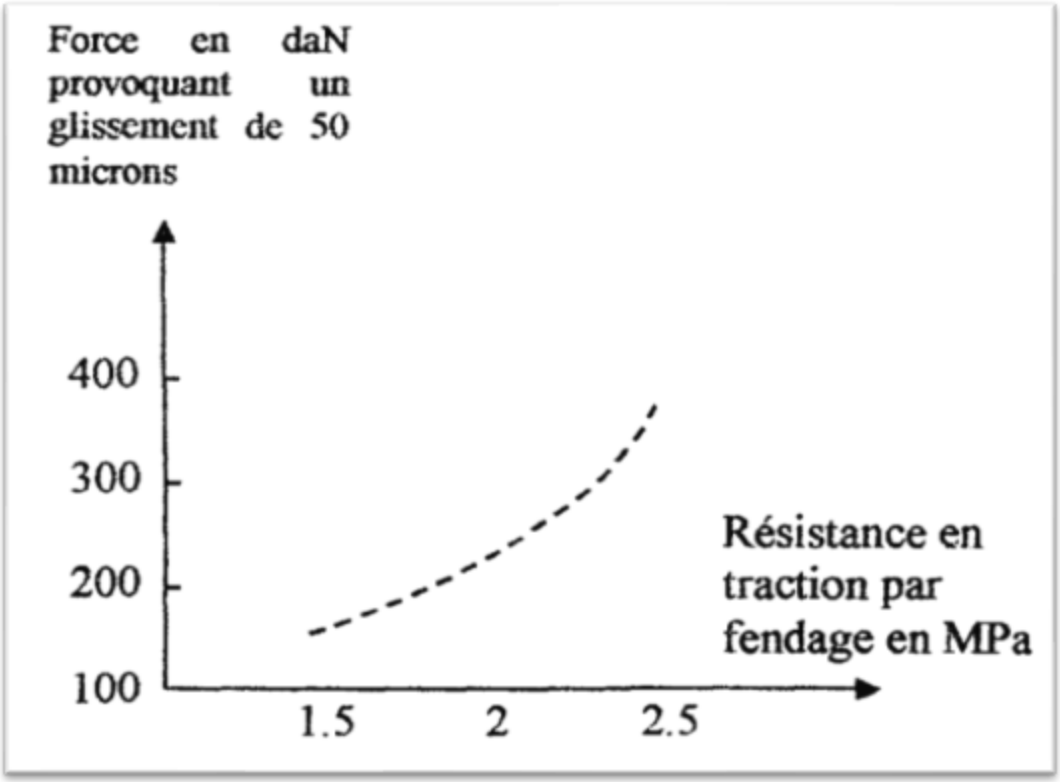


Figure 1.13 : Influence de la résistance en traction du béton de sable sur l'adhérence des armatures **[1].**

2) Durabilité des bétons de sable

Conventionnellement, la durabilité d'un béton est reliée à ses capacités d'échange avec le milieu extérieur. De ce fait, il est évident que les paramètres tels que la porosité, l'organisation géométrique des pores et la perméabilité sont des paramètres physiques du premier ordre de la durabilité. De même, les phénomènes internes tels que l'alcalisation ou l'attaque sulfatique différée sont aussi des processus d'altération du béton accélérés par les échanges hydrauliques avec le milieu extérieur. La tenue du béton vis-à-vis des phénomènes d'échange dépend aussi de l'environnement de celui-ci, raison pour laquelle l'estimation de la durabilité s'effectue généralement par un ou plusieurs essais selon l'environnement prévisible du matériau (milieu urbain, régions montagneuses, milieu marin, ambiances agressives...etc.)

- Perméabilité à l'air et à l'eau ;
- gel-dégel ;
- Carbonatation ;
- Pénétration des ions de chlorure.

Ces essais de durabilité, dont le but est de qualifier le béton vis-à-vis des attaques physico-chimiques exogènes ou internes, sont en général des essais accélérés qui permettent d'obtenir rapidement des informations comparatives.

La perméabilité à l'eau est du même ordre de grandeur que celle du béton traditionnel ; quant à la perméabilité à l'air, elle conduit à des résultats globalement inférieurs ou comparables à ces mêmes bétons classiques.

Ces résultats entrent dans le cadre du projet SABLOCRETE qui contribue à l'étude du comportement des bétons de sable vis-à-vis de la durabilité. Ils ne sont pas généralisés à toutes les formulations de béton de sable mais plutôt à des bétons de sable correctement formulés.

C'est-à-dire pour lesquels il y a eu optimisation des dosages en fines d'addition et en ciment. Dans ces conditions le comportement est très satisfaisant et même excellent. **[1].**

3) Résistance au gel et au dégel

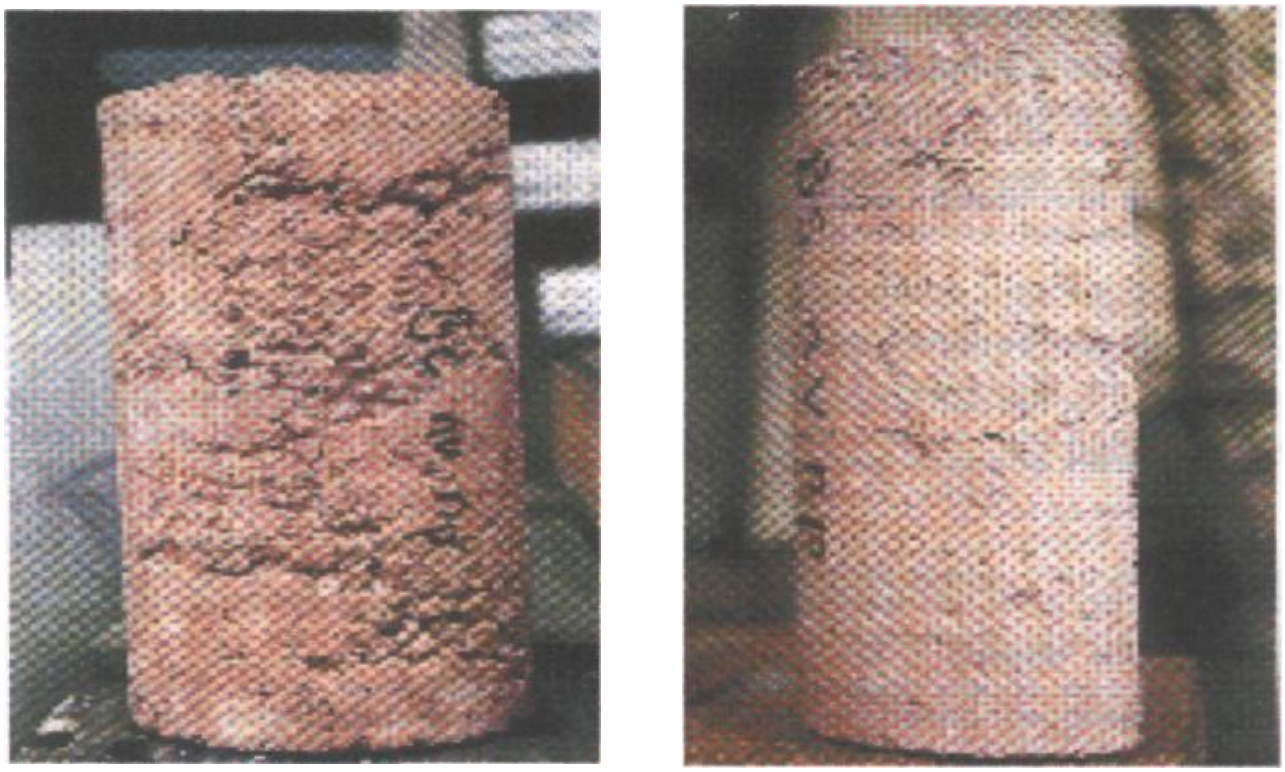
De même, la tenue au gel des bétons de sable formulés correctement est excellente. En effet, par comparaison à une étude menée sur un large éventail de formulations de bétons traditionnels, les bétons de sable à formulation et performance équivalentes résistent mieux au gel que les bétons traditionnels correspondants.

Certains bétons de sable, même sans ajout d'entraîneur d'air, présentent une résistance au gel équivalent aux bétons classiques les plus performants de ce point de vue. Cette bonne tenue aux cycles gel- dégel, quand elle ne résulte pas d'une formulation visant, soit une très faible porosité, soit une porosité bien répartie par l'emploi d'entraîneur d'air, s'explique par la microstructure particulière des bétons de sable, qui est en général, caractérisée par une bonne répartition de micropores [**13**].

4) Phénomène de ségrégation des constituants

Du fait de leur faible étendue granulaire, et donc de leur plus grande homogénéité, combinée à une bonne maniabilité, cela confèrent aux bétons de sable un meilleur comportement vis à vis des phénomènes de ségrégation que les bétons traditionnels.

Cette faculté apparaît plus clairement à travers des expériences comparatives sur des bétons de sable et des bétons classiques équivalents, avec des plasticités et des modes de mise en œuvre variables. Les deux figures qui suivent montrent les différences d'aspect de la peau de deux éprouvettes coulées, sans action extérieure sur le serrage, à des consistances plastiques équivalentes (cône de 14 cm).



a)Béton traditionnel b) béton de sable.

Figure 1.14 : Eprouvettes non vibrées, non piquées [1].

1.3. Bétons de sable fluides

Les bétons fluides ont été développés récemment afin d'améliorer les conditions d'exécution et la productivité des chantiers ainsi que la qualité et la durabilité des ouvrages. Ces bétons ont trouvé un grand intérêt dans certaines conditions d'utilisation telles que : L'absence de

vibration, la faible accessibilité aux zones ferraillées et aux formes complexes des coffrages et le besoin de pomper le béton à des distances importantes.

Le concept du BS s'adapte parfaitement aux conditions particulières citées ci-dessus. En plus, l'absence totale ou partielle des gros granulats dans le BS minimise le risque de ségrégation. La fluidité doit être assurée par l'utilisation des adjuvants super plastifiants afin d'éviter l'ajout excessive et incontrôlé de l'eau, qui entraîne une diminution des performances physico-mécaniques et de la durabilité. Pour que les bétons de sable fluides soient homogènes et stables vis-à-vis du phénomène de ségrégation et de ressuage, l'utilisation des éléments fins ou d'un adjuvant de viscosité est obligatoire.

Les bétons de sable fluides sont intéressants pour certaines applications en génie civil comme les pieux forés, les injections et les reprises en sous œuvre. Les bétons de sable fluides sont économiquement mieux adaptés aux dallages du bâtiment. S'agissant d'éléments horizontaux, la fluidité convient et l'auto-nivellement est un atout considérable. L'intérêt réside dans les avantages suivants :

- Rapidité et simplicité d'exécution ;
- Limitation des moyens en personnel et en matériels ;
- Nuisances réduites (absence de vibration).

Dans le cas des aménagements de voirie peu dénivelés (comme les aires de stationnement et les voies piétons), où les performances demandées ne seront pas élevées, elles se prêtent parfaitement à la technique de fluidification de BS.
Les bétons de sable fluides présentent des performances comparables aux bétons fluides classiques, dont l'utilisation semble se développer actuellement. Indépendamment de l'aspect environnemental lié à l'utilisation des BS, il pourra être mieux adapté aux cas suivants :

- Risques de ségrégation préjudiciables ;
- Forte densité de ferraillages ;
- Recherche d'un produit fini ;

Le BS fluidifié présente un surcoût allant de 10 à 25 % par rapport à un béton traditionnel. Par exemple, les BS nécessitent des dosages plus élevés en fluidifiantes additions que les bétons traditionnels, pour avoir des performances identiques. Indépendamment à l'aspect économique et aux gains de productivité, le BS fluidifié peut etre une meilleure adaptation aux plusieurs applications mal assurées par les bétons traditionnel **[16].**

1.4. RECYCLAGE DES DECHETS DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES

1.4.1. Introduction

Avant de valoriser un déchet, il faut connaître son origine, l'analyser, caractériser son état actuel et son comportement dans le temps et évaluer sa traficabilité. Il s'agit donc de mesurer pour connaître et connaître pour agir». L'approche globale du déchet permettra d'en définir son devenir, à savoir quel type de valorisation choisir.

Dans ce chapitre, nous décrivons le contexte de la gestion des différents types de déchets et les principales techniques de traitement ou d'élimination à travers le monde ; ainsi le recyclage et la réutilisation des déchets dans le domaine des travaux publics. Mais en Algérie, le processus d'industrialisation et de développement urbain du pays s'est effectué jusqu'à récemment sans que les précautions environnementales ne soient réellement prises en considération.

1.4.2. Origine de la production de déchets

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites.
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la

Matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.

- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet.
- Economiques : les produits en une durée de vie limitée.
- Ecologiques : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres

Déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.

- Accidentelles : l'inévitable dysfonctionnement des systèmes de production et de consommation sont eux aussi à l'origine de déchets.

1.4.3. Différents types de déchets

- **Déchets ultimes**

Tout déchet ménager et assimilé brut issu du ramassage parallèle à la collecte sélective, le refus de tri, le déchet industriel banal issu des ménages et des déchetteries ainsi que les boues de stations d'épuration.

- **Déchets inertes**

Déchet qui ne subit aucune modification physique, chimique ou biologique importante; Ne se décompose pas, ne brûle pas, et ne produit aucune réaction physique ou chimique, ne sont pas biodégradable et ne détériore pas d'autres matières avec lesquelles il entre en contact , d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine.

Ces déchets sont admissibles dans les installations de stockage et proviennent essentiellement des chantiers de bâtiment et de et de travaux publics ou d'industries de fabrication de matériaux de construction. Ce sont notamment les déchets suivants : Les bétons, les tuiles et les céramiques, les briques, les déchets de verre, les terres, les enrobés bitumeux.

- **Déchets assimilés**

Les déchets ménagers et assimilés recouvrent les ordures ménagères (OM) qui proviennent des ménages et tous les déchets gérés comme tels par les collectivités locales (Déchets des artisans ou commerçants)

- **Déchets organiques**

Les termes suivants recouvrent la même notion : bio déchets ou déchets fermentescibles ou FFOM (fraction fermentescible des ordures ménagères). Il s'agit de :

- Déchets végétaux des parcs et jardins (déchets verts).
- Déchets organiques de la cuisine (restes de repas, épluchures, papiers essuie-tout, papier journal, fleurs coupées, marc de café, filtres à café, sachets de thé, coquilles d'œufs, etc.
- Boues

- **Déchets industriels banals (DIB)**

Ils regroupent l'ensemble des déchets non dangereux produits par les industriels et par les entreprises du commerce, de l'artisanat, des services et de l'administration, de la métallurgie, la peinture, la chimie et la pétrochimie. Ce sont des déchets d'emballage, des déchets d'entretien et les matériels en fin de vie.

- **Déchets dangereux**
- **Déchets industriels spéciaux (DIS)**

Ces déchets figurent en raison de leurs propriétés dangereuses, exemple : déchets contenant de l'arsenic, du plomb ; constitués de boues de peinture, d'hydrocarbures ; provenant de l'industrie pétrolière, etc.

- **Déchets ménagers spéciaux (DMS)**

Ce sont les déchets à risque contenus dans les déchets ménagers, tels que les aérosols, colles, détergents, détachants insecticides, peintures, piles, tubes néon, produits de nettoyage. Il peut s'agir de ce qu'on appelle également les DTQS : déchets toxiques en quantité dispersé**.[17]**

1.4.4. Législation européenne relative aux déchets

En 2007, la production, le stockage, le traitement et le recyclage des déchets est désormais encadrée en Europe par une législation de plus en plus élaborée. l'incinération des déchets dangereux est l'objet de la Directive n° 2000/76/CE du parlement européen et du Conseil du 4 décembre 2000. Le stockage de déchets industriels spéciaux est définie par la Directive n°1999/31/CE du 26 avril 1999 concernant la mise en décharge des déchets et la Décision de la Commission n° 2000/532/CE du 3 mai 2000 ainsi que la Décision94/904/CE du Conseil établissant une liste de déchets dangereux. La qualité de L'air est quant à elle protégée par le Règlement du Parlement européen et du Conseil CE 2037/2000 du 29 juin2000 sur les substances qui appauvrissent la couche de zone et par la décision du Conseil du 25avril 2002 qui est l&#39 ; Approbation, au nom de la Communauté Européenne, du protocole de Kyoto à la convention cadre des Nations unies sur les changements climatiques et l'exécution conjointe des engagements qui en découlent **[18]**.

1.4.5. Recyclage

Toute opération de valorisation par laquelle les déchets sont retraités en produits, matières ou substances aux fins de leur fonction initiale ou à d'autres fins. Cela inclut le retraitement des matières organiques, mais n'inclut pas la valorisation énergétique, la conversion pour l'utilisation comme combustible ou pour des opérations de remblayage. (Directive cadre 2008/98/CE, 2008)

1.4.5.1. Définition de recyclage

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets industriels et des déchets ménagers qui permet de réintroduire, dans le cycle de production d'un produit, des matériaux qui le

composent. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume de déchets et la préservation des ressources naturelles. C'est une des activités économiques de la société de consommation. Certains procédés sont simples et bon marché mais, à l'inverse, d'autres sont complexes, coûteux et peu rentables. Dans ce domaine, les objectifs de l'écologie et ceux des consommateurs se rejoignent mais parfois divergent ; c'est alors le législateur qu'intervient. Ainsi, en particulier depuis les années 70, le recyclage est une activité importante de l'économie et des conditions de vie des pays développés.

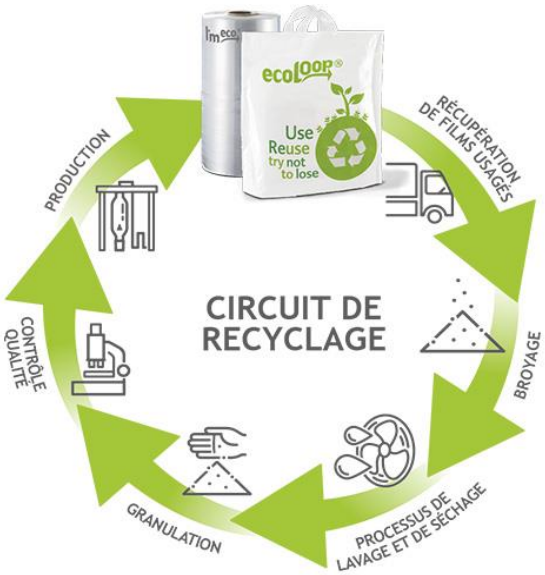


Figure 1.15 : le cycle du recyclage.

1.4.5.2. Compostage

Il existe trois grandes familles de techniques de recyclage : chimique, mécanique et organique. Le recyclage dit « chimique » utilise une réaction chimique pour traiter les déchets, par exemple pour séparer certains composants. Le recyclage dit « mécanique » est la transformation des déchets à l'aide d'une machine, par exemple pour broyer. Le recyclage dit « Organique » consiste, après compostage ou fermentation, à produire des engrais et du carburant tel que le biogaz**.[19]**

1.4.5.3. La chaîne du recyclage

A. Collecte de déchets

Les opérations de recyclage des déchets commencent par la collecte des déchets.

- Les déchets non recyclables sont incinérés ou enfouis en centres d'enfouissement techniques.

- Les déchets collectés pour le recyclage ne sont pas destinés ni à l'enfouissement ni à l'incinération mais à la transformation. La collecte s'organise en conséquence.

La collecte sélective, dite aussi séparative et souvent appelée à tort tri sélectif est la forme la plus répandue pour les déchets à recycler. Le principe de la collecte sélective est le suivant : celui qui crée le déchet le trie lui-même.

À la suite de la collecte, les déchets, triés ou non, sont envoyés dans un centre de tri où différentes opérations permettent de les trier de manière à optimiser les opérations de transformation. Le tri manuel est une de ces opérations.

B. Transformation

Une fois triés, les déchets sont pris en charge par les usines de transformation. Ils sont intégrés dans la chaîne de transformation qui leur est spécifique. Ils entrent dans la chaîne sous forme de déchets et en sortent sous forme de matière prête à l'emploi.

C. Commercialisation et consommation :

Une fois transformés, les produits finis issues du recyclage sont utilisés pour la fabrication de produits neufs qui seront à leur tour proposés aux consommateurs et consommés ; Pour être en fin de vie, à nouveau jetés, récupérés et recyclés **[20]**.

1.4.5.4. Récupération et recyclage

Les déchets sont également de bonnes sources de matières premières. La récupération et le recyclage des déchets peuvent aider à réduire l'utilisation de matériaux vierges pour la production de nouveaux produits. Le recyclage des déchets de construction et de démolition peut également conserver l'espace dans les décharges et de grandes quantités de matériaux comme les métaux, le verre, les plastiques et les cartons peuvent être récupérés **[21]**.

1.4.5.5. Compostage

Le compostage est un moyen de ramener les nutriments dans l'environnement en permettant aux microorganismes de transformer les déchets en fumier. L'application de ce fumier à des terres agricoles peut améliorer la fertilité du sol en lui fournissant des éléments nutritifs essentiels **[22].**

1.4.5.6. Valorisations des déchets organiques

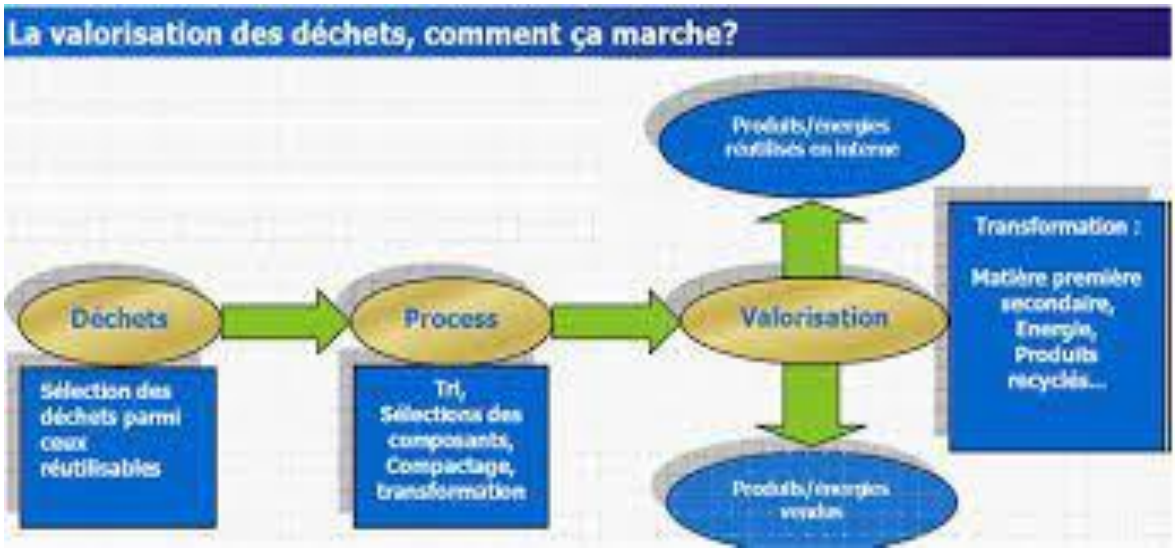


Figure 1.16 : processus de valorisation organique

1.5. UTILISATION DES RESIDES VEGETAUX DANS LE DOMAINE DE GENIE CIVIL

1.5.1. Introduction

L'industrie alimentaire produit chaque année d'importantes quantités de déchets végétaux. Afin de traiter ces déchets, on est à la recherche de solutions innovantes au sein de ce propre secteur, ainsi que dans d'autres secteurs. La fabrication de matériaux de construction fait partie des débouchés envisageables. Cette option est d'autant plus vraisemblable que l'ajout de matériaux d'origine végétale à des produits de construction d'origine minérale permettrait d'améliorer les propriétés de ces derniers.

Dans ce qui est suit, on présente quelques exemples d'utilisation de déchets végétaux dans la fabrication du béton et du mortier.

1.5.2. Noyau d'olive

La quasi-totalité d'olive est produit par les pays méditerranéens dont l'Algérie qui produit environ 1% de la production mondiale. Les noyaux d'olives sont des sous-produits naturels d'origine végétale issue essentiellement de procédés tels que la préparation d'huile d'olive et l'obtention d'olives dénoyautées pour le commerce. Ces déchets sont des matériaux carbonés habituellement utilisés dans différents domaines, pour l'alimentation animale, pour produire de l'huile de grignons d'olive, pour la fabrication de quelques produits cosmétiques et depuis quelques années, ces derniers sont utilisés dans le domaine génie civile.

Les noyaux d'olives constituent le troisième produit majeur des déchets issus des industries alimentaires pouvant trouver un débouché dans la fabrication de matériaux de construction**.[23]**

1.5.2.1. Définition

L'olive est une drupe, dont la peau (épicarpe) est recouverte d'une matière cireuse imperméable à l'eau, avec une pulpe (mésocarpe) charnue riche en matière grasse. D'abord verte, elle devient noire à maturité complète. Le noyau très dur, osseux, est formé d'une enveloppe (endocarpe) qui se clarifie l'été à partir de la fin juillet, et contient une amande avec deux ovaires, dont l'un est généralement stérile et non fonctionnel : cette graine (rarement deux) produit un embryon, qui donnera un nouvel olivier si les conditions sont favorables **[23].**



Figure 1.17 : Noyau d'olive.

1.5.2.2. Caractéristiques des noyaux d'olive

- Forme : ellipsoïdale
- La taille : petite à moyenne.
- Pois de grain :
- Couleur : verre et noire.
- Surface : grossière.

1.5.3. Influence de noyau d'olive sur le comportement des matériaux à base cimentaires

- **La conductivité thermique**

Chelouah et Tahakourt **[24]** ont incorporé le grignon d'olive broyé à différents pourcentages dans la brique qui a donné une absorption en eau faible et une isolation thermique importante en raison des pores formés qui sont fermés.

Stifania.l et al. **[25]** Ont montrent que l'ajout des fibres végétales dans les mélanges argileux a un impact important sur la densité et la conductivité thermique. En augmentant le pourcentage de fibre d'olive, la capacité d'isolation thermique augmente.

Mucahit Sutcu et al.**[26] ont** étudies l'Effet de l'ajout de déchets de moulin à huile sur les propriétés de cuisson a des valeurs de température déférente poreuse briques d'argile utilisant la méthode Taguchi ont trouvé que seulement l'ajout de déchets d'olive a été le facteur important dans l'augmentation qui concerne la conductivité thermique.

- **La résistance à la compression**

M. Sutcu et al. **[27]** Ont étudié l'influence de déchets de noyau d'olive avec des pourcentages de (0, 5 et 10%) sur le comportement mécanique de brique d'argile. Ils ont trouvé que la résistance à la compression de brique diminue en fonction de d'augmentation de pourcentages de déchets d'olive.

Djadouf et al**. [28]** Ont utilisés les grignons d'olive dans la fabrication des briques de terre cuite avec des pourcentages de (0, 1, 2, 3, 4, 5 et 10%) ils ont trouvés que la résistance à la compression des échantillons cuits diminue avec le pourcentage d'ajouts. Pourcentage de chute par rapport à l'échantillon témoin atteint 37.2% pour un ajout de 10%.

Sharaf Alkheder et al. **[29]**. Ont étudié l'effet des déchets olive sur le comportement de la pâte de ciment, On montrer que l'expansion diminue considérablement avec le pourcentage de déchets d'olive. Les résultats la résistance à la compression de la pâte de ciment mélangée durcie contenant différents pourcentages de déchets d'olive indiquent une légère diminution avec une teneur en déchets d'olive.

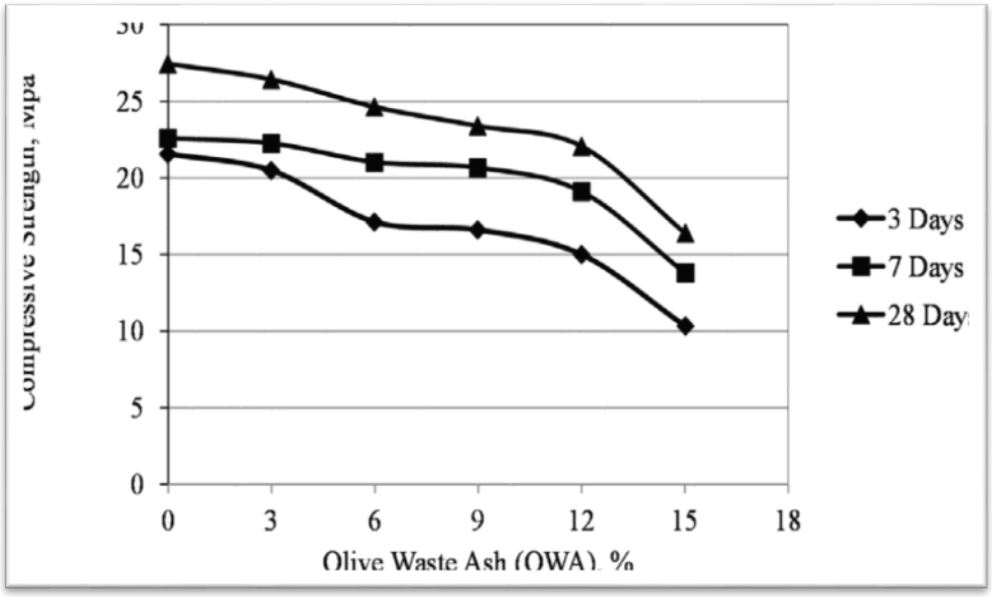


Figure 1.18 : La force de compression par rapport au pourcentage de cendres de déchets d'olive (OWA)

1.5.4. Noyau datte

La valorisation des noyaux des dattes permet d'élaborer plusieurs produits et dérivés entre autres : café, produits cosmétiques (huile et khôl) et aliments pour bétail. L'intérêt mondial croissant porté à la préservation de l'environnement des déchets solides induits par les différentes activités et transformations humaines a suscité l'attention des industriels à trouver les moyens techniques pour réduire sinon valoriser ces déchets.

1.5.4.1. Définition

Le noyau de datte (ou graine) est de forme allongée et de grosseur variable. Son poids moyen est environ d'un gramme, il représente 7 à 30 % du poids de la datte. Le noyau de datte, enveloppé dans l'endocarpe membraneux, est constitué d'un albumen corné d'une consistance dure protégé par une enveloppe cellulosique. Albumen corné d'une consistance dure protégé par une enveloppe cellulosique **[30]**.



Figure 1.19 : Noyau datte.

1.5.4.2. Caractéristiques des noyaux de dattes

- Forme : parfois droite
- Taille : petite à moyenne.
- Graine/fruit : 1/2 à 1/3.
- Poids de 20 graines : 14 à 20g.
- Couleur : souvent marron.
- Surface : lisse.
- Forme du sillon : non prononcé
- Pédoncule : court.

1.5.4.3. Domaine utilisé de noyau de dattes

Le noyau est utilisable dans l'alimentation humaine : après torréfaction, il peut en effet constituer un succédané du café et donne une décoction d'une saveur et d'un arôme agréable (café décaféine). Il est surtout utilisé comme provende pour les animaux ; sa valeur fourragère équivaut à celle du Kilogramme d'orge. Il constitue donc d'un sous-produit des plus intéressants **[31]**.

1.6. Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien tels que le ciment, les granulats, les super plastifiants). On a réalisé des essais importants pour déterminer les caractéristiques Rhéologiques et mécaniques. Tout dans le but de connaître l'effet des déchets de végétaux (Noyau d'olive et noyau de datte) sur le béton de sable fluide.

Chapitre 2

Caractérisation des Matériaux et Méthodes d'essais

2.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présentera en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition de nos différents mélanges. À savoir : le ciment et les fillers, les résidus végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), le sable, l'adjuvant et l'eau de gâchage. Dans une seconde partie, on exposera la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons de sable étudiés. Nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude et leurs modes opératoires (état frais et durci).

A. L'état frais :

- Mesure de l'étalement au mini cône.
- Mesure de la densité fraiche.

B. L'état durci :

- Mesure de la résistance à la compression à l'âge de 7 et 28 jours.
- Mesure de la vitesse ultrasonique et la densité sèche à l'âge de 28 jours.
- Mesure de la porosité accessible à l'eau et l'absorption capillaire à l'âge de 28 jours
- Mesure de la conductivité thermique à l'âge de 28 jours.

2.2. Caractérisation des matériaux utilisés

Pour la confection de nos bétons, nous avons utilisé des matériaux locaux de la wilaya de Médéa. Ces matériaux sont caractérisés expérimentalement au niveau du laboratoire de Génie Civil de l'université de Médéa tout en assurant les recommandations des normes en vigueur **[32].**

2.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un CEM II/B 42.5 (MATINE), un ciment portland composé produit par la cimenterie de LAFARGE (Fig. 2.1) dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42.5 MPa. Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'oxyde d'alumine (Al_2O_3) et l'oxyde de fer (Fe_2O_3). La composition chimique et minéralogique de ce ciment est présentée dans le tableau 2.1. Ses caractéristiques sont présentées dans la fiche technique en Annexe A **[33].**



Figure 2.1. Ciment MATINE utilisé

Tableau 2.1. Composition chimique et minéralogique du ciment utilisé

Analyse chimique						
Désignation	P F	R I	SO_4	MgO	Cl	IA
%	7.5-12	0.7-2	2-2.7	1-2.2	0.01-0.05	0.3-0.75
Désignation	***Composition hypothétique du clinker***					
%	C_3S%	C_2S%	C_3A%	C_4AF %		
	58-64	12-18	6-8	10-12		

2.2.2. Les fillers (poudre de marbre)

Les fillers utilisés au cours de ce travail sont obtenus par broyage des déchets de concassage du marbre (Figure 2.2). Rappelons que la poudre de marbre est la plus adaptée au béton et donne des bonnes performances. Les caractéristiques physiques de la poudre de marbre utilisée sont présentées dans le tableau 2.2.



Figure : 2.2. Poudre de marbre

Tableau 2.2. Propriétés physiques de la poudre de marbre

Caractéristiques	**Marbre**
Classe granulaire	0/3
Surface spécifique	3000
Masse volumique absolue (g/cm³)	2.70

2.2.3. Le sable

Le sable utilisé est un sable de dune provient de la région d'Oued-Souf. Il est propre et de grains de forme isométrique et arrondie (Figure 2.3). Avant son utilisation, il est séché pondant 24h à température de 105°C **[34].** Les caractéristiques physiques de ce sable sont données au tableau 2.3 et sa courbe granulométrique est présentée dans la Figure 2.9. L'analyse par FTR du sable utilise est présentée dans la figure 2.4.



Figure 2.3. Sable d'Oued-Souf utilisé

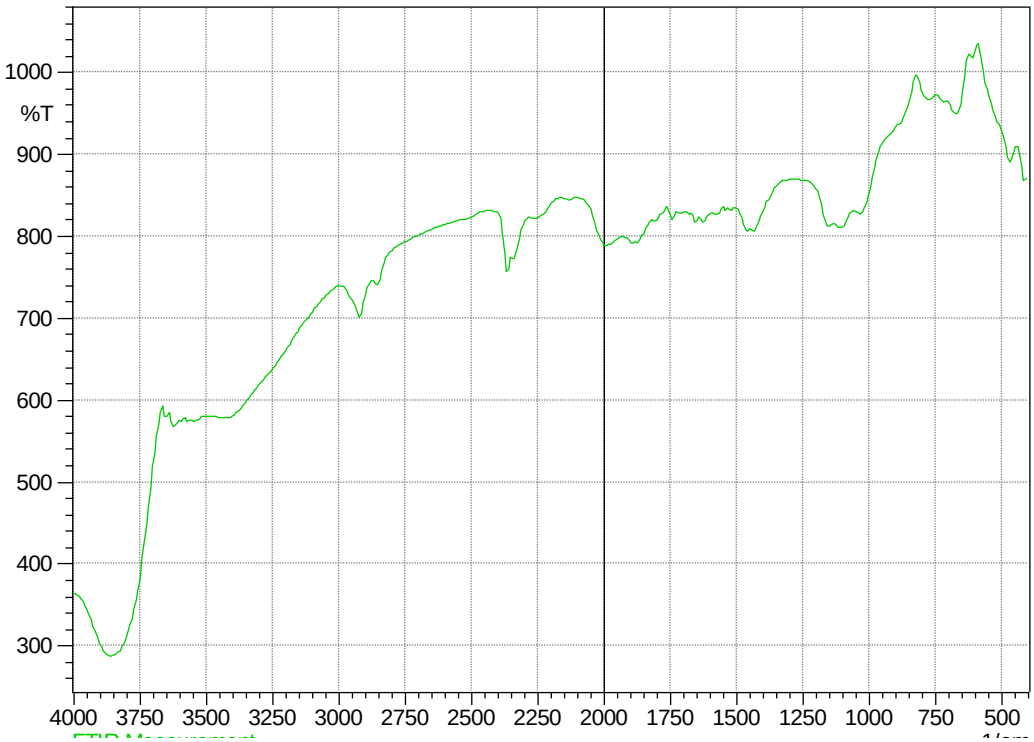


Figure 2.4. Analyse FTR du sable utilisé.

Tableau 2.3. Caractéristiques physiques du sable utilisé

Caractéristiques	Sable
Masse volumique absolue (g/cm ^{3})	2.63
Masse volumique apparent (g/cm ^{3})	1.48
Module de finesse MF	2.07
Taux absorption (%)	0.20

2.2.4. Les Résidus végétaux

Nous avons utilisé dans notre étude deux (02) résidus végétaux pour la substitution du sable : les noyaux d'olive et les noyaux de datte. Les caractéristiques physiques de ces deux résidus sont représentées au tableau 2.5, ainsi que leurs courbes granulométriques sont présentées à la Figure 2.9.

2.2.4.1. Noyaux d'olive

Les noyaux d'olive sont des résidus solides de couleur verre brunette, après leur ébullition dans l'eau pour éliminer la matière grasse, on a procédé par son étuvage à 105°C pondant 24h. Il a été ensuite concassé dans la machine LOS ANGELES pour obtenir une matière granulée de diamètre proche à ceux du sable (Fig. 2.3). La courbe granulométrique de ce résidu, est présentée dans la figure 2.9 et sa composition chimique est donnée au tableau 2.4. L'analyse par FTR des noyaux d'olive utilisés est présentée dans la figure 2.6.



Figure 2.5. Noyaux d'olives concassés.

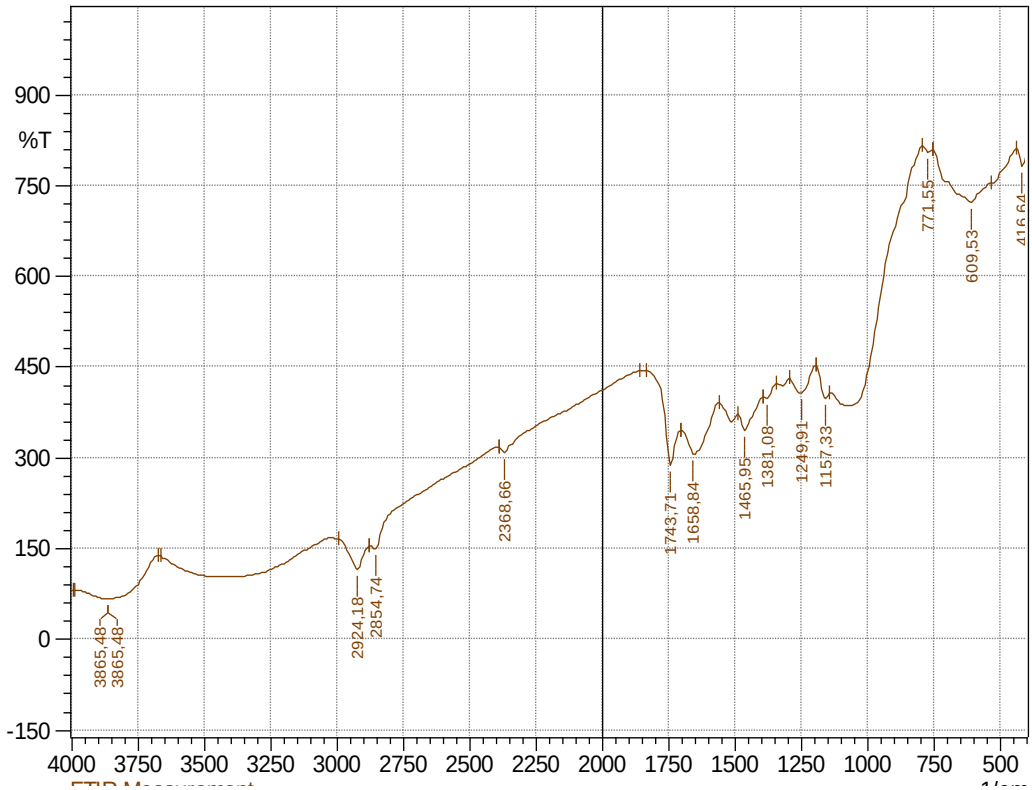


Figure 2.6. Analyse FTR des noyaux d'olives concassés.

Tableau 2.4. Composition chimique des noyaux d'olive utilisés

Partie	*Matières azotée totales*	*Matières Grasses*	*Cellulose brute*	*Matières Minérales*	*Extractif non azoté*
Epicarpe	9.8	3.4	2.4	1.6	82.8
Mésocarpe	9.6	51.8	12	2.3	24.2
Endocarpe	1.2	0.8	74.1	1.2	22.7

2.2.4.2. Noyaux de datte

Les noyaux de datte sont des grains de forme allongée et de couleur marron (Figure 2.7), ils représentent de 7 à 30% du poids de la datte et sont constitués d'un albumen corné de consistance dure protégé par une enveloppe cellulosique. Après son ébullition dans l'eau pour éliminer la matière cellulosique, on a procédé par son étuvage à 105°C pondant 24h. Il a été ensuite concassé dans la machine LOS ANGELES pour obtenir une matière granulée de diamètre proche à ceux du sable. La composition chimique des noyaux de dattes est donnée au tableau 2.5 et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.9. L'analyse par FTR des noyaux de dattes utilisés est présentée dans la figure 2.8.



Figure 2.7. Noyaux de dattes utilisés

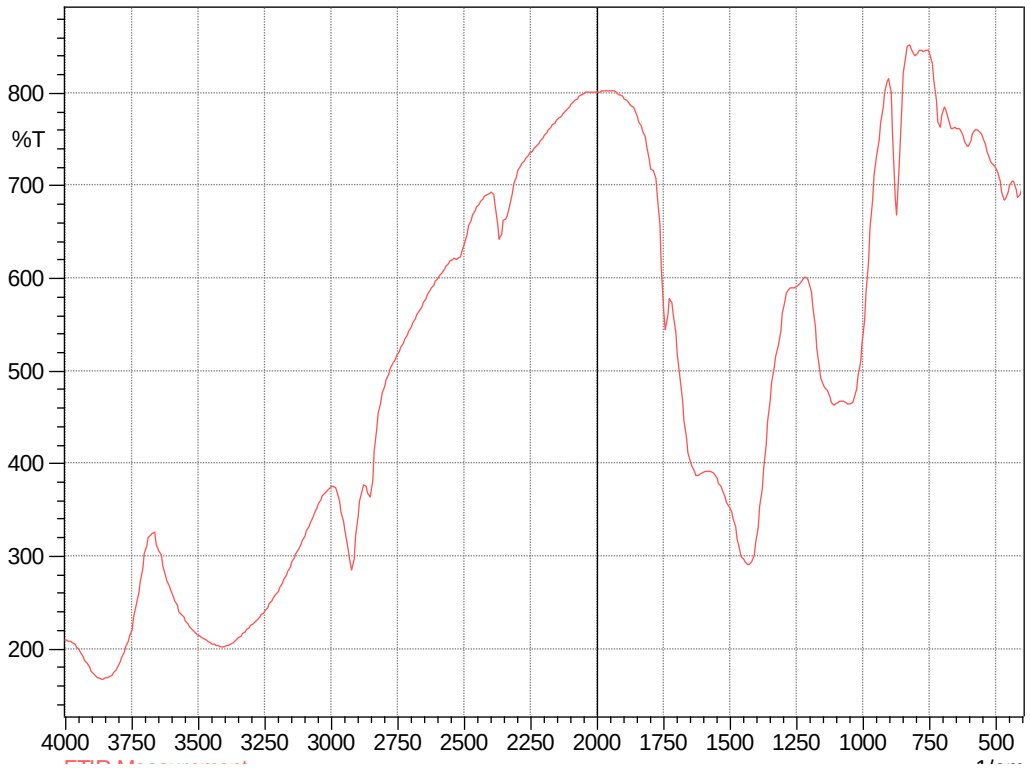


Figure 2.8. Analyse FTR des noyaux de dattes concassés utilisées

Tableau 2.5. Composition chimique des noyaux de datte utilisés

Cellulose	Eau	Cendres	Lipides	Protides	Glucides	Ph	Valeur fourragère
17.32-16.20	7.16-6.46	1.08	8.86-8.49	6.54-5.22	58.9-62.51	5.76- 0.07	1.09-1.1

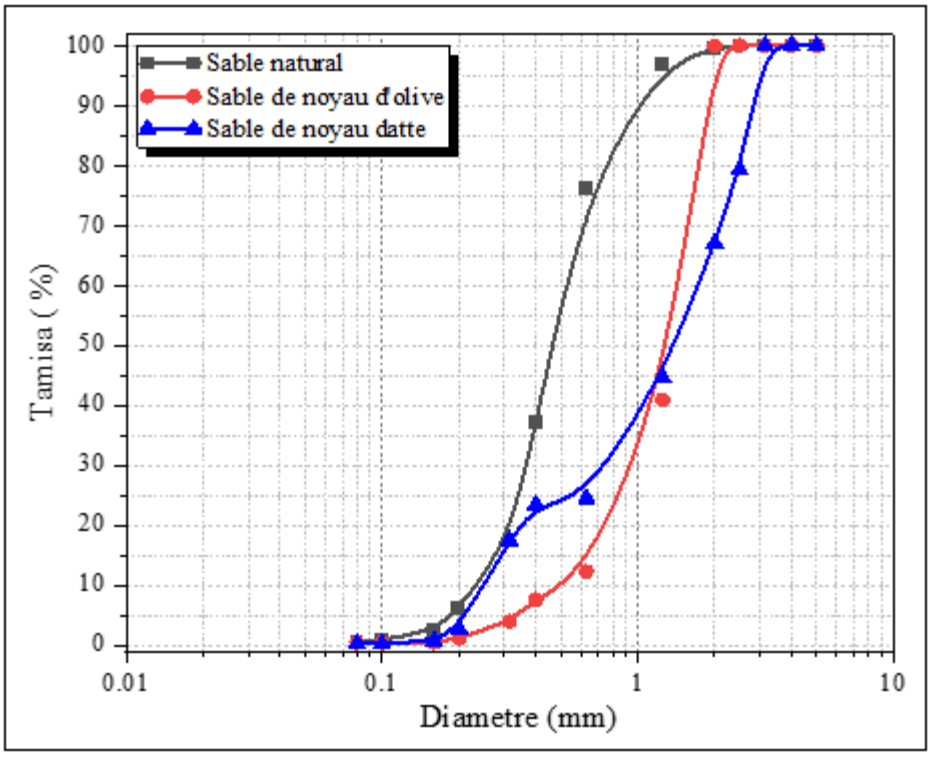


Figure 2.9. Courbe granulométrique du sable naturel et déchets végétaux utilisé.

Tableau 2.6. Caractéristiques physiques des résidus végétaux utilisés

Caractéristiques	Noyau d'olive	Noyau de dattes
La masse volumique absolue (g/cm ^{3})	**1.379**	**0.881**
Taux absorption (%)	**15.5**	**13.10**
Module de finesse MF	**3.43**	**3.10**

2.2.5. L'eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la confection de nos bétons est celle du robinet considéré comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN – 1008 **[35].**

2.2.6. Adjuvant

Le superplastifiant utilisé dans cette étude est un haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates, fournie par la société Sika et commercialisé sous le nom « ViscoCrete - 4037 RMX » (Figure 2.6). Il est particulièrement recommandé pour les ciments à moyenne ou haute teneur en sulfates alcalins. Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments. Sa plage normale d'utilisation est fixée entre 0.3 et 2.5% du poids de ciment. Ses plus importantes caractéristiques sont présentées ci-dessous et données en fiche technique du produit présentée en annexe B.

- **Description du produit**

- Base chimique……Polycarboxylates
- Conditionnement……Fût de 200 kg ; Cubi de 1110 kg ; Vrac
- Durée de Conservation……12 mois dans son emballage d'origine intact
- Conditions de Stockage……A l'abri du gel ; En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une foi ; dégelé lentement et réhomogénéisé
- Aspect / Couleur……Liquide brun clair à brun foncé
- Densité……1,06 à 1,07
- Valeur pH……. 5 ± 1,0
- Teneur Totale en Ions Chlorure…… ≤ 0,1 %

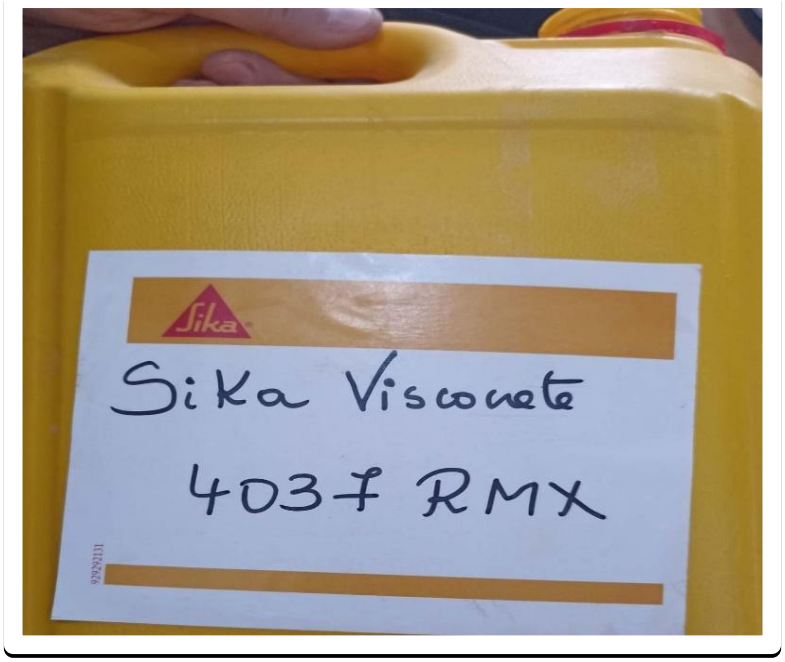


Figure 2.10. Superplastifiant utilisé.

2.3. Traitement des granulats végétaux

Dans le but d'améliorer les caractéristiques physico-mécaniques des mélanges étudiés, notamment sur l'adhérence entre la pâte de ciment et les résidus végétaux utilisés, les granulats à base de noyaux d'olive et noyaux de datte avant leur incorporation dans le béton sont subis deux modes de traitement différents basés sur une modification de surface. Ils visent entre autres à limiter le comportement hydrophile, à modifier la topographie ou la chimie de surface des granulats végétaux.

2.3.1. Traitement par l'hydroxyde de sodium NaOH

Le premier traitement a consisté à tremper pendant 24 heures les granulats végétaux dans une solution de NaOH dosée à 50g/l, qui a été récupérée après dissolution des pastilles dans de l'eau distillée (Figure 2.11). Après ils sont retirés de la solution chimique et rincées plusieurs fois avec du l'eau distillée pour éliminer toute trace de NAOH autour des grains. Enfin, les grains lavés ont été séchées à 40°C pendant 24h.



Figure : 2.11. Le traitement des granulats végétaux par la NaOH.

2.3.2. Traitement par le coulis de ciment

Le second traitement a été un mélange sous agitation des granulats végétaux pendant 2 heures dans une solution de ciment dosée à 200g/l (coulis de ciment à 1/5 d'eau), puis séché à 40°C pondant 24h. Ce traitement a été choisi, dans le but de modifier la surface des grains et améliorer son adhérence avec la pâte de ciment.

2.4. Formulation du béton

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériau du gâchée, afin d'obtenir un béton (BSF) avec des propriétés souhaitées. La méthode de formulation adaptée pour nos mélanges est celui basée sur la méthode théorique SABLOCRETE 1994**[36].**

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'ajout des déchets végétaux sur les caractéristiques du béton de sable fluide. Les différents mélanges préparés ainsi leurs nomenclatures sont présentées comme suit.

- **BSFT1** : Béton de sable fluide témoin.
- **BSFT2** : Béton de sable fluide témoin.
- **NO10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyau d'olive ;
- **NO20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyau d'olive ;
- **NO30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyau d'olive ;
- **NO40 :** Béton de sable fluide avec 40% de noyau d'olive ;
- **ND10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyau de dattes ;
- **ND20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyau de dattes ;
- **ND30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyau de dattes ;
- **ND40 :** Béton de sable fluide avec 40% de noyau de dattes ;
- **ND50 :** Béton de sable fluide avec 50% de noyau de dattes.

Les différents mélanges préparés à base des granulats végétaux traités par la NaOH, ainsi leurs nomenclatures sont présentées comme suit.

- **NO+NaOH10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyaux d'olive traités par la NaOH ;
- **NO+NaOH20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyaux d'olive traités par la NaOH ;
- **NO+NaOH30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyaux d'olive traités par la NaOH ;
- **ND+NaOH10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyaux de dattes traités par la NaOH ;
- **ND+NaOH20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyaux de dattes traités par la NaOH ;
- **ND+NaOH30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyaux de dattes traités par la NaOH ;
- **ND+NaOH40 :** Béton de sable fluide avec 40% de noyaux de dattes traités par la NaOH.

Les différents mélanges préparés à base des granulats végétaux traités par le coulis de ciment. Ainsi leurs nomenclatures sont présentées comme suit.

- **NO+C10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyaux d'olive traités par le coulis de ciment ;
- **NO+C20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyaux d'olive traités par le coulis de ciment ;
- **NO+C30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyaux d'olive traités par le coulis de ciment ;
- **ND+C10 :** Béton de sable fluide avec 10% de noyaux de dattes traités par le coulis de ciment ;
- **ND+C20 :** Béton de sable fluide avec 20% de noyaux de dattes traités par le coulis de ciment ;
- **ND+C30 :** Béton de sable fluide avec 30% de noyaux de dattes traités par le coulis de ciment.

2.5. Malaxage des mélanges

Pour la préparation de nos bétons de sable fluide, le malaxage des mélanges se fait dans un malaxeur à mortier d'une capacité de 5L (Figure 2.12). L'introduction des constituants se fait des plus gros grains au plus fins. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante (Figue 2.13) :

- On verse les gros grains (le sable et les granulats végétaux) ;
- Puis en ajoute les fillers et le ciment et on malaxe à sec pendant 30 secs ;
- On verse deux tiers d'eau de gâchage, puis on malaxe pendant 1 minutes ;
- Après on ajoute du superplastifiant mélangé avec le tiers de la quantité d'eau de gâchage et on mélange pendant 1 minute ;
- Après, on poursuivre le mélange à vitesse rapide pendant 3 minutes, puis on laisse le mélange repose 3 minutes ;
- Puis on recommence le malaxage à vitesse rapide pendant 1 minute et 30 secs.

La séquence de malaxage est la même pour tous les mélanges du béton.



Figure : 2.12. Procédure de malaxage au laboratoire.

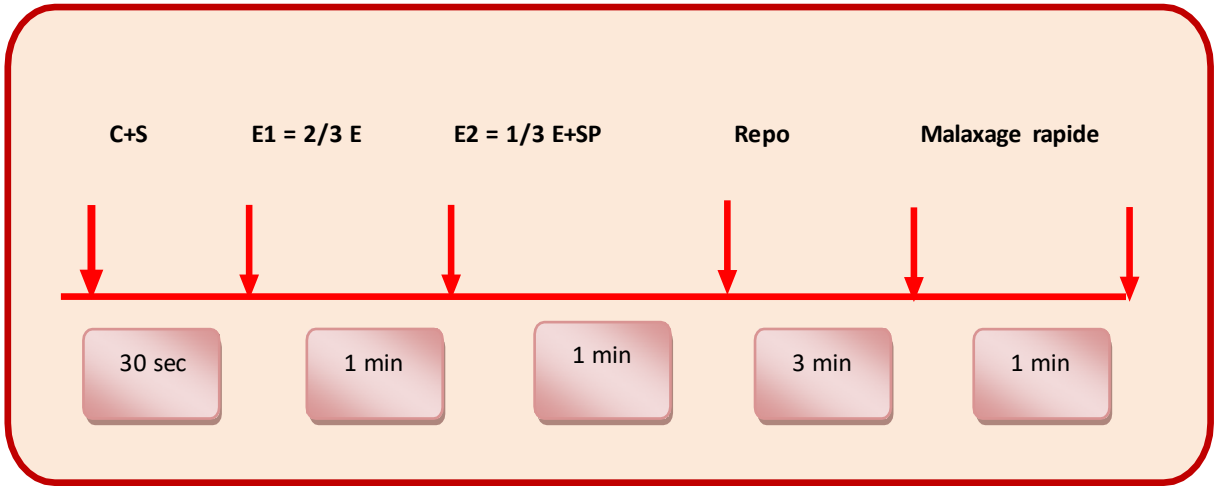


Figure : 2.13. Séquence de malaxage du béton de sable fluide.

.

2.6. Les essais réalisés sur les différents mélanges (BSF)

2.6.1. Etat frais

2.6.1.1. Essais d'étalement au mini-cône

L'essai d'étalement consiste à remplir un moule tronconique placé sur une surface horizontale lisse. Une fois le moule soulève, le diamètre d'étalement du mortier est mesure suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue (Figure 2.14).



Figure : 2.14. Etapes de l'essai d'étalement.

2.6.1.2. Densité

La densité des mélanges a été calculée en fonction de l'échantillon introduit dans le moule de volume (V= 1 L) est déterminée suivant la norme NF P 18-440**[37].** La figure 2.15 montre les étapes de l'essai.



Figure : 2.15. Mesure de la densité du béton

2.6.2. Confection, démoulage et conservation des éprouvettes

Les différents types de BSF sont tous fabriqués dans l'environnement de laboratoire. Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique 4x4x16 cm^3 destinés aux différents essais programmés à l'état durci (Figure 2.16).

Pour assurer un bon mûrissement de nos bétons, les éprouvettes sont démoulées après 24 heures et placées dans un bac rempli d'eau à une température d'environ 20°C jusqu'à les échéances des essais.



Figure : 2.16. Conservation des éprouvettes

2.6.3. Etat durci

2.6.3.1. Essai de la résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1]]**[38]** par compression axiale des demi prismes 4x4x16 cm^3 à l'âge de 7 et 28 jours. La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (3) échantillons. La figure 2.17**.** Montre les étapes de l'essai.



Figure : 2.17. Essai de compression sur éprouvette béton

La résistance à la compression est déterminée donc par la formule suivante :

$$\mathbf{Rc} = \frac{\mathbf{F_c}}{\mathbf{b^2}} \quad \text{..... (Equation 2.1)}$$

Rc : Résistance à la compression en (MPa) ;

Fc : Charge de rupture en (N) ;

b : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm.

2.6.3.2. Essai de Vitesse ultrasonique

Avant de procéder à l'essai ultrasonique, on a pris le soin de vérifier le bon fonctionnement par étalonnage de l'appareil en utilisant le barreau de calibrage. Les mesures à l'ultrason ont été effectués en deux sens selon la méthode par transmission directe de telle façon que le sens de mesure du temps de transit soit perpendiculaire au sens de confection de l'éprouvette. Sur les faces opposées de l'éprouvette on a placé les deux transducteurs en interposant entre eux une couche mince de vaseline, puis l'enregistrement du temps de transit en micro seconde est réalisé. La figure 2.18 montre les étapes de l'essai.

Connaissant la distance entre les deux transducteurs, la vitesse ultrasonique est donnée par la formule suivante :

$$V = \frac{L}{t} \quad \text{.....(Equation 2.3)}$$

Avec :

V : vitesse de propagation d'ondes en m/s ;

L : distance entre les deux transducteurs en m ;

t : temps de propagation d'ondes en s.



Figure : 2.18. Mesure de la vitesse ultrasonique.

2.6.3.3. Essai d'absorption d'eau par capillarité

Le coefficient d'absorption d'eau par capillarité est mesuré sur des éprouvettes prismatiques (4x4x16) cm^3. Dans les conditions prescrites, à la pression atmosphérique, une face de l'éprouvette est immergée dans 5 mm d'eau pendant une durée spécifique (Figure 2.19). On détermine alors l'augmentation de la masse après plusieurs échéances jusqu'à la stabilisation de la masse.

Le coefficient d'absorption capillaire ça est alors calculé par l'équation suivante :

$$Ca = \frac{Mx - M0}{M0} \times 100 \quad \text{.....(Equation 2.4)}$$

Avec :

Mx : masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),

M_0 : masse initiale de l'éprouvette (kg),

A : section de l'éprouvette (m^2).



Figure : 2.19. Essai d'absorption d'eau par capillarité.

2.6.3.4. Porosité accessible à l'eau

C'est le rapport du volume total des pores ouverts dans un corps poreux à son volume apparent suivant les recommandations en vigueur **[39,40]**. Elle s'exprime en pourcentage du volume apparent :

$$P\ \% = \frac{Mair - Msec}{Mair - Meau} \times 100 \quad \text{..... (Equation 2.5)}$$

Pour ce faire, trois échantillons de bétons de sable fluide ont été testés pour chaque formulation et après 28 jours de maturation. Il s'agit en réalité de peser les échantillons sous différents états. Dans un premier temps il faut s'assurer que les échantillons sont saturés en eau. Pour cela, ont les places dans un dessiccateur à vide, sous une dépression de 25 mbar pendant 4 heures, puis on immerge les échantillons dans l'eau, toujours sous vide, pendant 20heures ± 1heures. Après quoi les éprouvettes subissent une pesée hydrostatique.

Pour déterminer M_{eau} un échantillon est suspendu à l'aide d'un fil du système de suspension de la balance hydrostatique (figure 2.20) et il est pesé complètement immerger dans l'eau. La pesée doit être effectuée à 0.001g prés.

Pour déterminer M_{air} il faut extraire l'échantillon de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge ou d'un linge humide, afin de le débarrasser des goulettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores et le peser immédiatement le

corps d'épreuve dans l'air à l'aide d'une balance précise à 0.001g prés, Il faut s'assurer que l'évaporation de l'eau d'imbibition ne provoque pas de perte de masse appréciable pendant les opérations de pesées.

M_{sec} est obtenue après séchage de l'échantillon en l'exposant à 40±2°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante.



Figure 2.20 : Essai de porosité accessible à l'eau.

2.6.3.5. Les propriétés thermiques

Dans notre travail, nous avons étudié et tester les propriétés thermiques des bétons de sables à base des granulats végétaux par l'utilisation de l'appareil 'CT METRE' (Figure 2.21), selon la norme NF EN 993-15**[41].**

C'est un appareil aisément transportable, a été élaboré dans le but de permettre d'évaluer avec précision, les caractéristiques de résistance thermique d'un certain nombre de matériaux tels que la brique, les roches, le bitume et le béton. Le CT-mètre se compose de deux éléments qui sont l'organe de commande, chargé de générer la puissance de chauffe et d'interpréter la courbe d'élévation de température induite dans le matériau à tester ; et la sonde chargée de transmettre la puissance de chauffe et de recueillir la température induite**.**



Figure 2.21. L'essai de conductivité thermique par CT-mètre.

La résistance thermique (R) des éléments est proportionnelle à l'épaisseur (e) et inversement proportionnelle à λ, elle est déterminée suivant la relation : $R = e/\lambda$.

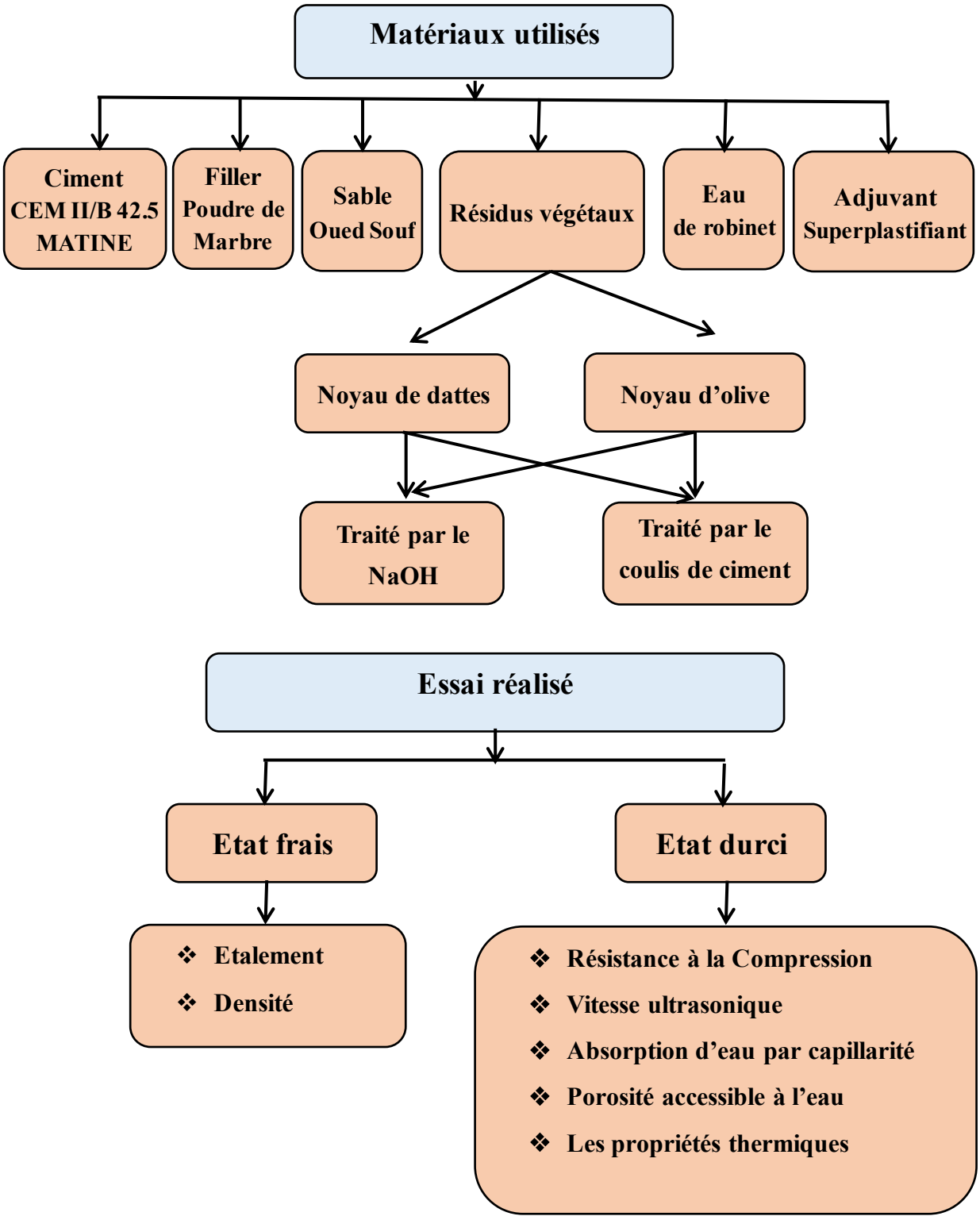


Figure 2.22. Protocole expérimentale adoptés à états frais et durci.

2.7. Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien tels que le ciment, les granulats, les super plastifiants). On a réalisé des essais importants pour déterminer les caractéristiques Rhéologiques et mécaniques. Tout dans le but de connaître l'effet des déchets végétaux noyau d'olive et noyau de datte sur le béton de sable fluide.

CHAPITRE 3

Résultats et discutions

3.1. INTRODUCTION

Le présent chapitre a pour objectif de présenter et analyser les différents résultats expérimentaux trouvés dans cette étude. Pour la caractérisation de nos mélanges à l'état frais et durci, on a basé sur une série d'essais recommandés par l'AFGC et ceux par les normes en vigueurs. Tel que, le diamètre d'étalement au mini cône à l'état frais. Et la résistance à la compression, la densité, l'absorption d'eau par capillarite, la porosité accessible à l'eau et la conductivité thermique à l'état durci. Les différents résultats trouvés sont présentés par la suite.

3.2. FORMULATION DES MÉLANGES

La formulation du béton est une étape très importante dans le but d'obtenir un béton ouvrable, résistant et durable. En général, la formulation du béton dépend des caractéristiques souhaitées à l'état frais et à l'état durci. Pour les bétons fluides, tel que les bétons de sable fluides, la formulation semble plus complexe vue le nombre important de ses constituants et sa particularité à l'état frais dont assurer une grande fluidité et bonne homogénéité et de grande résistance à la ségrégation est nécessaire. Ces propriétés doivent être en balance pour obtenir un bon BAP.

3.2.1. Détermination du rapport SP/C

En ce qui concerne l'optimisation du dosage en super plastifiant (Sp/C) avec la nature du ciment et sable utilisés, ainsi les résidus végétaux employés dans cette étude, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette qui doit être compris entre 26 cm $\leq$ d $\leq$ 33 cm **[42].**

Ce rapport est déterminé comme suit : pour chaque % en déchet, on fait varier le dosage en SP de 0.4 à 2.5%. Les rapports optimaux de SP/C sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon béton de sable fluide.

Le principe de la méthode consiste à rechercher la composition optimale pour chaque dosage en résidu végétal tout en faisant varier le rapport SP/C entre 0.4 et 2.5% ; La formulation adoptée doit présenter un étalement entre 26 et 33 cm, pour notre étude on a fixé un étalement de 28 cm ± 1cm pour tous les mélanges. Les différentes compositions obtenues pour les différents bétons de sable fluides préparés dans cette étude ainsi que les résultats de l'essai d'étalement au mini-cône, sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 3.1 : Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en super plastifiant du béton de sable fluide témoin

Essai	BSFT1	BSFT2
Sp (%)	0.6	0.8
D (cm)	26	27
Remarque	Homogène pas de ressuage	Ressuage





BSFT1 **BSFT2**

Figure 3.1 : Développement de l'essai d'étalement.

Tableau 3.2 : Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux

		Essai 1	Essai 2	Essai 3
BSFD 10 (%)	Sp (%)		0.7	
	D (cm)		28	
	Remarque		Homogène pas de ressuage	
BSFD 20 (%)	SP (%)	0.75	0.8	
	D (cm)	24	26	
	Remarque	Sec	Homogène pas de ressuage	
BSFD 30(%)	SP (%)	0.8	1	1.2
	D (cm)	21	24	26.5
	Remarque	Sec	Sec	Homogène pas de ressuage
BSFD 40 (%)	SP (%)	1.5	1.7	
	D (cm	22	27.3	
	Remarque		Homogène pas de ressuage	
BSFD 50 (%)	SP (%)	1.7	2	2.5
	D (cm)	25	25.6	28
	Remarque	Sec	Sec	Homogène pas de ressuage
BSFO 10 (%)	SP (%)	0.7		
	D (cm)	27		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		
BSFO 20 (%)	SP (%)	0.8		
	D (cm)	26		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		
BSFO 30 (%)	SP (%)	0.8	1	
	D (cm)	25.5	26.9	
	Remarque	Sec	Homogène pas de ressuage	
BSFO 40 (%)	SP (%)	1.5	2	2.5
	D (cm)	20	21	22
	Remarque	Sec	Sec	Sec

Tableau 3.3 : Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux traités par le NaOH

		Essai 1	Essai 2	Essai 3
BSFD 10 (%)	SP (%)	0.8		
	D (cm)	27.2		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		
BSFD 20 (%)	SP (%)	1	1.5	
	D (cm)	25	27	
	Remarque	Sec	Homogène pas de ressuage	
BSFD 30 (%)	SP (%)	2		
	D (cm)	28.5		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		
BSFD 40 (%)	SP (%)	2.2	2.5	
	D (cm)	25	26.5	
	Remarque	Sec	Homogène pas de ressuage	
BSFO 10 (%)	SP (%)	0.5	1	1.4
	D (cm)	22	25	29.5
	Remarque	Sec	Sec	Homogène pas de ressuage
BSFO 20 (%)	SP (%)	2.2		
	D (cm)	29		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		
BSFO 30 (%)	SP (%)	2.5		
	D (cm)	28.5		
	Remarque	Homogène pas de ressuage		

Tableau 3.4 : Variation du diamètre d'étalement en fonction du dosage en superplastifiant du béton de sable fluide à base des granulats végétaux traités par coulis de ciment

		Essai 1	Essai 2
BSFD 10 (%)	SP (%)	1	
	D (cm)	27.5	
	Remarque	Homogène pas de ressuage	
BSFD 20(%)	SP (%)	1.5	
	D (cm)	28.7	
	Remarque	Homogène pas de ressuage	
BSFD 30 (%)	SP (%)	2	2.5
	D (cm)	19	21
	Remarque	Sec	Sec
BSFO 10 (%)	SP (%)	1.3	
	D (cm)	27.5	
	Remarque	Homogène pas de ressuage	
BSFO 20 (%)	SP (%)	1.8	
	D (cm)	29	
	Remarque	Homogène pas de ressuage	
BSFO 30 (%)	SP (%)	2	
	D (cm)	28.3	
	Remarque	Homogène pas de ressuage	

3.2.2. Compositions des différents bétons de sable fluides à base des granulats végétaux

Notre étude est focalisée sur l'influence de l'incorporation des résidus végétaux et leurs modes de traitement sur les caractéristiques d'un béton de sable fluide. Les BSF à base des déchets végétaux sont formulés par la même manière que le béton de sable fluide de référence avec différentes substitutions du volume de sable par les résidus végétaux (noyaux de datte ou noyaux d'olive), en ajustant le dosage en superplastifiant. Les différentes compositions déterminées pour l'ensemble des mélanges étudiés sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 3.5 : Différentes compositions du BSF à base des noyaux d'olive

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de Marbre	NO	S_p(%)	D
BSFT1	1400	400	290.8	200		0.6	26
BSFNO 10%	630	400	151	200	73.2	0.7	27
BSFNO 20%	1120	400	312.94	200	146.48	0.8	26
BSFNO 30%	980	400	324	200	219.72	1	26.9
BSFNO 40%	840	400	335.08	200	292.96	2.5	22

Tableau 3.6 : Différentes compositions du BSF à base des noyaux de dattes

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de Marbre	ND	S_p(%)	D
BSFND 10%	1260	400	295.26	200	46.84	0.7	28
BSFND 20%	1120	400	299.72	200	93.58	0.8	26
BSFND 30%	980	400	304	200	140.5	1.2	26.5
BSFND 40%	840	400	308.64	200	187.16	1.7	27.3
BSFND 50%	700	400	156.55	200	233.9	2.5	28

Tableau 3.7 : Différentes compositions du BSF à base des noyaux de dattes traités par le NaOH

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de Marbre	ND NAOH	S_p(%)	D
BSFD 10 %	1260	400	295.26	200	46.84	0.8	27.2
BSFD 20%	1120	400	299.72	200	93.58	1.5	27
BSFD 30%	980	400	304	200	140.5	2	28.5
BSFD 40%	840	400	308.64	200	187.16	2.5	26.5

Tableau 3.8 : Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange noyau d'olive de traitées par le NaOH

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de Marbre	NO NAOH	S_p(%)	D
BSFO 10 %	1260	400	302	200	73.24	1.4	29.5
BSFO 20 %	1120	400	312.94	200	146.48	2.2	29
BSFO 30 %	980	400	323.8	200	219.7	2.5	28.5

Tableau 3.9 : Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange Noyau dattes et coulis de ciment.

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de marbre	ND (C)	ADJ	D
BSFD 10 %	1260	400	295.26	200	46.84	1	27.5
BSFD 20%	1120	400	299.72	200	93.58	1.5	28.7
BSFD 30 %	980	400	304	200	140.5	2.5	21

Tableau 3.10 : Différentes compositions de béton de sable fluide à base de mélange noyau d'olive et coulis de ciment.

Mélange	Sable	Ciment	Eau	Fillers de marbre	NO (C)	ADJ	D
BSFO 10 %	1260	400	302	200	73.24	1.3	27.5
BSFO 20 %	1120	400	312.94	200	146.48	1.8	28.3
BSFO 30 %	980	400	323.8	200	219.7	2	29

3.3. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT FRAIS

3.3.1. Besoin en adjuvant (superplastifiant)

3.3.1.1. BSF à base des noyaux d'olive

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure 3.2 suivante.

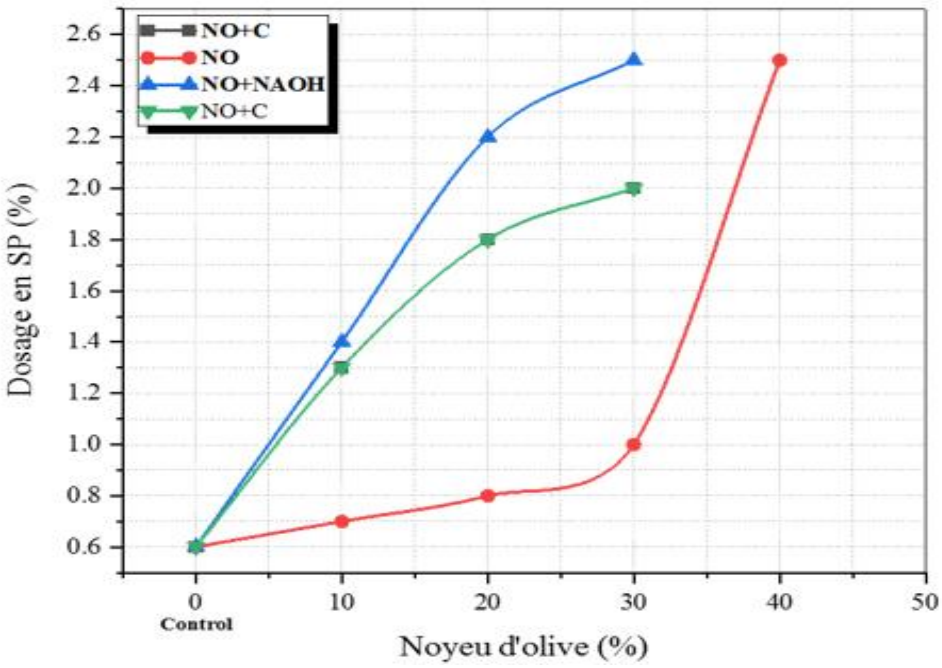


Figure 3.2 : Besoin en adjuvant en % pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.2, on remarque que quel que soit le mode de traitement ou non des granulats à base de noyaux d'olive, la fluidité des mélanges est diminuée. Par conséquent les BSF renfermant 10, 20, 30 et 40% de noyau d'olive demandent plus d'adjuvant que le BSFT. On peut remarquer de cette figure aussi que, pour le même pourcentage en noyaux d'olive le traitement des grains par la NaOH ou le coulis de ciment, a fait diminuer la fluidité des mélanges para rapport aux mélanges à base des grains sans traitement.

3.3.1.2. BSF à base des noyaux de datte

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux de datte réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure 3.3 suivante.

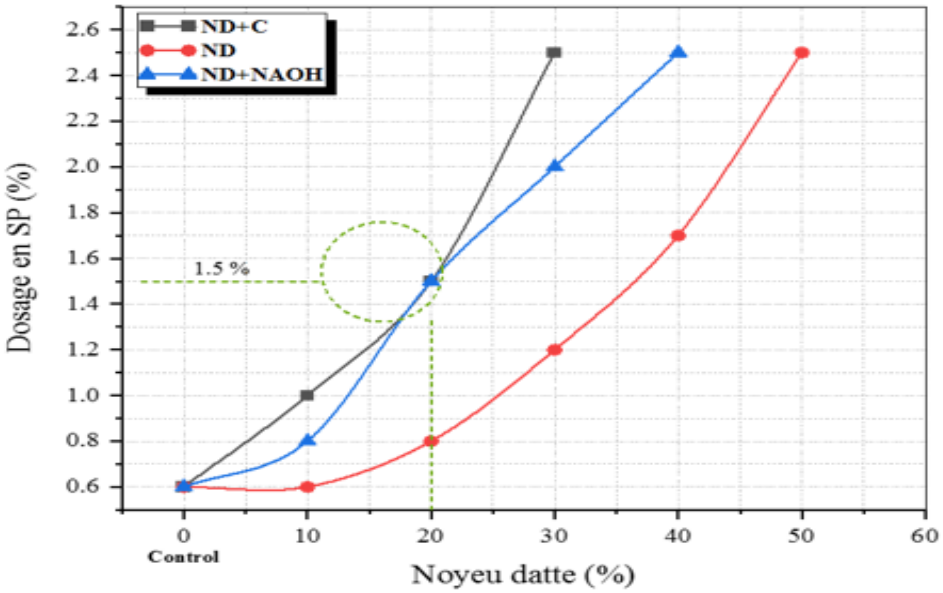


Figure 3.3 : Besoin en adjuvant en % pour les différents bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.3, on remarque que quel que soit le mode de traitement ou non des granulats à base de noyaux de datte, la fluidité des mélanges est diminuée. Par conséquent les BSF renfermant 10, 20, 30, 40 et 50% de noyaux de datte demandent plus d'adjuvant que le BSFT. On peut remarquer aussi de cette figure que, pour le même pourcentage en noyaux de datte le traitement des grains par la NaOH ou le coulis de ciment, a fait diminuer la fluidité des mélanges para rapport aux mélanges à base des grains non traités.

3.3.2. La densité fraiche

L'essai de la densité fraiche a été également réalisé pour évaluer la variation de la masse volumique du BSF.

3.3.2.1. BSF à base des noyaux d'olive

La figure 3.4 présente l'effet du pourcentage de substitution du sable naturel par les grains de noyaux d'olive sur la densité apparente des différents BSF.

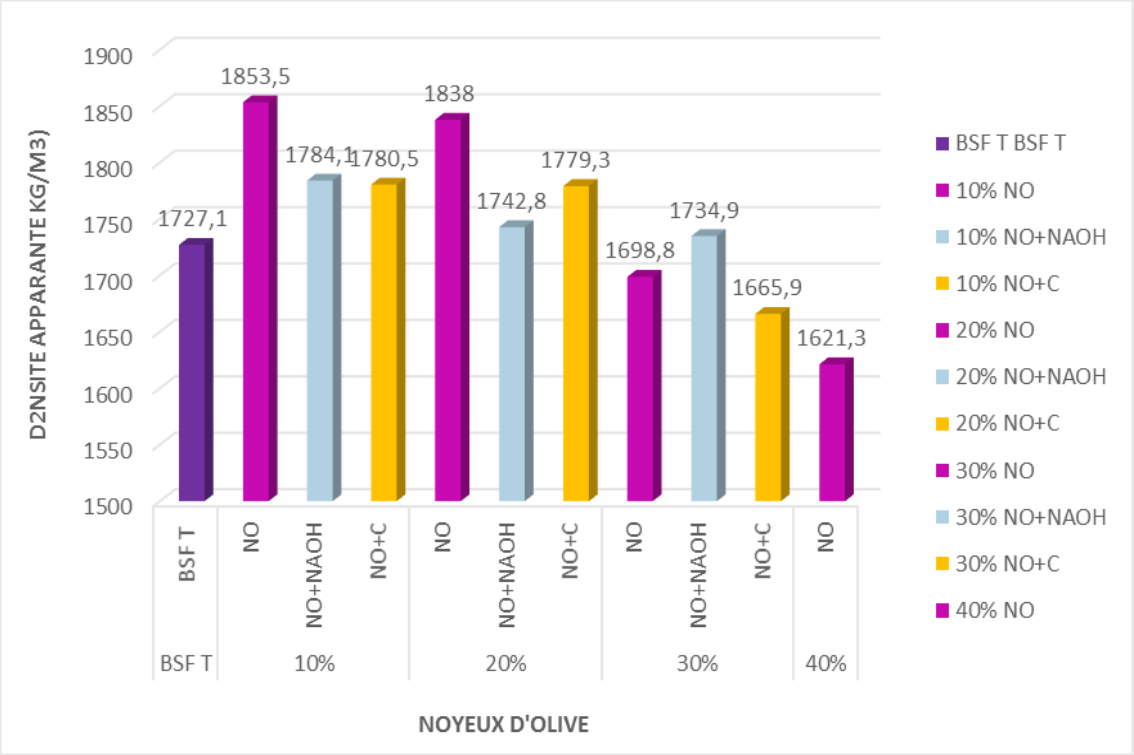


Figure 3.4 : La densité apparente en (kg/m^3) des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.4, on remarque que, quel que soit le mode de traitement utilisé, les mélanges à base de 10 et 20% de noyaux d'olive ont des densités plus élevées que celle du béton de sable fluide témoin. Par contre les mélanges à base de 30 et 40% de noyaux d'olive sans traitement, ont des densités plus faibles que celle du BSFT.

3.3.2.2. BSF à base des noyaux de datte

La figure 3.5 présente l'effet du pourcentage de substitution du sable naturel par les grains de noyaux de datte sur la densité apparente des différents BSF.

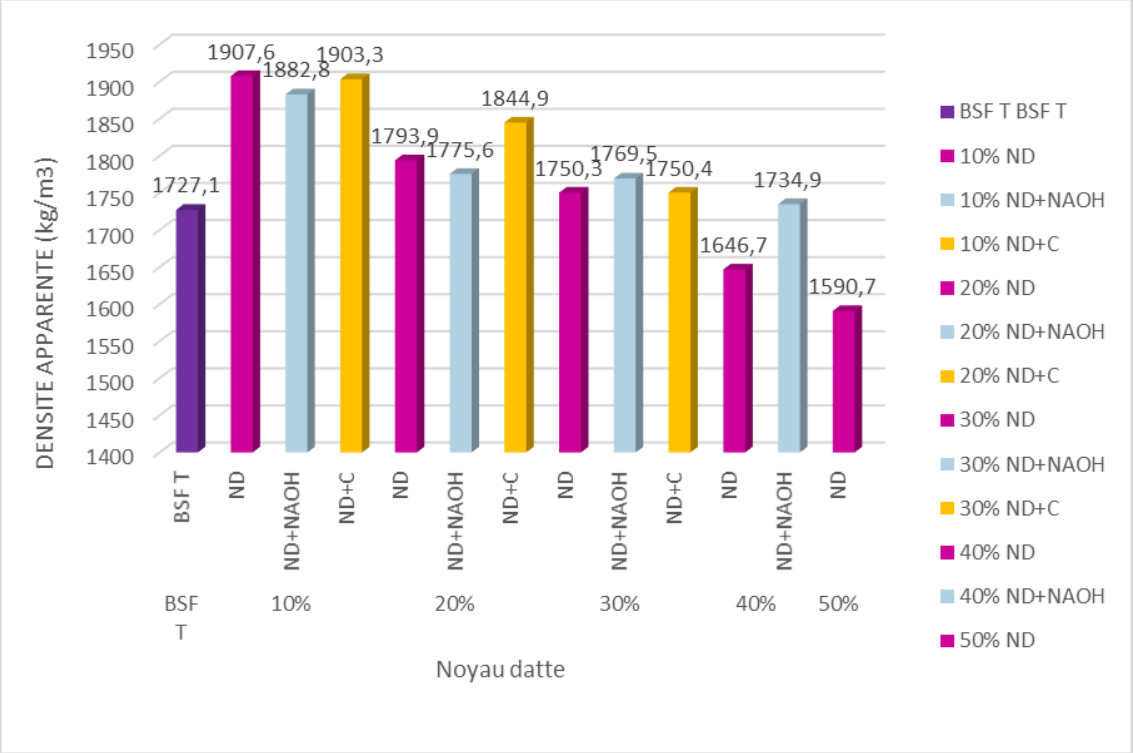


Figure 3.5 : La densité apparente en (kg/m^3) des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.5, on remarque que, quel que soit le mode de traitement utilisé, les mélanges à base de 10, 20 et 30% de noyaux de datte ont des densités plus élevées que celle du béton de sable fluide témoin. Par contre les mélanges à base de 40 et 50% de noyaux de datte sans traitement, ont des densités plus faibles que celle du BSFT. Il est remarqué aussi de cette figure que, pour tous les taux de substitution du sable naturel par les grains de noyaux de datte, les mélanges à base de grains traités ayant des densités plus élevées que celles des mélanges à base des granulats de noyaux de datte non traités.

3.4. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT DURCI

3.4.1. La densité sèche

L'essai de la densité sèche des différents mélanges a été également réalisé pour évaluer la variation de la masse volumique du BSF, les figures 3.6 et 3.7 présentent l'effet de substitution du sable naturel par les grains de déchets végétaux (noyaux d'olive ou noyaux de datte).

3.4.1.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de La densité pour noyau de datte sont présentés dans figure 3.16suivante :

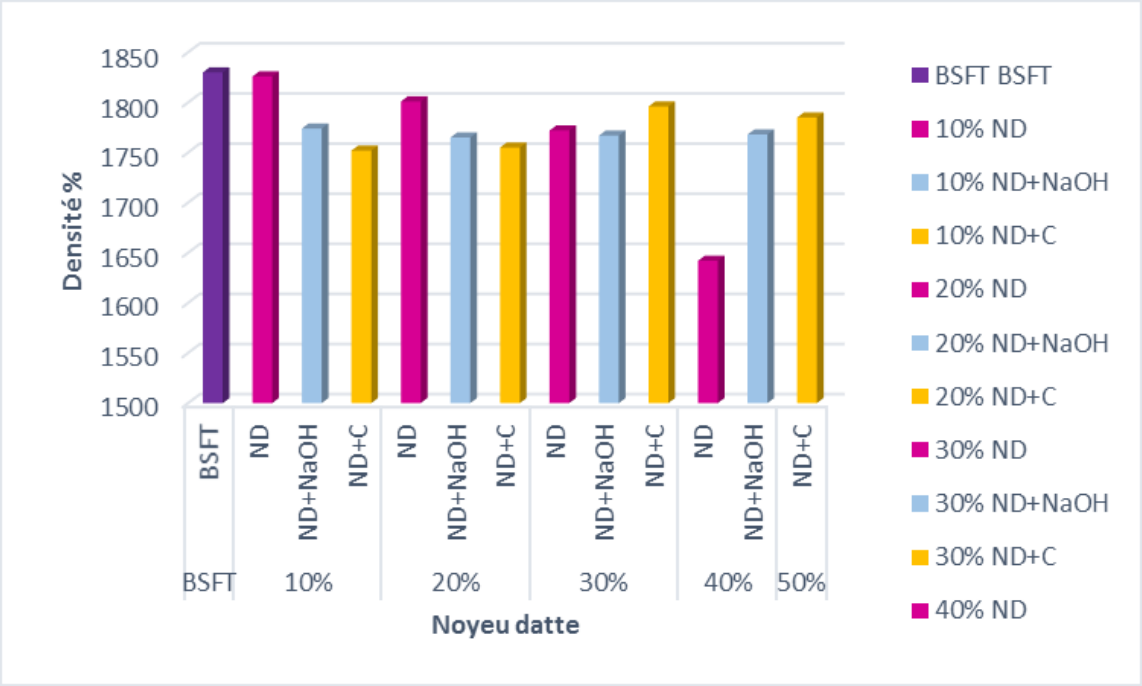


Figure 3.6 : La densité à l'état durci des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.6, on remarque que, quel que soit le mode de traitement utilisé, les mélanges à base de 10, 20, 30 et 40% de noyaux de datte ont des densités sèches plus faibles que celle du béton de sable fluide témoin. Ce qui est surement due à la faible masse volumique des grains de noyaux de datte par rapport au grain du sable naturelle. Il est remarqué aussi que pour les mélanges à base de 10 et 20% de noyaux de datte, les densités des mélanges à base de noyaux de dattes traités par le NaOH ou le coulis de ciment, ont des valeurs plus faibles que celles des mélanges avec des noyaux de datte sans traitement. Par contre les mélanges à base de 30, 40 et 50% de noyaux de datte sans traitement, ont des densités plus faibles que celle du BSFT et celles pour les mélanges à base des noyaux de datte avec traitement

3.4.1.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de La densité pour noyau d'olive sont présentés dans figure 3.17suivante

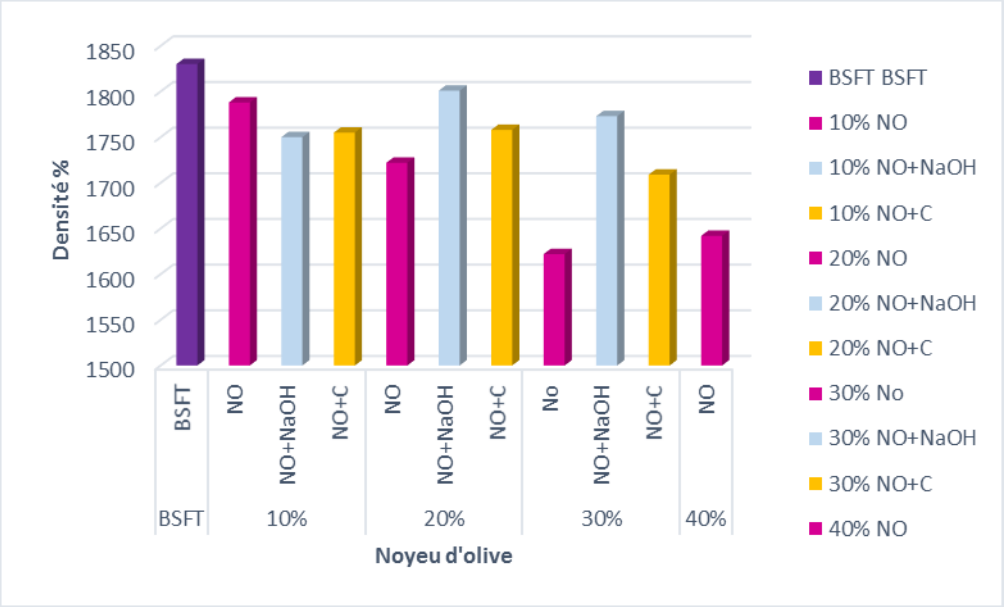


Figure 3.7: La densité à l'état durci des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.7, on remarque que, quel que soit le mode de traitement utilisé, tous les mélanges à base de noyaux d'olive ont des densités sèches plus faibles que celle du béton de sable fluide témoin. Ce qui est surement due à la faible masse volumique des grains de noyaux d'olive par rapport au grain du sable naturelle. Il est remarqué aussi de cette figure qu'à plus de 20% de substitution du sable naturel par les grains de noyaux d'olive, les mélanges à base de grains traités ayant des densités plus élevées que celles des mélanges à base des granulats de noyaux de datte non traités. Notamment pour le cas du traitement à la NaOH.

3.4.2. Résistance à la compression

Trois jours après le moulage des mélanges, les éprouvettes de forme prismatiques 4*4*16 cm^3 sont démoulées et remises en conservation en conditions normales jusqu'aux moments de l'essai de compression où elles subiront un écrasement axial. La résistance à la compression des différents BSF est mesurée à l'âge de 7 et 28 jours.

3.4.2.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de la variation de la résistance à la compression des BSF à base de noyaux de datte à 7 et 28 jours sont présentés dans les figures 3.8 et 3.9 suivantes :

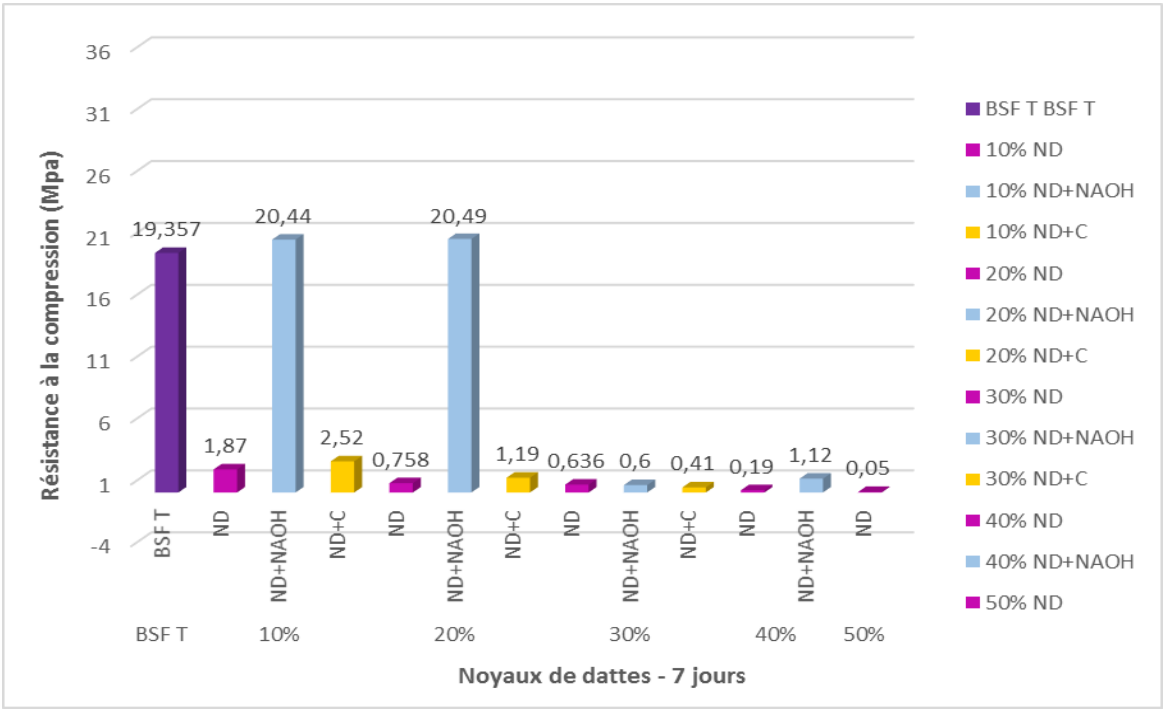


Figure 3.8 : La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte à l'âge de 7 jours.

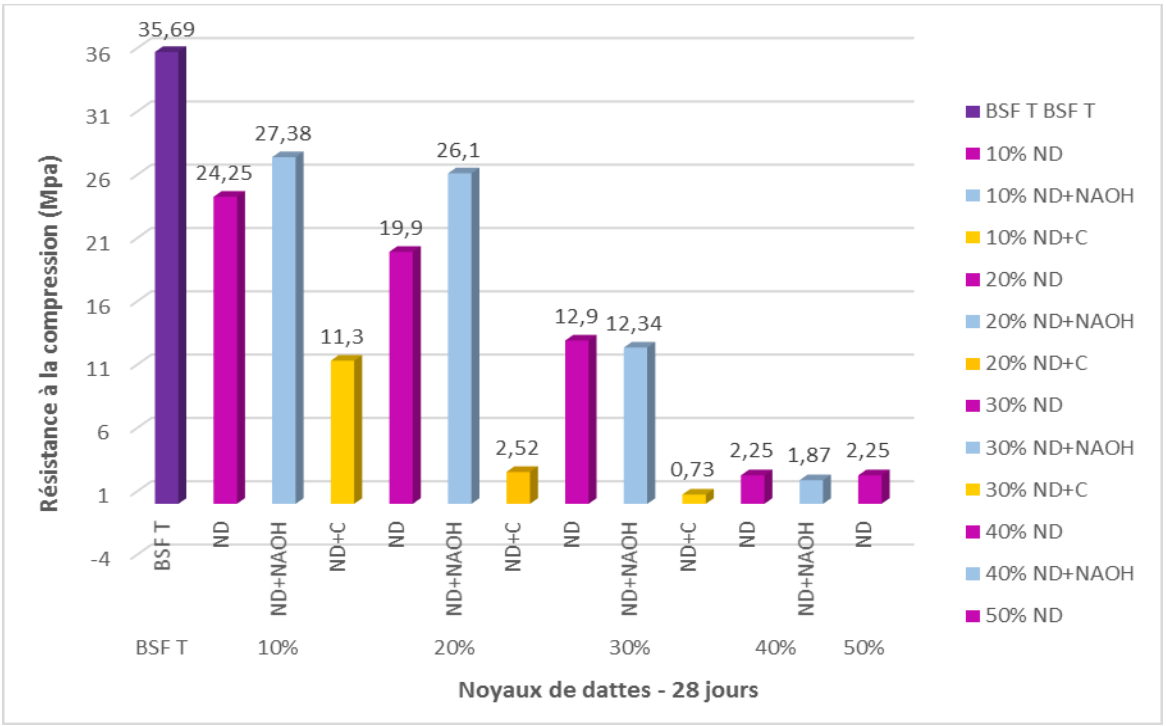


Figure 3.9 : La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte à l'âge de 28 jours.

On remarque d'après les figures 3.8 et 3.9, une grande diminution dans les résistances à la compression de tous les mélanges à base de noyaux de datte par rapport au BSFT. Tel qu'une diminution de l'ordre 90, 96, 97, 99 et 100% est observée pour les mélanges de 10, 20 et 30, 40 et 50% en déchet de datte respectivement à l'âge de 7jours. En outre, à l'âge de 28 jours, la diminution est de l'ordre 32, 44, 64, 94 et 95% pour les mélanges de 10, 20, 30, 40 et 50% respectivement par rapport au BSFT.

On remarque aussi de ces figures, que pour tous les mélanges à base de noyaux de dattes, les BSF à base de granulats traités par le NaOH ont des résistances plus élevées par rapport aux mélanges à base de granulats traités par le coulis de ciment, ou celles des mélanges à base des noyaux de datte brutes (sans traitement).

3.4.2.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de la variation de la résistance à la compression des BSF à base de noyaux de d'olive à 7 et 28 jours sont présentés dans les figures 3.10 et 3.11 suivantes :

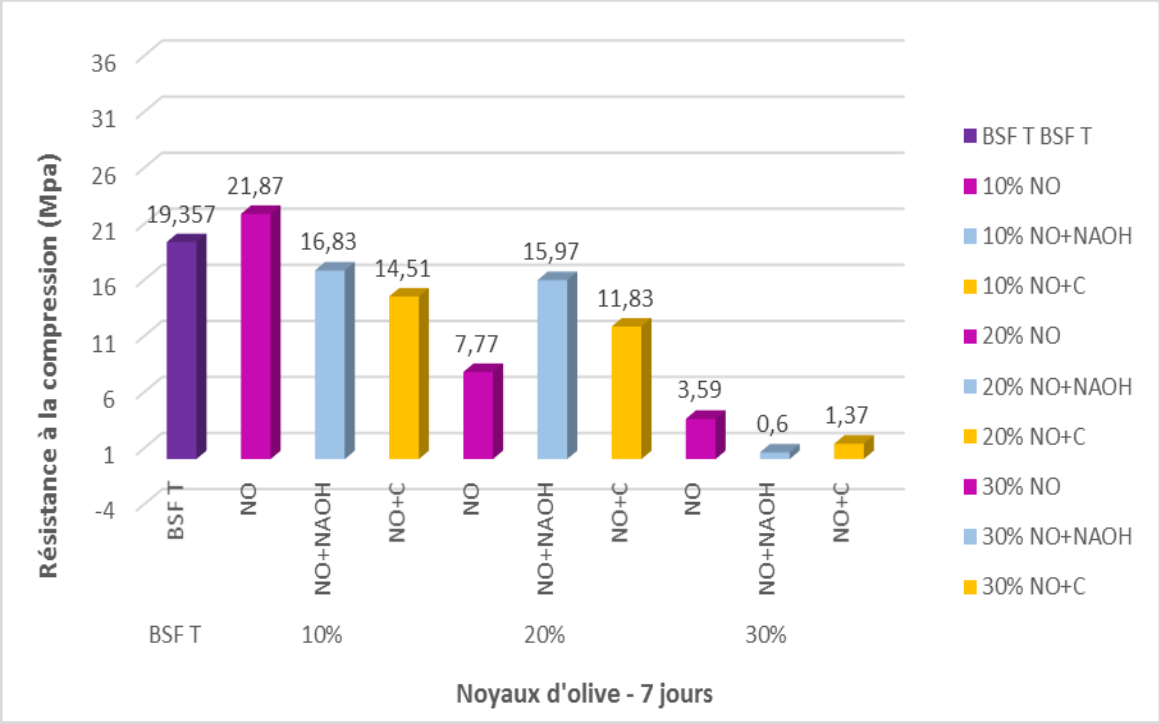


Figure 3.10 : La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive à l'âge de 7 jours.

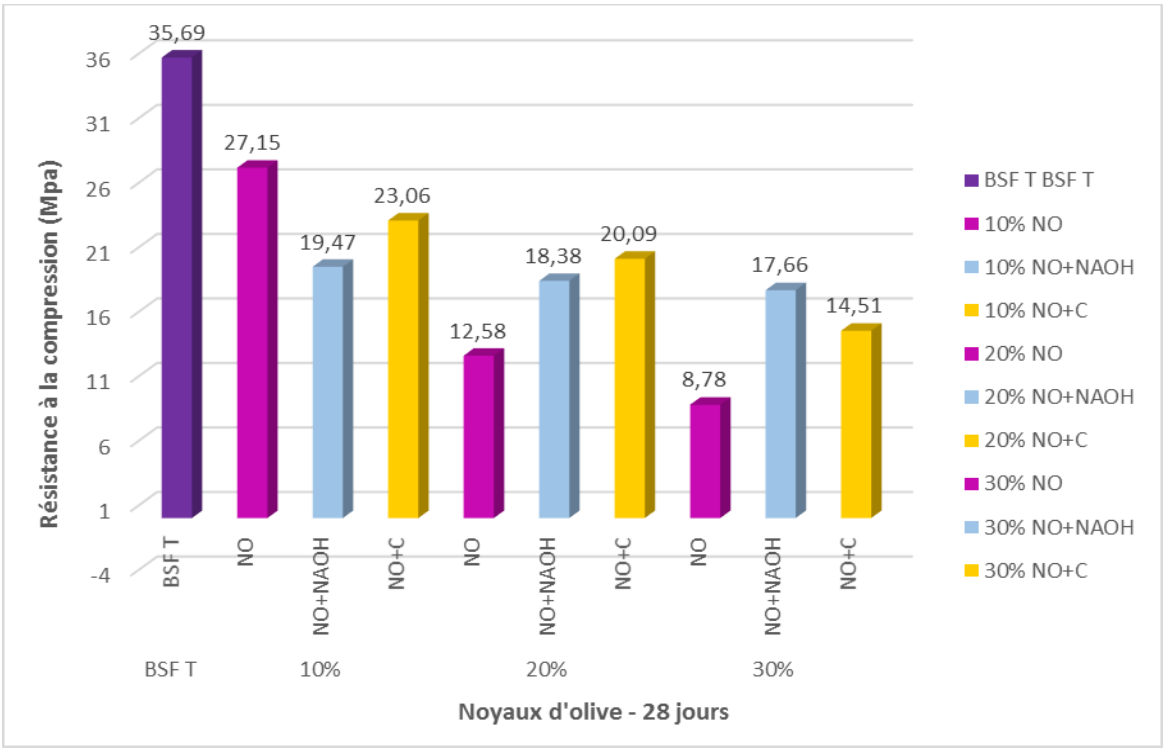


Figure 3.11 : La résistance à la compression des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive à l'âge de 28 jours.

On remarque d'après les figures 3.10 et 3.11, une diminution dans les résistances à la compression de tous les mélanges à base de noyaux d'olive par rapport au BSFT. Tel qu'une diminution de l'ordre 60 et 81% est observée pour les mélanges de 20 et 30% en déchet de de grains d'olive respectivement à l'âge de 7jours. En outre, à l'âge de 28 jours, la diminution est de l'ordre 24, 65 et 75% pour les mélanges de 10, 20 et 30% respectivement par rapport au BSFT.

On remarque aussi de ces figures, que les BSF à base de 30% de noyaux d'olive traités par le NaOH ont des résistances plus élevées par rapport aux mélanges à base de granulats traités par le coulis de ciment, ou celles des mélanges à base des noyaux de datte brutes (sans traitement). Par contre, pour les mélanges à base de 10 et 20% de noyaux d'olive, on remarque que les grains traités par le coulis de ciment ont développé les mélanges les plus résistants.

3.4.3. La vitesse ultrasonique :

Les résultats de la vitesse ultrasonique des différents mélanges à base de déchets végétaux (noyaux d'olive ou noyau de datte), après 28 jours de maturation, sont présentés aux figures 3.12 et 3.13 suivantes.

3.4.3.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de la vitesse ultrasonique des BSF à base de noyaux de datte sont présentés dans figure 3.12 suivante :

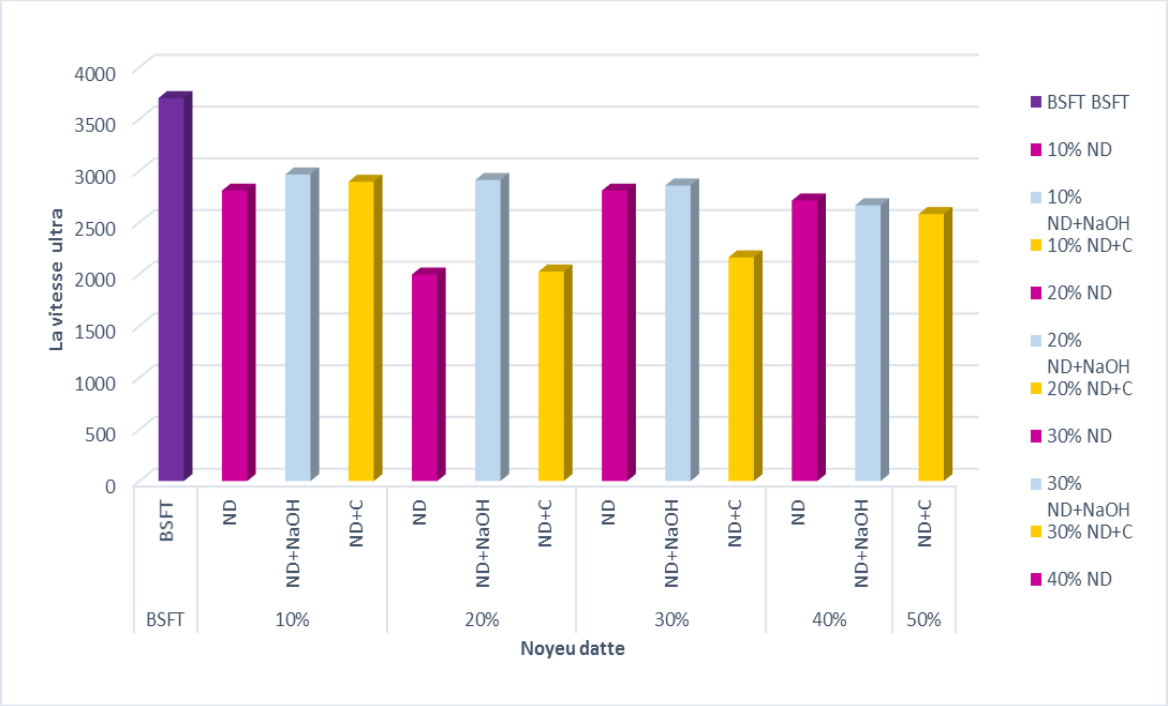


Figure 3.12 : La vitesse ultrasonique des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.12, on remarque que plus on augmente le taux de substitution du sable naturel par les grains de noyaux de datte, la valeur de la vitesse ultrasonique diminue. Et ceci pour les grains non traités et celles avec les 2 modes de traitement utilisés (avec NaOH et avec le coulis de ciment). On peut remarquer aussi de cette figure, et que pour tous les taux de substitution du sable naturel par les grains de noyaux de datte, les BSF à base de noyaux de datte traités par le NaOH, ont les valeurs de la vitesse ultrasonique les plus élevées par rapport aux mélanges à bases des noyaux de datte non traités ou ceux traités par le coulis de ciment.

3.4.3.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de la vitesse ultrasonique des BSF à base de noyaux d'olive sont présentés dans figure 3.13 suivante :

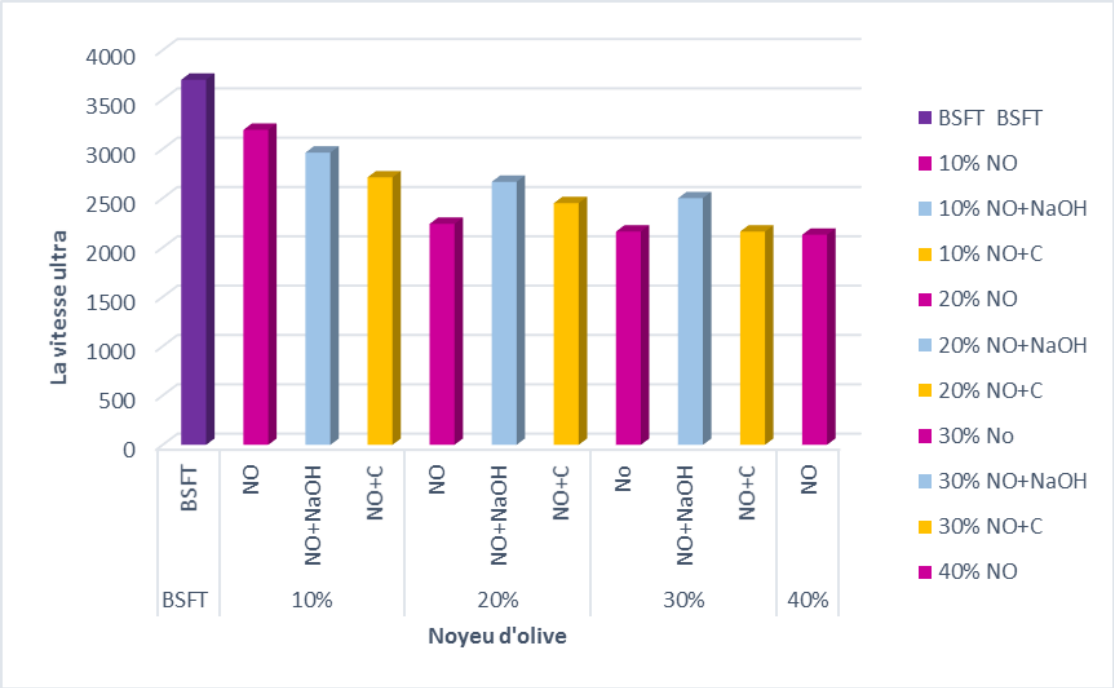


Figure 3.13 : La vitesse ultrasonique des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.12, on remarque que plus on augmente le taux de substitution du sable naturel par les grains de noyaux d'olive, la valeur de la vitesse ultrasonique diminue. Et ceci pour les grains non traités et celles avec les 2 modes de traitement utilisés (avec NaOH et avec le coulis de ciment) On peut remarquer aussi de cette figure, et que pour les mélanges avec plus de 20% d taux de substitution du sable naturel par les grains de noyaux de datte, les BSF à base de noyaux d'olive traités par le NaOH, ont les valeurs de vitesse ultrasonique les plus élevées par rapport aux mélanges à bases des noyaux d'olive non traités ou ceux traités par le coulis de ciment.

3.4.4. Porosité accessible à l'eau

Les résultats de la porosité accessible à l'eau pour tous les mélanges à base de déchets végétaux (noyaux d'olive ou noyaux de datte) avec ou sans traitement sont présentés aux figures 3.14 et 3.15 suivantes.

3.4.4.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des BSF à base de noyaux de datte sont présentés dans figure 3.14 suivante :

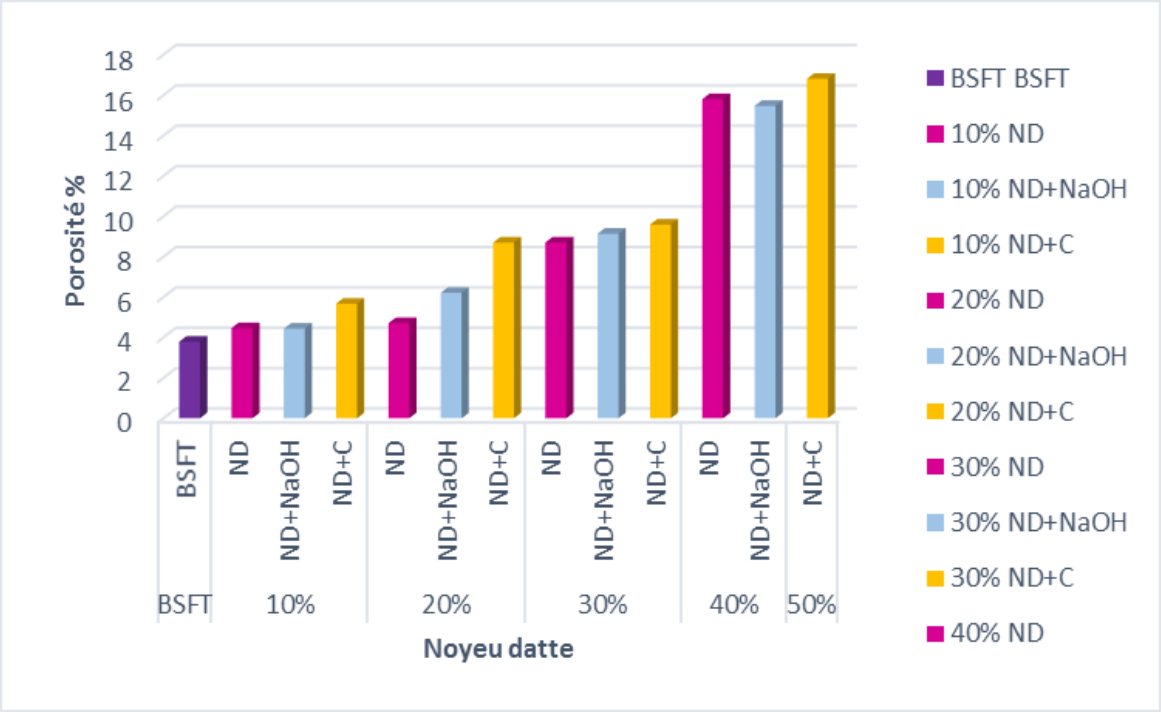


Figure 3.14 : Porosité accessible à l'eau des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.14, on remarque que quel que soit le mode de traitement utilisé, plus on augmente le taux de substitution du sable naturel par les granulats de noyaux de datte, la porosité accessible à l'eau augmente. Il est remarqué aussi de cette figure, que pour les deux modes de traitement utilisés, la porosité des mélanges à base de noyaux de datte traités est plus importante que celle des mélanges à base des noyaux de datte brute (sans traitement. On peut dire de ces résultats que les mélanges à base de 10, 20 et 30% avec une valeur de la porosité accessible à l'eau moins de 10%, peuvent considérés comme acceptable pour l'application dans des ouvrages courants.

3.4.4.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de la porosité accessible à l'eau des BSF à base de noyaux d'olive sont présentés dans figure 3.15 suivante

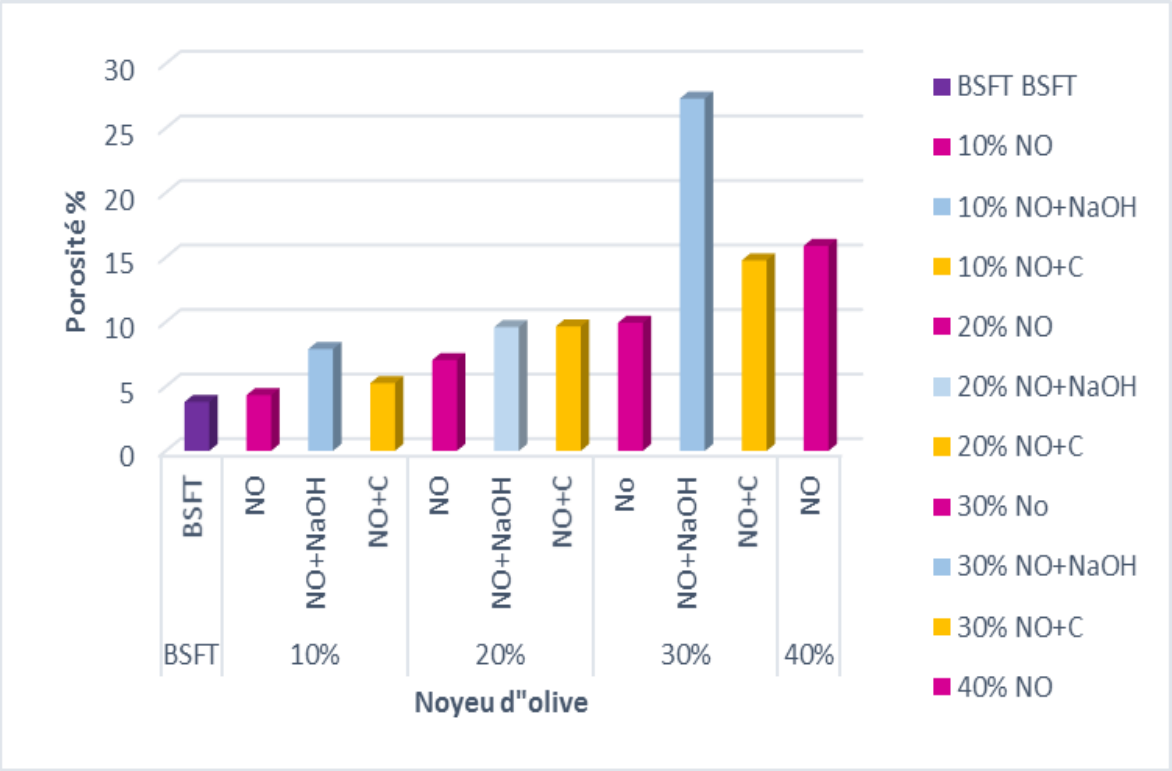


Figure 3.15 : Porosité accessible à l'eau des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.15, on remarque que quel que soit le mode de traitement utilisé, plus on augmente le taux de substitution du sable naturel par les granulats de noyaux d'olive, la porosité accessible à l'eau augmente. Il est remarqué aussi de cette figure, que pour les deux modes de traitement utilisés, la porosité des mélanges à base de noyaux de datte traités est plus importante que celle des mélanges à base des noyaux d'olive brute (sans traitement). On peut dire de ces résultats que les mélanges à base de 10 et 20% avec et sans traitement, et le mélange à base de 30% de noyaux d'olive sans traitement sont considérés comme acceptable pour l'application dans des ouvrages courants, avec une valeur de la porosité accessible à l'eau moins de 10%.

3.4.5. L'absorption d'eau par capillarite

La masse d'eau absorbée par unité de surface a été tracée en fonction de la racine carrée du temps. Les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents mélanges BSF à base de noyaux de datte ou noyaux d'olive réalisés dans cette étude sont représentés dans les figures 3.16 et 3.17 suivantes.

3.4.5.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de l'absorption d'eau par capillarite des BSF à base de noyaux de datte sont présentés dans figure 3.16 suivante :

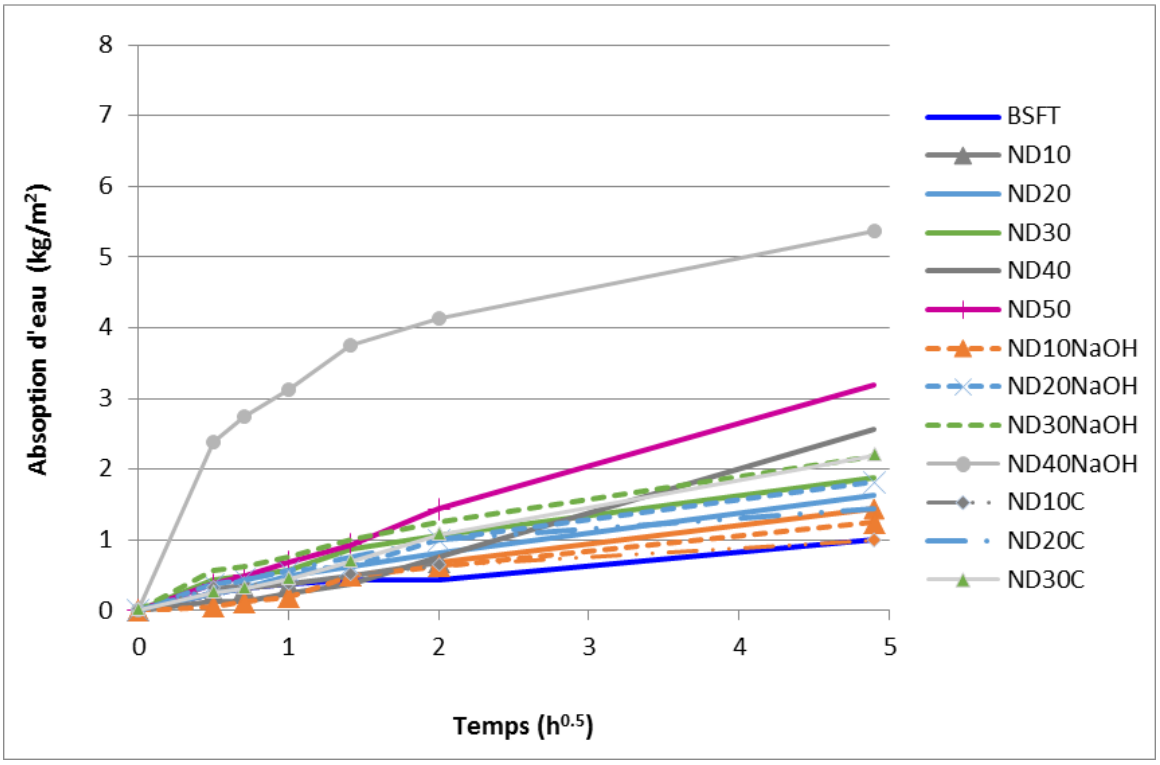


Figure 3.16 : L'absorption d'eau par capillarite des bétons de sable fluides à base des noyaux de datte.

A l'issu de la figure 3.16 on remarque que tous les BSF à base de noyaux de datte ont présentés un taux d'absorption plus élevé que celui du béton de sable fluide témoin BSFT. Tandis que presque le même taux d'absorption que celui du BSFT a été observé pour le cas du mélange à base de 10% en noyaux d'olive. En augmentant le taux de substitution du sable naturelle par les noyaux de datte, la quantité d'eau absorbée augmente. De la même figure, on peut observer, une augmentation remarquable dans le taux d'absorption d'eau des BSF à base des noyaux d'olive traités par le coulis de ciment par rapport aux mélanges avec des noyaux de datte non

traités, ou ceux traités par le NaOH. D'après les résultats trouvés on peut dire aussi, qu'on peut fabriquer un béton de sable fluide à base de noyaux de datte avec une bonne compacité et moins perméabilité, en substituant jusqu'à 50% du sable naturel par les noyaux de datte concassées.

3.4.5.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de l'absorption d'eau par capillarite des BSF à base de noyaux d'olive sont présentés dans figure 3.17 suivante :

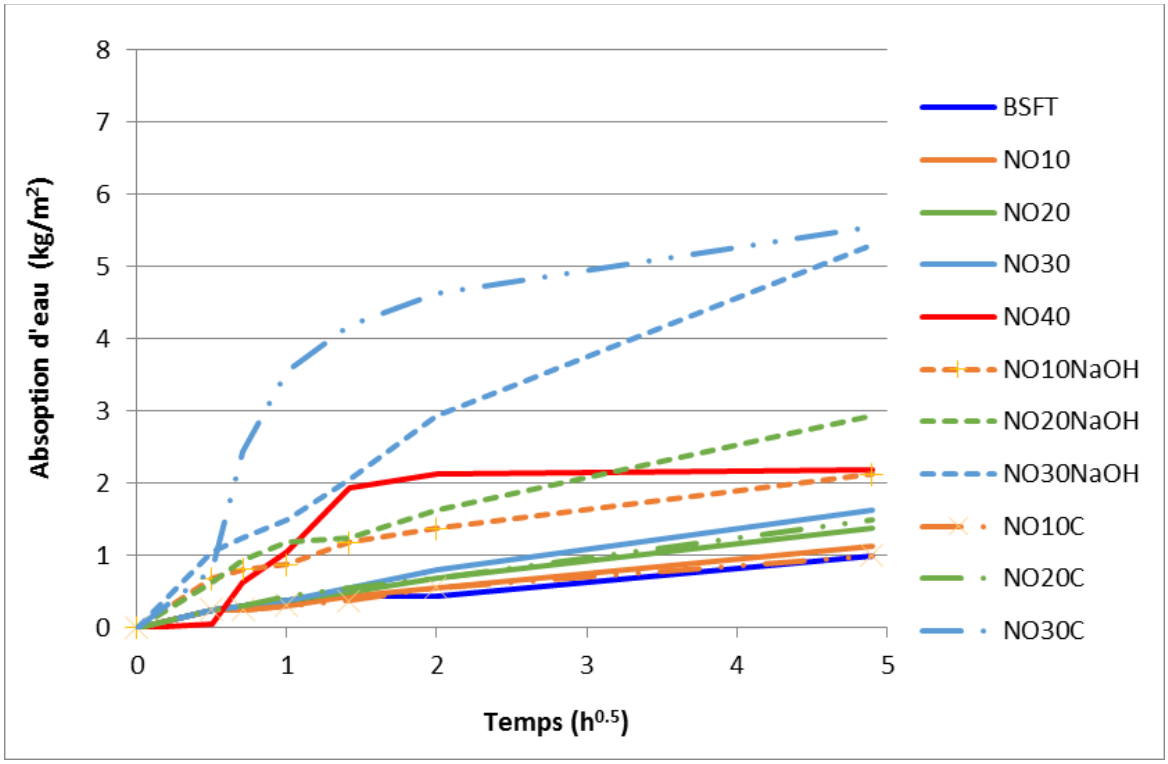


Figure 3.17 : L'absorption d'eau par capillarite des bétons de sable fluides à base des noyaux d'olive.

A l'issu de la figure 3.17 on remarque que tous les BSF à base de noyaux d'olive ont présentés un taux d'absorption plus élevé que celui du béton de sable fluide témoin BSFT. Tandis que presque le même taux d'absorption que celui du BSFT a été observé pour le cas du mélange à base de 10% en noyaux d'olive. De la même figure, on peut observer, une augmentation remarquable dans le taux d'absorption d'eau des BSF à base des noyaux d'olive traités par le NaOH par rapport aux mélanges avec des noyaux d'olive non traités, ou ceux traités par le coulis de ciment.

3.4.6. La conductivité thermique

Les résultats de la conductivité thermique des différents mélanges à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) après 28 jours de maturation, sont résumés dans les figures 3.18 et 3.19 suivantes.

3.4.6.1. BSF à base des noyaux de datte

Les résultats de La conductivité thermique pour noyau de datte sont présentés dans figure 3.19suivante

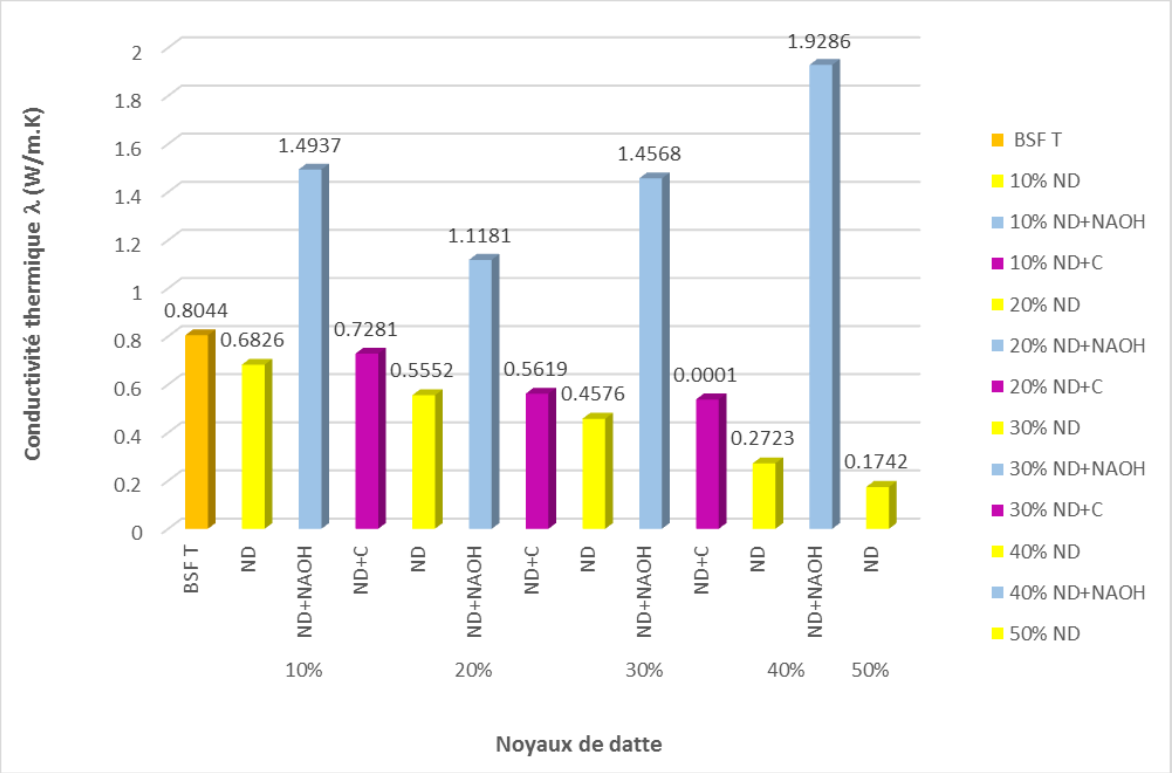


Figure 3.18 : La conductivité thermique des bétons de sable fluides à base de noyaux de datte.

On remarque que la conductivité thermique de tous les bétons de sable fluides à base des granulats de noyaux de datte non traités est diminuée par rapport au béton de sable fluide témoin. Le taux de diminution est de l'ordre de 15, 31, 43, 66 et 78% avec les taux de remplacement du sable naturel par les noyaux de datte 10, 20 et 30, 40 et 50% respectivement. On remarque de la même figure que le traitement des grains de noyaux de datte engendre une augmentation dans les valeurs de la conductivité thermique des mélanges par rapport au mélanges avec de noyaux de datte non traités. Toutefois, les mélanges à base de granulats traités par le coulis d ciment peuvent toujours cnsid&rés comme des matériaux isolants. Contrairement aux mélanges à base des noyaux de datte traité par le NaOH et qu'ont des conductivités thermiques plus de 1 (w/m.K) et sont considérés comme matériaux non isolants.

3.4.6.2. BSF à base des noyaux d'olive

Les résultats de La conductivité thermique pour les mélanges à base de noyaux d'olive sont présentés dans la figure 3.19 suivante :

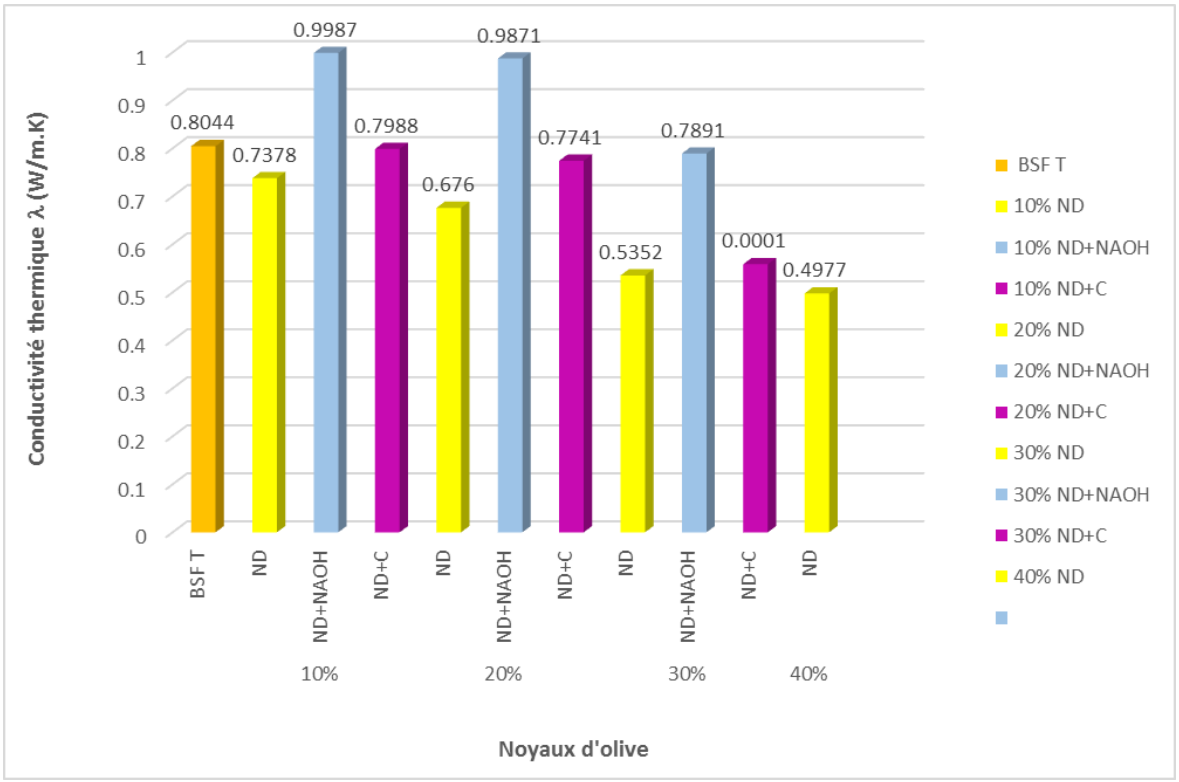


Figure 3.19 : La conductivité thermique des bétons de sable fluides à base de noyaux d'olive.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de tous les BSF à base de noyaux d'olive diminue par rapport au BSFT. Le taux de diminution est de l'ordre de 8, 16, 33 et 38% par rapport au BSFT pour les mélanges à base de 10, 20, 30 et 40% de noyaux d'olive respectivement. On observe aussi d cette figure, que les BSF avec des granulats végétaux traités, ont des conductivités thermiques plus faibles que celles des mélanges à base des granulats végétaux non traités.

On peut dire aussi d'après les résultats trouvés que, tous les bétons de sable fluides à base de noyaux d'olive et qui présentent des conductivités thermiques (λ) inférieurs à 1 (w/m. K) sont considérés comme matériaux isolants. De même Chelouah et Thakur [36], Stifania.l et al. [37] et MucahitSutcu et al. [38], ont aussi trouvé une augmentation dans la capacité d'isolation thermique pour les mélanges incorporés des déchets de noyaux d'olive

3.5. CONCLUSION

Dans le cadre de cette partie d'étude, l'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- Pour les deux granulats végétaux utilisés dans cette étude (noyaux de datte et noyaux d'olive), la fluidité du béton de sable fluide à base de ces 2 granulats végétaux et pour les 2 modes de traitement utilisés, est diminuée par rapport au béton de sable fluide témoin.

- Pour les deux types de déchets végétaux, la résistance à la compression est diminuée par rapport au béton de sable fluide témoin. Les BSF à base de noyaux de datte sont plus résistants que ceux à base de noyaux d'olive. Toutefois, les meilleures résistances sont observées pour le cas des noyaux de datte traités par le NaOH et le cas des noyaux d'olive traités par le coulis de ciment
- A moins de 10% pour chaque déchet végétal, l'absorption d'eau par capillarité est améliorée par rapport au BSFT. Au-delà de 10%, une augmentation dans le taux d'absorption est observée pour les deux résidus végétaux. Les BSF à base de noyaux de datte, sont plus absorbant que ceux à base de noyaux d'olive.
- Les bétons de sable fluides à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) sont plus légers que le BSF témoin. Toutefois, les BSF à base de noyau d'olive sont plus lèges que les BSF à base de noyau de datte.
- Les deux déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), diminuent la conductivité thermique du béton de sable fluide.
- Jusqu'à 50% en noyaux de datte et 40% en noyaux d'olive, les bétons de sable fluides sont considérés comme matériaux isolants grâce à leur conductivité thermique (λ) qu'est inférieur à 1 W/m.K.

CONCLUSIONS GENERALES

Conclusions générales

L'objectif essentiel de ce travail et de voir l'influence d'incorporation des déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) comme granulats fin (sable) sur les caractéristiques physico-mécaniques du béton de sable fluide. Les résultats trouvés dans cette étude ont donné les conclusions suivantes :

- Pour les deux granulats végétaux utilisés dans cette étude (noyaux de datte et noyaux d'olive), la fluidité du béton de sable fluide à base de ces 2 granulats végétaux et pour les 2 modes de traitement utilisés, est diminuée par rapport au béton de sable fluide témoin.
- Pour les deux types de déchets végétaux utilisés, la résistance à la compression est diminuée par rapport au béton de sable fluide témoin. Les BSFs à base de noyaux de datte sont plus résistants que ceux à base de noyaux d'olive. Toutefois, les meilleures résistances sont observées pour le cas des noyaux de datte traités par le NaOH et le cas des noyaux d'olive traités par le coulis de ciment.
- A moins de 10% pour chaque déchet végétal, l'absorption d'eau par capillarité est améliorée par rapport au BSFT. Au-delà de 10%, une augmentation dans le taux d'absorption est observée pour les deux résidus végétaux. Les BSF à base de noyaux de datte, sont plus absorbant que ceux à base de noyaux d'olive.
- Les bétons de sable fluides à base de noyaux d'olive et noyaux de datte sont plus légers que le BSF témoin. Toutefois, les BSF à base de noyau d'olive sont plus lèges que les BSF à base de noyau de datte.
- Les deux déchets végétaux utilisés (noyaux d'olive et noyaux de datte), diminuent la conductivité thermique du béton de sable fluide. Toutefois, les BSF avec des granulats végétaux traités, ont des conductivités thermiques plus faibles que celles des mélanges à base des granulats végétaux non traités.
- Jusqu'à 50% en noyaux de datte et 40% en noyaux d'olive, les bétons de sable fluides sont considérés comme matériaux isolants grâce à leur conductivité thermique (λ) qu'est inférieur à 1 W/m.K.

Références Bibliographiques

Références bibliographiques

[1]. http://thesis.univ-biskra.dz/2429/4/Chapitre%2002.pdf

[2]. http://dspace.univ-medea.dz/handle/123456789/387

[3].http://archives.univ-biskra.dz/handle/123456789/24289

[4]. http://dspace.univ-medea.dz:8080/handle/123456789/2189

[5]. http://thesis.univ-biskra.dz/1679/1/genie-civil-m-2012.pdf

[6]. http://archives.univ-biskra.dz/handle/123456789/24289

[7]. https://ft.univ-tlemcen.dz/assets/uploads/pdf/departement/gc/Adjuvants.pdf

[8]. http://dspace.univ-medea.dz:8080/handle/123456789/3711

[9]. https://betonlabpro.ifsttar.fr/fileadmin/contributeurs/BetonlabPro/doc/OA34.pdf

[10]. http://thesis.univ-biskra.dz/2429/4/Chapitre%2002.pdf

[11]. http://dspace.univ-medea.dz/handle/123456789/387

[12]. BEDERINA.M, « Caractérisation mécanique et microstructure des bétons de sable », mémoire de magistère ; université de Laghouat 1998

[13]. CHAUVILLARD, G. BASSUYAUX, O. « Une méthode de formulation des bétons de sable à maniabilité et résistance fixées » Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées (LCPC), N°205, Sept. - oct. 1996.

[14]. Bederina, M.M. Khenfer, R.M. Dheilly, M. Queneudec, « Reuse of local sand: effect of limestone filler proportion on the rheological and mechanical properties of different sand concretes»; research, Vol. n° 35, 2005, pp.1170-1179.

[15]. A. GUETTALA*, B. MEZGHICHE*, R. CHEBILI* Civil Engineering Laboratory, University of Biskra, « Strength comparisons between rolled sand concrete and dune sand concrete»; Courrier du savoir-N°02, Juin 2002, pp.85-89.

[16]. SABLOCRETE, « Bétons de sable : caractéristiques et pratique d'utilisation », Presses de L'école nationale des ponts et chaussées (1994). Paris, France

[17]. A.M. NEVILLE, (2000), « Propriétés des bétons », édition EYROLLES, Paris, France2000

[18]. https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4153.html

[19]. https://www.senat.fr/rap/o98-415/o98-4153.html

[20]. https://www.paprec.com/fr/comprendre-le-recyclage/le-recyclage-en infographie/process-chaine-de-tri-de-collecte-selective-en-infographie/

[21]. https://recyclage.ooreka.fr/comprendre/recyclage-recuperation

[22]. https://expertises.ademe.fr/economie-circulaire/dechets/passer-a-laction/valorisation-organique/compostage

[23]. Recherche Google. Quot ; Noyau d'olive&quot ; http://fr.wikipédia.org/wiki/olive.html,25 mars 2008.

[24]. Djadouf S., Tahakourt A., chelouah N., merabet D.&quot ; Utilisation du grignon d'olive et foin Comme ajouts dans la fabrication des briques de terre cuite&quot ; séminaire international, Innovation &amp ; valorisation en Genie Civil &amp ; Matériaux de Construction° 1O-051.

[25]. Stifania Liuzzi, Chiara Rubino., PietroStefanizzi. " Use of clay and olive pruning waste forbuilding materials with high hygrothermal performances".72nd Conference of the ItalianThermal Machines Engineering Association, Lecce, Italy, ATI2017, 6-8 September 2017.

[26]. Mucahit S., Savas O., Emre Yalamac., Osman Gencel. "Effect of olive mill waste addition on the properties of porous fired clay bricks using Taguchi method", Journal of Environmental Management, N° 181, 2016, pp 185-192.

[27]. Mucahit S., Savas O., Emre Yalamac., Osman Gencel. "Effect of olive mill waste addition on the properties of porous fired clay bricks using Taguchi method", Journal of Environmental Management, N° 181, 2016, pp 185-192.

[28]. Alkheder SH., Yasmeen T., Obaidat., Madhar Taamneh, &Quot; Effect of olive waste (Husk) on behavior of cement paste" Case Studies in Construction Materials,2016, pp1920.

[29]. NF EN 1097-6, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et Physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du Coefficient d&#39 ; absorption d&#39 ; eau », AFNOR

[30].https://dspace.univadrar.edu.dz/jspui/bitstream/123456789/2204/1/Valorisation%20des%20noyaux%20de%20dattes.pf

[31].https://www.theses-algerie.com/2180637701503711/memoire-de-master/universite-mohamed-khider---biskra/valorisatation-des-noyaux-de-dattes-dans-le-domaine-de-purification-des-eaux

[32]. http://dspace.univmedea.dz/bitstream/123456789/411/1/M120041df

[33].http://dspace.univmedea.dz/bitstream/123456789/411/1/M120041df

[34]. http://dspace.univmedea.dz/bitstream/123456789/3677/1/02pf

[35]. http://dspace.univ-eloued.dz/bitstream/123456789/8992/1/624-014-01.pdf

[36].https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwixtZnh853_AhWMgv0HHS1xCRsQFnoECCkQAQ&url=http%3A%2F%2Fdspace.univmedea.dz%2Fbitstream%2F123456789%2F7190%2F1%2FM12226.pdf&usg=AOvVaw27SZ8EHI6fRabAIoaB65Wh

[37]. Fatema Soltanzadeh, Mojtaba Emam-Jomeh, Ali Edalat-Behbahani, Zahra Soltan Zadeh, Development and characterization of blended cements containing seashell powder, Construction and Building Materials 161 (2018) 292–304.

[38]. Dang Hanh Nguyen, Mohamed Boutouil, Nassim Sebaibi, Fabienne Baraud, Lydia Leyster, Durability of pervious concrete using crushed seashells, Construction and Building Materials 135 (2017) 137–150.

[39]. Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons », Toulouse, France.

[40]. Ginette A. & Hugues H., 2007, « Grandubé : Grandeurs associées à la durabilité des béton», Association française de génie civil, Presses de l'école nationale des Ponts et Chaussées, Paris, France.

[41]. NF EN 993-15 La présente norme spécifie une méthode de détermination de la Conductivité thermique des matériaux et produits réfractaires par la méthode du fil chaud (Parallèle).

[42]. Neville Adam. "Propriétés des bétons", traduit par le CRIB, édition Eyrolles.

Annexe

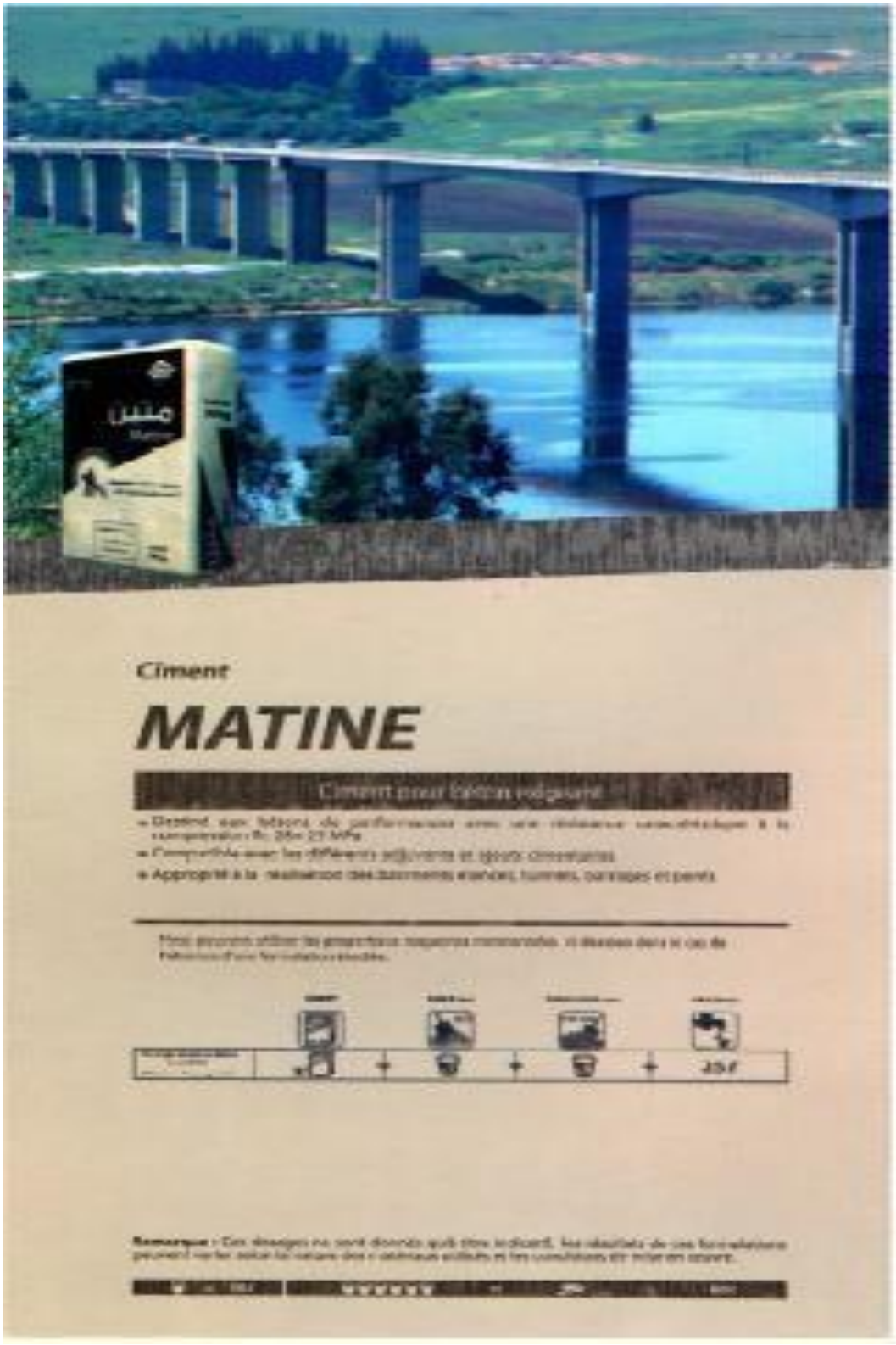


Figure A.1 Fiche technique du ciment MATINE

BUILDING TRUST

NOTICE PRODUIT

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX

SUPERPLASTIFIANT / HAUT RÉDUCTEUR D'EAU POUR BÉTON PRÂT À L'EMPLOI

INFORMATIONS SUR LE PRODUIT

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est un superplastifiant/haut réducteur d'eau polyvalent de nouvelle génération à base de polycarboxylates.

DOMAINES D'APPLICATION

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX permet la fabrication de tout type de béton de consistance plastique à auto-plaçante:

- Béton à faible rapport Eeff/C
- Béton à haute ou très haute performance
- Béton nécessitant une forte réduction d'eau
- Béton autoplaçant ou autonivelant
- Béton pour ouvrages fortement ferraillés
- Béton de génie civil

CARACTÉRISTIQUES / AVANTAGES

De par sa formulation spécifique et son fort pouvoir de réduction d'eau, Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est particulièrement recommandé pour les ciments à moyenne ou haute teneur en sulfates alcalins.

- Son caractère polyvalent permet de s'adapter à tout type de matériaux et à une large gamme de ciments.
- Confrère au béton Long maintien de rhéologie.
- Diminution du retrait
- Très bonne étanchiété

AGRÉMENTS / NORMES

Marquage CE et Conforme à la norme NF EN 934-2
Tab 11.1 et 11.2

DESCRIPTION DU PRODUIT

Base chimique	Polycarboxylates
Conditionnement	Fût de 200 kg Cubi de 1110 kg Vrac
Durée de Conservation	12 mois dans son emballage d'origine intact
Conditions de Stockage	A l'abri du gel. En cas de gel accidentel, le produit retrouve ses qualités d'origine une fois dégelé lentement et réhomogénéisé.
Aspect / Couleur	Liquide brun clair à brun foncé
Densité	1,06 à 1,07
Valeur pH	5 ± 1,0
Teneur Totale en Ions Chlorure	≤ 0,1 %

RENSEIGNEMENTS SUR L'APPLICATION

Dosage	Plage de dosage : 0,4 à 2,5 % du poids du liant ou du ciment selon la fluidité et les performances recherchées.

VALEURS DE BASE

Toutes les valeurs indiquées dans cette Notice Produit sont basées sur des essais effectués en laboratoire. Les valeurs effectives mesurées peuvent varier du fait de circonstances indépendantes de notre contrôle.

ÉCOLOGIE, SANTÉ ET SÉCURITÉ

Pour obtenir des informations et des conseils sur la manipulation, le stockage et l'élimination en toute sécurité des produits chimiques, les utilisateurs doivent consulter la fiche de données de sécurité (FDS) la plus récente contenant les données physiques, écologiques, toxicologiques et autres données relatives à la sécurité.

INSTRUCTIONS POUR L'APPLICATION

Sika® ViscoCrete®-4037 RMX est ajouté, soit en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.

RESTRICTIONS LOCALES

Veuillez noter que du fait de réglementations locales spécifiques, les données déclarées pour ce produit peuvent varier d'un pays à l'autre. Veuillez consulter la Notice Produit locale pour les données exactes sur le produit.

INFORMATIONS LÉGALES

Les informations, et en particulier les recommandations concernant les modalités d'application et d'utilisation finale des produits Sika sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que Sika a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales, conformément aux recommandations de Sika. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou recommandations écrites, ou autre conseil donné, n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés, ni aucune garantie de conformité à un usage particulier, ni aucune responsabilité découlant de quelque relation juridique que ce soit. L'utilisateur du produit doit vérifier par un essai sur site l'adaptation du produit à l'application et à l'objectif envisagés. Sika se réserve le droit de modifier les propriétés de ses produits. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont soumises à nos conditions générales de vente et de livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la Notice Produit correspondant au produit concerné, accessible sur internet ou qui leur sera remise sur demande.

Sika El Djazair SPA
08 route de Larbaa
16111 Les Eucalyptus
ALGERIE
Tél.: 0 21 50 16 92 à 95
Fax: 0 21 50 22 08
dza.sika.com

BUILDING TRUST

Notice produit
Sika® ViscoCrete®-4037 RMX
Janvier 2022, Version 01.01
021301011000004391

SikaViscoCrete-4037RMX-fr-DZ-(01-2022)-1-1.pdf

Figure A.2 fiche technique d'adjuvante utilisé.



Figure A.3 Tamiseuse électrique.



Figure A.4 Malaxeur.



Figure A.5 Los Angeles



Figure A.6 Les éprouvettes avant l'écrasement



Figure A.7 broyage par broyeur



Figure A.8 l'essai d'étalement