République Algérienne Démocratique et Populaire
Ministère de l'Enseignement Supérieure et de la Recherche Scientifique
Universitaire Yahia FARÈS de Médéa
Faculté De Technologie
Département de Génie Civil



Projet de fin d'étude

Pour l'obtention du diplome de Master en Génie Civil

Option: Matériaux en Génie Civil

Thème :

Formulation et caractérisation d'un éco-matériaux de construction à base des déchets végétaux (noyau d'olive et noyau de datte)

Etudié par :

M^lle CHERIET Hanane

M^lle MESSAOUDI Kaouther

Encadré par :

M^lle BOUKHELKHAL Djamila

Dr GUENDOUZ Mohamed

Pomotion juin 2018

Remerciement

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

Comme, c'est un plaisir de remercier tous ceux qui ont contribué à la réalisation de ce mémoire :

***En premier lieu**, nous voudrions exprimer nos sincères remerciements à Madame BOUKHELKHAL Djamila Notre promotrice, pour l'aide qu'elle a apportée à la réalisation de ce travail et pour ses précieux conseils.*

Nous remercions tous les membres de jury pour l'honneur qu'il nous accordé en acceptant de juger notre travail.

Un grand merci est adressé à tous les ingénieurs et les travailleurs de la SETAM de Médéa.

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

HANANE / KAOUTHER

Dédicace

Je dédie ce mémoire :

A ma mère ma source de tendresse pour son soutien, sa patiente, sa présence à mes côtés et son inquiétude pour ma réussite "que Dieu te garde pour nous".

A mon cher père, pour avoir toujours été présent pour moi, pour son amour, et ses encouragements et pour m'avoir appris à donner le meilleur de moi-même et à ne jamais baisser les bras devant les difficultés "que Dieu le protège".

A mon cher unique frère ***Abdelrezak*** *qui a beaucoup fait pour moi, et mes chères sœurs* ***: Faiza, Souad, Sarah, Dalila.***

A mon cher ***ADEL ZIREK*** *qui mont toujours aide et encourage, qui étaient toujours à mes coté et qui accompagnaient durant mon chemin de vie.*

A mes chères grandes- parents que nous les souhaitons une longue vie.

A toute ma famille sans exception.

A ma binôme ***KAOUTHER.***

A mes chères amies et à tous mes collègues ***2****éme années mastre.*

CHERIET
Hanane

Dédicace

Je dédié ce mémoire :

*A ma chère **MERE** et à mon **PERE**, à qui je souhaite une*

Longue vie.

*A mes chers et adorables frères :**SAID, MAHDI** ET **MONCEF.***

*A ma binôme **HANANE** ET SA **FAMILLE** .*

*A ma chère amie **LAMIA***

A toute ma famille sans exception.

A mes chères amies et à tous mes collègues

A tous ceux qui m'ont soutenue

de près ou de loin en

pensées et prière,

Merci.



MESSAOUDI

Kaouther

Résumé

Cette recherche s'inscrit dans la politique générale de l'économie d'énergie et de la protection de L'environnement. Son objectif est d'étudier l'influence des résidus végétaux (noyau d'olive et noyau de dattes) sur les caractéristiques d'un béton autoplaçant. Ce travail consiste à récupérer les noyaux issu de l'industrie de transformation des olives et rejetés dans la nature et ceux des dattes, et les incorporés dans la production d'un béton autoplaçant, sous forme de granulat (sable) en substituant une masse de sable par ce déchet avec différents pourcentage (10 ; 20 ; 30 ; 40 et 50% noyau d'olive et 10 ; 20 et 30% noyau de datte). Les propriétés à l'état frais (la maniabilité et la densité), les caractéristiques mécaniques en terme de résistance à la compression à différentes échéances 7 et 28 jours), la durabilité à l'état durci ainsi la conductivité thermique des différents mélanges réalisés seront analysées et comparées au béton témoin.

Mots clés : Béton autoplaçant, déchets végétaux, noyau d'olive, noyaux de dattes, ouvrabilité, résistance à la compression, isolation thermique, durabilité.

ملخص

هذا البحث هو جزء من السياسة العامة لتوفير الطاقة وحماية البيئة. هدفه هو دراسة تأثير المخلفات النباتية (نواة الزيتون ونواة التمور) على خصائص الخرسانة المرسوسة ذاتيا، ويشمل هذا العمل استعادة نوى الزيتون المخلفة من صناعة الزيوت و الموجودة في الطبيعة وكذا نوى التمور ، وإدماجها في إنتاج الخرسانة المرسوسة ذاتيا على شكل حصى (رمل) و ذللك باستبدال كتلة من الرمل بهذه النفايات بنسب مختلفة (10 ، 20 ؛ 30 ؛ 40 و 50٪ نواة الزيتون و 10 ؛ 20 و 30٪ نواة التمور، تمت بعد ذلك دراسة و تحليل خصائص الخرسانة في الحالة الطازجة (الليونة والكثافة) ، الخصائص الميكانيكية (قوة الانضغاط) في أوقات مختلفة ، المتانة و ناقلية الحرارة في الحالة الصلبة للخلائط المختلفة و مقارنتها بالخرسانة الشاهدة.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة المرسوسة ذاتيا ، النفايات النباتية ، نواة الزيتون ، نواة التمر ، الليونة ، المقاومة الميكانيكية ، العزل الحراري ، المتانة

Abstract

This research is part of the general policy of saving energy and protecting the environment. Its objective is to study the influence of plant residues (olive nucleus and date nucleus) on the characteristics of self-compacting concrete (SCC). This work involves recovering the olive residues from the olive processing industry and released into the nature and dates residues, and incorporated into the production of self-compacting concrete in the form of a small aggregate substituting the mass of sand by this waste with different percentage (10; 20; 30; 40 and 50% for olive residues and 10 ; 20 and 30% for dates residues). And secondarily, to study the properties of SCC in the fresh state (workability and density), the compressive strength at different times, the durability and thermal conductivity in the hardened state of the different mixtures made will be analyzed and compared to control concrete.

Key words: Self-compacting concrete, vegetal waste, olive waste, date waste, workability, mechanical strength, thermal conductivity, durability.

SOMMAIRE

1.1. INTRODUCTION 3
1.2. BETON AUTOPLAÇANT....3
1.2.1. Définition 3
1.2.2. Particularité de la composition des BAP....5
1.2.3. PROPRIETES DES BAP A L'ETAT FRAIS....10
1.2.3.1. Fluidité....10
1.2.3.2. Homogénéité....11
1.2.4. Propriétés des BAP à l'état durci 12
1.2.4.1. Résistance mécanique....12
1.2.4.2. Absorption d'eau 14
1.2.4.3. Retrait 15
1.2.5. Domaine d'emploi des BAP....16
1.3. RECYCLAGE DES DECHETS DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES 18
1.3.1. Introduction....18
1.3.2. Origine de la production de déchets....19
1.3.3. Différents types de déchets 19
1.3.4. Législation européenne relative aux déchets....21
1.3.5. Recyclage 21
1.3.5.1. Définition de recyclage....21
1.3.5.2 Procédés du recyclage 22
1.3.5. 3.La chaîne du recyclage 22
1.3.5.4. Récupération et recyclage....23
1.3.5.5. Compostage 23
1.3.5.6. Valorisationsdes déchets organiques....24
1.4. UTILISATION DES RESIDES VEGETAUX DANS LE DOMAINE DE GENIE CIVIL....24

1.4.1. Introduction 24
1.4.2. Noyau d'olive 25
1.4.2.1. Définition 25
1.4.2.2. Caractéristiques des noyaux d'olive 26
1.4.3. Influence de noyau d'olive sur le comportement des matériaux à base cimentaires 26
1.4.3. Noyau datte 27
1.4.3.1. Définition 27
1.4.3.2. Caractéristiques des noyaux de dattes 28
1.4.3.3. Domaine utilisé de noyau de dattes 28
1.5. Conclusion 29
2.1. INTRODUCTION 31
2.2. MATERIAUX UTILISÉES 32
2.2.1. Le ciment 32
2.2.2. Le sable 33
2.2.3. Les Résidus végétaux 34
2.2.3.1. Noyau d'olive 34
2.2.3.2. Noyau de dattes 35
2.2.4. L'eau de gâchage 37
2.2.5. Adjuvant 37
2.3. FORMULATION DES MORTIERS AUTOPLACANTS 38
2.3.1. Introduction 38
2.3.2. Formulation du mortier autoplaçant de référence (MAPT) 39
2.3.3. Formulation du mortier autoplaçant à base de déchets végétaux 40
2.4. CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES 40
2.4.1. Procédure de malaxage 40
2.4.2. Préparation et conservation des éprouvettes 42

2.5. PROTOCOLE EXPERIMENTAL 44
2.5.1. Essais effectués sur les MAP à l'état frais 44
2.5.1.1. Essai d'étalement au mini cône 44
2.5.1.2. Essai de l'écoulement dans l'entonnoir en V (V-funnel test).....45
2.5.1.3. La densité.....47
2.5.1.4. Essais réalisé sur mortier auto plaçant à l'état frais.....47
2.5.2. Essais effectués sur les MAP à l'état durci 49
2.5.2.1. Résistance à la compression 49
2.5.2.2. Absorption d'eau par capillarité 50
2.5.2.3. Variation dimensionnelle (Retrait et gonflement) 51
2.5.2.4. La conductivité thermique 54
2.5.2.5. Essais réalisé sur mortier auto plaçant à l'état durci 55
3.1. INTRODUCTION 58
3.2. FORMULATION DES MÉLANGES 58
3.2.1. Détermination du rapport SP/C.....58
3.2.2. Compositions des différents mortiers autoplacants.....62
3.3. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT FRAIS :.....63
3.3.1. Besoin en adjuvant 63
3.3.1.1 Noyau d'olive 63
3.3.1.2 Noyau datte.....64
3.3.2. Diamètre d'étalement et temps d'écoulement.....64
3.3.2.1 Noyau d'olive 65
3.3.2.2 Noyau datte.....66
3.4. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT DURCI.....67
3.4.1. Résistanceà la compression.....67
3.4.1.1 Noyau d'olive 67
3.4.1.2 Noyau de datte 68

3.4.2 Absorption d'eau par capillarite 69
3.4.2.1 Noyau d'olive 69
3.4.2.2 Noyau de datte 70
3.4.3. Variations dimensionnelles (Retrait et Gonflement) 71
3.4.3.1. Retrait 71
3.4.3.2. Gonflement 72
3.4.4. La densité 74
3.4.5. La conductivité thermique 75
3.4.5.1 Noyau d'olive 76
3.4.5.2Noyau de datte 77
3.5.ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES DEUX DECHETS 77
3.5.1.A l'état frais 78
3.5.2.Al'état durci 78
3.6. CONCLUSION 78

LISTE DE FIGURE

Figure 1.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP [7]. 6

Figure 1.2 : Relation entre l'étalement et la quantité de pâte d'un béton [8]. 7

Figure 1.3: Action du super plastifiant dans un mélange de béton [10]. 8

Figure 1.4 : Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle [11].....8

Figure 1.5: Interaction entre l'eau et les polysaccharides (d'après [Hasni 1999]) [8].....9

Figure1.6: Dispersions des granulats par excès de pâte [10]. 10

Figure 1.7 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant[20]. 12

Figure 1.8 : Résistance mécanique d'un béton vibré et de dix mélanges de BAP avec des additions (fillers calcaires, fine de marbre, poudre de basalte) [24]. 13

Figure 1.9 : l'évolution de la résistance en fonction de l'âge d'un BAP réalisé avec différents dosages de laitier [25]. 14

Figure 1.10 : le retrait endogène et le retrait total des bétons autoplaçants en variant le volume de pâte [30]. 15

Figure 1.11: Effet du dosage en super plastifiant sur le retrait total [31]. 16

Figure 1.12 : Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP [32]. 18

Figure 1.13 : le cycle du recyclage. 22

Figure1.14 : processus de valorisation organique. 24

Figure 1.15 : Noyau d'olive. 25

Figure 1.16 : La force de compression par rapport au pourcentage de cendres de déchets d'olive (OWA) [41].....27

Figure1.17 : Noyau de dattes. 28

Figure 2.1. Ciment MATINE utilisé. 32

Figure 2.2. Sable d'Oued-Souf utilisé. 33

Figure 2.3. Noyaux d'olives concassés**.** 34

Figure 2.4. Noyaux de dattes utilisées**.** 35

Figure 2.5. Courbe granulométrique du sable utilisé et déchets végétaux. 36

Figure 2.6. Le super plastifiant MEDAFLOW 30 utilisé. 38

Figure 2.7. Malaxeur utilisé. 41

Figure 2.8. Séquence de malaxage du mortier autoplaçant. 42

Figure 2.9. Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C. 43

Figure 2.10. Conservation des éprouvettes à l'air libre du laboratoire (climat moyen). 43

Figure 2.11. Essai d'étalement au mini cône. 45

Figure 2.12. Essai d'écoulement dans l'entonnoir en V (V-funnel test). 46

Figure 2.13. Mesure de la densité. 47

Figure 2.14. Protocole expérimentale a états frais. 48

Figure 2.15. Essai de compression simple. 49

Figure 2.16. Essai d'absorption d'eau par capillarité. 51

Figure 2.17. Mesure des variations dimensionnelles (Retrait gonflement) par rétractomètre. 53

Figure 2.18. Mesure des variations massiques dues au retrait et gonflement. 54

Figure 2.19. L'essai de conductivité thermique par CT-mètre. 55

Figure 2.20. Protocole expérimentale a états frais et durci. 56

LISTE DE TABLEAU

Tableau 2.1. Composition chimique et minéralogique du ciment utilisé 32

Tableau 2.2. Caractéristiques physiques du sable utilisé.....33

Tableau 2.3. Composition chimique des différents composants de l'olive 35

Tableau 2.4. Composition chimique des noyaux de datte 36

Tableau 2.5. Caractéristiques physiques des résidus végétaux.....37

Tableau 3.1 : Variation du diamètre d'étalement et temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant du mortier témoin 59

Tableau3.2 : Variation du diamètre d'étalement et temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant des mortiers à base des déchets végétaux.....61

Tableau3.3 : Différentes compositions des mortiers autoplaçants à base de noyau d'olive 62

Tableau 3.4 : Différentes compositions des mortiers autoplaçants à base de noyau dattes 62

Liste des symboles et des Abréviations

BO : béton ordinaire

BAP : béton auto plaçant

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.

E/c : eau / ciment

S_P/L : Super plastifiant / Liant

S_P/C : Super plastifiant / ciment

MAP : mortiers auto plaçant

MAPT : mortier auto plaçant de référence sans résidus végétaux

MAPO : mortier auto plaçant à base de Noyau d'olive

MAPD : mortier auto plaçant à base de Noyau de dattes

F_c : Charge de rupture en (N)

F_{C28} : Résistance à la compression à 28 jours

C_a : Le coefficient d'absorption capillaire

M_x : Masse de l'éprouvette (kg)

M_0 : Masse initiale de l'éprouvette (kg)

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

Δ**M :** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage

λ : Conductivité thermique (W/m°C)

INTRODUCTION GENIRALE

INTRODUCTION GENIRALE

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, etc.

Après la recherche d'une amélioration de la résistance et de la durabilité, une étape Supplémentaire est franchie avec les bétons autoplaçant (BAP).

Les bétons autoplaçants sont des bétons spéciaux, très fluides, 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 d'autoplaçants, que si le matériau final présente des propriétés homogènes, c'est-à-dire s'il n'a pas subi de ségrégation.

Depuis ces vingt dernières années, les déchets organiques représentent une part importante des déchets solides municipaux. De plus, ils posent un sérieux problème à cause de leur durée de vie et parce que ce sont des déchets 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 noyau de datte).

Les résidés végétaux sont retenues pour des raisons de disponibilité et d'économie, proviennent d'une source renouvelable et qui peuvent être intégrées d'une façon rationnelle dans le domaine de la construction. Par ailleurs. Le pourcentage au monde des résides végétaux est estimé par 19.32% en noyaux d'olive et 11.80% en noyaux de datte en 2015.

Ce travail consiste donc à récupérer de noyau d'olive et datte rejetées dans la nature, après avoir étaient trier, sécher puis extrudés sous forme de granulats, ces derniers sont incorporés dans la fabrication d'un mortier autoplaçant par substitution volumiques du sable avec de pourcentage de 10, 20, 30, 40 et 50% pour les noyaux d'olive et 10, 20 et 30% pour les noyaux de datte.

Le premier chapitre est consacré à la recherche bibliographique, en présentant les notions fondamentales des bétons autoplacants, (définitions, constituants, méthodes de formulations, caractéristiques, utilisation .., et la comparaison entre le béton autoplacant et le béton ordinaire) et des déchets.

Le douzième chapitre décrit les caractéristiques des matériaux de base, les formulations des composites, et les techniques expérimentales utilisées durant cette étude pour évaluer les propriétés à l'état frais (maniabilité), les propriétés mécaniques (résistance à la compression), les propriétés thermiques (conductivité thermique) et la durabilité (Absorption d'eau, les variations dimensionnels (retrait et gonflement).

Le troisième chapitre présente les résultats de la caractérisation des différents mortiers autoplacants étudiés à l'état frais et durci, ainsi que les indicateurs de la durabilité.

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

CHAPITRE1 :

SYNTHÈSE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1. INTRODUCTION

On s'intéresse dans ce chapitre premièrement par la présentation des bétons auto plaçant (BAP, ou SCC, en anglais, self compacting concrète), qui ont été utilisés pour la première fois au Japon vers la fin des années 1980 afin d'améliorer la rentabilité de la construction, d'assurer constamment une mise en place correcte avec un béton de qualité et de diminuer les nuisances sonores **[1]**. Ces bétons se développent maintenant en monde entier et semblent être amenés à remplacer, à terme, les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications. Ils présentent en effet des intérêts à la fois techniques et économiques.

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. BETON AUTOPLAÇANT

1.2.1. Définition

Un béton autoplaçant est un béton très fluide, homogène et stable, mis en œuvre sans vibration (la compaction des BAP s'effectuent par le seul effet gravitaire) et conférant à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration.

Les BAP sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons » car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. Ces bétons constituent dans de nombreux domaines une alternative intéressante au béton conventionnel vibré. Ces domaines comprennent le bâtiment, le génie civil, les tunnels, la préfabrication et les travaux d'assainissement et de réhabilitation **[2]**.

La spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels réside dans le fait qu'ils sont extrêmement fluides et qu'ils ne nécessitent pas de vibration pour être mis en œuvre. Se compactant sous l'effet de leur propre poids, ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine **[3]**. En effet, la qualité de matériau autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire **[4]**.

- **Avantages techniques**

Avec l'apparition des BAP, les opérations traditionnelles de coulage, d'étalement, de talochage et de surfaçage se réduisent à une étape de coulage suivie d'un déballage dans le cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers des trappes et échelles, sont réduits de manière significative.

On peut résumer ses avantages techniques dans les points suivants :

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé) ;
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés ;
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers ;
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe.

- **Avantages socio-économiques**

Nous avons vu que la fluidité des BAP est telle qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- Une diminution du bruit sur site
- Une diminution de la pénibilité des tâches
- Une réduction des risques d'accident
- Réduction du coût de la main d'œuvre.
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.

Toutefois, certains points restent à surveiller dans l'utilisation du béton autoplaçant

- Augmentation du coût des matières premières, par la présence des nouveaux adjuvants, et des différentes additions minérales ;
- Compatibilité des matériaux ;
- Etanchéité des coffrages.

1.2.2. Particularité de la composition des BAP

Les BAP sont des bétons à quatre composants : les granulats, le liant, l'eau et les ajouts. Les granulats et le ciment utilisés pour un BAP sont les mêmes que ceux utilisés pour la fabrication d'un béton ordinaire. Ce qui particularise la composition des BAP, c'est la proportion des différents constituants et non pas leurs propriétés. En plus des granulats, la formulation d'un BAP se distingue par la présence d'un ajout chimique et /ou minéral.

Les BAP se différencient des bétons traditionnels vibrés, notamment par leurs propriétés à l'état frais. Ces propriétés se caractérisent principalement par :

- Une mobilité en milieu confiné ou non ;
- Une stabilité une fois mise en place.

Pour pouvoir assurer ces caractéristiques, la composition d'un BAP diffère de celle des bétons classiques. Elle se caractérise par un volume de pâte (ciment + additions minérale et chimique + eau + air) élevé, et un volume plus faible de granulats, ce qui limite les frottements inter granulaires. Le rapport granulat/sable exprimé en masse est généralement de l'ordre de 1 pour un BAP. De plus, pour limiter le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé, la taille maximale des granulats est comprise entre 10 et 20 mm.

L'avantage des bétons autoplaçant est d'améliorer la déformabilité du mélange pour faciliter sa mise en place (sans apport de vibration), tout en gardant une bonne stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage). Pour cela il est nécessaire d'ajouter un agent de viscosité, d'augmenter la quantité des ajouts minéraux, et de choisir des teneurs appropriées de sable et de granulats [5].

- ❖ Un volume de pâte élevée ;
- ❖ Une quantité de fines élevée ;
- ❖ L'utilisation de super plastifiant ;
- ❖ Un faible volume de gravillons ;
- ❖ Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau dit agent de viscosité.

A- Un volume de pâte élevé

En considérant le béton comme un mélange de pâte et de granulats, il existe une quantité de pâte minimum nécessaire au remplissage des interstices entre les granulats. La quantité de pâte supplémentaire provoque une certaine dispersion des granulats, limitant ainsi les frottements inter granulaires, et confère au matériau sa fluidité (figure1.1) [6].

Figure 1.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP [7].

Certains auteurs ont effectivement mis en évidence l'existence d'une relation entre la quantité de pâte de ciment et l'étalement du béton (figure 1.2) [8].

Figure 1.2 : Relation entre l'étalement et la quantité de pâte d'un béton [8].

B- Une quantité de fines élevée

Le but de l'augmentation de la quantité de fines (qui peut atteindre environ 500kg/m^3) est d'assurer la maniabilité, de limiter les risques de ressuage et de ségrégation.

Les plus utilisées sont [9] :

- les fillers calcaires (calcite, dolomite) : qui agissent comme des accélérateurs de prise, par la formation d'hydrates.
- les fillers siliceux.
- les fumées de silice.
- les cendres volantes.
- les laitiers de haut fourneau.

Ces deux derniers permettent d'obtenir un maintien d'ouvrabilité plus long.

C- L'utilisation de super plastifiants

Afin de modifier la fluidité d'un BAP il est nécessaire d'utiliser un super plastifiant, ce dernier augmente l'ouvrabilité du béton mais réduit sa viscosité. De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage [6].

Figure 1.3 : Action du super plastifiant dans un mélange de béton [10].

D- Un faible volume de gravillons

Lors de l'écoulement du béton dans des zones confinées, les gros granulats ont tendance à bloquer le passage et à interrompre l'écoulement du béton .Pour minimiser les risques de blocage, on opte pour des granulats de diamètre inférieur à 20mm (le diamètre maximal doit être compris entre 10 et 20 mm).

Pour les BAP le rapport massique gravier /sable est proche de 1 [6].

Figure 1.4 : Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle [11].

Ces deux facteurs conduisent à prendre pour les BAP un rapport gravillon/sable (G/S) de l'ordre de 1, qui peut être corrigé suivant le confinement de la structure étudiée. Le diamètre maximal des gravillons (DMAX) dans un BAP est compris classiquement entre 10 et 20 mm, mais comme les risques de blocage pour un confinement donné augmentent avec DMAX, cela conduit à diminuer le volume de gravillon [12].

E- Utilisation éventuelle d'un rétenteur d'eau dit agent de viscosité

Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides ou des suspensions colloïdales, Qui augmentent la viscosité de l'eau (figure 1.5). Ils ont pour but d'empêcher le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse [13].

Ces adjuvants semblent utiles pour des bétons ayant des rapports eau /liant élevés, mais leur utilisation ne se justifie pas pour des BAP ayant le rapport eau/liant faibles [14].

Figure 1.5 : Interaction entre l'eau et les polysaccharides (d'après [Hasni 1999]) [8].

1.2.3. **PROPRIETES** DES BAP A L'ETAT FRAIS

1.2.3.1. Fluidité

Le remplissage du béton, ou déformabilité, est un critère qui découle directement de Sa fluidité. Le BAP est capable de remplir les vides et les espaces difficiles dans un milieu confiné, en se déformant sous l'effet de son poids propre, et sans sollicitations (vibrations internes ou externes).Le remplissage est observé sous deux aspects : la capacité de remplissage et la vitesse de remplissage. Le premier aspect est lié à la capacité de déformation de béton .Il traduit le pourcentage rempli ou la distance atteinte dans l'espace. Le second est lié à la vitesse de déformation. Il traduit ainsi la vitesse d'écoulement du béton [15].

La présence d'une quantité de pâte supplémentaire provoque une certaine dispersion des granulats, limitant ainsi les frottements inter granulaires, et confère au matériau sa fluidité (figure 1.6).

Figure 1.6 : Dispersions des granulats par excès de pâte [10].

L'AFGC [16] ne donne pas de recommandations particulières sur ce sujet et déclare que des granulats roulés ou concassés peuvent être utilisés dans les BAP. Il est généralement admis que les granulats ronds confèrent au béton une plus grande ouvrabilité.

Ouchi et Edamatsu [17] observent que moins il y a de frottements entre les grains de sable, plus le mortier s'écoule facilement et donc plus le béton lui-même s'écoule facilement. D'après eux, la résistance au cisaillement du mortier augmenterait en fonction de l'effort normal engendré par le rapprochement entre les grains du sable et serait dépendante de la quantité de particules fines contenues dans le mortier. En d'autres termes, Yen et al. [18]

mettent en évidence un phénomène similaire. Pour un même dosage en gros granulat (pour un rapport eau sur liant (E/l) et un dosage en super plastifiant constants) plus la quantité de sable est faible, plus l'étalement du béton est important.

L'ajout d'un super plastifiant permet ainsi d'augmenter significativement la fluidité des BAP. Donc ils permettent d'obtenir des bétons très fluides en réduisant les frottements entre grains de ciment et en libérant une certaine quantité d'eau. Leur utilisation n'est pas suffisante dans le cas des BAP. Nous avons vu que la fluidité de la pâte avait une certaine influence sur le comportement du matériau mais que la quantité de pâte jouait également un rôle vis-à-vis la fluidité du mélange. Les interactions entre les plus gros grains doivent aussi être réduites, il est donc nécessaire de les remplacer avec des fines pour assurer une bonne fluidité.

1.2.3.2. Homogénéité

Lors de leur mise en œuvre, les BAP sont soumis à différentes sollicitations. Dans un premier temps, le matériau doit s'écouler et passer à travers des armatures plus ou moins denses. Une fois le remplissage effectué, le matériau est soumis à la gravité jusqu'à la prise. Afin de rester homogène tout au long de ces différentes étapes, le matériau doit répondre à ces sollicitations de différentes manières.

- ***Ségrégation dynamique***

Afin de vérifier la capacité de béton à s'écouler à travers des armatures, l'essai le plus répandu pour caractériser la ségrégation dynamique des BAP est l'essai de la boite en L.

Pour limiter le risque de blocage, et d'après l'AFGC, le diamètre maximal des gravillons est compris entre 10 et 20 mm. Moins il y a d'interaction entre les particules, plus le béton s'écoule facilement quelle que soit la configuration d'essai [10].

Pour limiter le risque du blocage, on doit réduire la quantité des gros granulats en prenant en considération que l'augmentation de la quantité du sable en détriment des gros granulats ne soit pas trop élevée parce que cela augmente la résistance à l'écoulement et la viscosité. Par ailleurs, la viscosité doit être relativement faible pour que le BAP s'écoule avec un débit important. Mais nous avons vu qu'elle doit être suffisante pour résister au cisaillement généré par le déplacement des granulats lors de l'écoulement. L'intérêt d'utiliser une quantité de fines élevée apparaît donc de nouveau puisque la viscosité du matériau peut être augmentée (en augmentant la fraction volumique du fluide) tout en limitant le volume de sable.

1.2.4. Propriétés des BAP à l'état durci

Comme tous les bétons, le BAP peut être proportionne pour avoir des propriétés a l'état durci considérablement variable [19]. Les différences de ces propriétés entre le BAP et le béton traditionnel peuvent être attribuées à trois sources principales : proportion modifiée du mélange, microstructure et homogénéité améliorées et manque de vibration ce qui élimine les défauts et assure la distribution uniforme des granulats. Afin d'évaluer les caractéristiques des BAP, plusieurs travaux de recherches ont été introduits. Les différentes approches de formulation, varient les propriétés durcies associes au BAP d'une taude a une autre.

1.2.4.1. Résistance mécanique

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges. Les particules fines du filler, lorsqu' elles sont bien de floculées par les super plastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu''a 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite [14]. Différentes données ont été publiées sur l'évolution de la résistance mécanique des BAP contenant des fillers calcaires comparée à celle des bétons vibres et soutiennent les affirmations précédentes montre dans la (figure 1.7).

Figure 1.7 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF) correspondant [20].

Un autre élément influençant la résistance à la compression est le volume de la pâte. Turcry et al. [21] montre que le volume de pate a un effet réel mais limité sur la résistance en compression. Une diminution de 12% de la résistance est observée pour une augmentation de volume de pâte à 57%. De même, Pineaud [22] constate que le volume de pate a une faible influence sur la résistance en compression.

Du moment que le BAP est formulé avec un faible rapport E/P (0,28 à 0,42) et une teneur en poudre élevée (450 à 600 kg/m3), sa résistance à la compression est plus grande que celle du béton vibre [14].

Uysal et al. [23] et Zhu et al. [24] affirment que cette augmentation de résistance est d'autant plus marquée pour les BAP que la finesse du filler (exprimée en valeur Blaine) est grande (figure 1.6). Cet effet tend lui aussi à s'annuler au-delà de 28 jours. Uysal et al. [23] ont montré que les BAP avec des poudres de marbre présente une grande résistance cause de sa finesse réduit par rapport aux autres additions utilisées. De même le pourcentage d'addition comme le laitier diminue la résistance de BAP (figure 1.8) [25].

Figure 1.8 : Résistance mécanique d'un béton vibré et de dix mélanges de BAP avec des additions (fillers calcaires, fine de marbre, poudre de basalte) [24].

Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence sur l'évolution de la résistance mécanique du béton. De même, certains superplastifiants utilisés pour contrôler la fluidité des formulations ont pour effets secondaires de retarder le temps de prise et d'augmenter le développement de la résistance mécanique Shi et al. cité par [14]. Etant donné la défloculation du liant hydraulique qu'ils engendrent, leur dosage important dans les BAP conduit à considérer que ceux-ci seront plus résistants que des bétons vibrés supposés similaires au départ.

Figure 1.9 : l'évolution de la résistance en fonction de l'âge d'un BAP réalisé avec différents dosages de laitier [25].

1.2.4.2. Absorption d'eau

La formulation particulière des BAP (volume de pâte plus important, additions minérales) pourrait les entraîner à posséder une absorption d'eau inferieur à celles des bétons vibrés. Selon Kapoor et al. [26], la valeur d'absorption d'eau par immersion des BAP est 1% contre 2% pour les bétons vibres. Et même pour l'absorption capillaire [27], présente des valeurs inferieurs à celles des bétons vibrés et elles sont d'autant plus faibles qu'ils contiennent des fillers calcaires ou des cendres volantes.

Contrairement, Assie[14] a cité des résultats donnés par Boel[28] qui prouvent que l'absorption par immersion et par capillarité des BAP est analogue à celle des bétons vibrés correspondants (SCC1 et TC1). Ces deux grandeurs augmentent avec le rapport E/C (SCC4 a un rapport E/C de 0,36 et SCC2-SCC7 de 0,55) par suite de l'augmentation du nombre de ports et de leur taille. L'influence du filler calcaire est bénéfique pour l'absorption capillaire et néanmoins néfaste pour l'absorption par immersion (SCC5 et SCC7).

1.2.4.3. Retrait

Persson [29] montre aussi que les BAP sont sujets à des déformations libres (retraits endogène et de dessiccation) équivalentes à celles des bétons vibrés pour un grand domaine de résistance. L'augmentation de volume de pâte produit une augmentation de retrait [30] (figure 1.10).

Concernant le retrait, les résultats divergent. Pour certains, les entraîneurs d'air n'ont pas d'effet sur le retrait, ce qui est a priori paradoxal. A l'opposé, ces adjuvants semblent augmenter le retrait, par augmentation de la diffusivité du matériau.

Figure 1.10 : le retrait endogène et le retrait total des bétons autoplaçants en variant le volume de pâte [30].

Le retrait total est sensiblement le même pour les mortiers contenant de l'adjuvant ; il est environ 10% plus grand pour le mortier sans adjuvant (figure 1.11). On peut d'abord suspecter le super plastifiant d'être un produit tensio-actif et donc de diminuer la pression capillaire. Mais, dans cette hypothèse, son effet ne doit pas être très important, puisqu'entre 0,5 et 1% le retrait n'évolue pas [31].

Figure 1.11: Effet du dosage en super plastifiant sur le retrait total [31].

1.2.5. Domaine d'emploi des BAP

Les caractéristiques des BAP laissent entrevoir de nombreuses possibilités techniques du fait de leur grande fluidité :

- ✓ Possibilité de coulage de zones fortement ferraillées ;
- ✓ Possibilité de coulage de zones d'architecture complexe et difficilement accessibles ;
- ✓ Obtention de très bonnes qualités de parement.

L'un des avantages majeurs du BAP est de permettre la réalisation de parements de haute qualité. Leur composition, riche en éléments fins, permet d'obtenir une texture de surface plus fine et plus fidèle à la peau coffrant utilisée. Les aspects satinés, lisses ou très structurés recherchés par les architectes sont alors plus facilement réalisables. Des teintes

homogènes et régulières peuvent être obtenues si les conditions de mise en œuvre évoquées précédemment sont respectées, notamment du point de vue de la propreté des coffrages.

L'utilisation des BAP présente des intérêts architecturaux importants puisque, sans augmenter les performances mécaniques d'une structure donnée, ils permettent l'optimisation des sections ou la réalisation d'éléments de forme complexe.

Les BAP constituent donc une alternative particulièrement intéressante au béton vibré dans les différents domaines de la construction : bâtiment, ouvrages d'art, tunnels, préfabrication, réhabilitation, etc.

Walravens [32] précise cependant, que les BAP sont souvent adoptés dans le domaine de la préfabrication grâce aux avantages et aux gains directs qu'ils présentent. Globalement, leur utilisation permet de réduire les coûts de production et, parallèlement, d'améliorer les conditions de travail et la qualité des produits finis. Leur utilisation est plus délicate sur site car les BAP sont particulièrement sensibles aux variations de teneur en eau. Or, bien que la production soit contrôlée, les lots de matériaux peuvent avoir des caractéristiques légèrement différentes.

En effet, la formulation des BAP est particulière : utilisation d'adjuvants et d'additions minérales. Leur sensibilité en ce qui concerne le dosage et la teneur en eau, la qualité et la régularité des composants ainsi que les conditions de malaxage, nécessite donc la mise en place d'un suivi plus important. Nous verrons que les différentes précautions à prendre sur chantier et que la composition même du matériau peuvent entraîner un surcoût.

Par ailleurs, Walraven [32] rappelle à juste titre que la réglementation n'est pas encore adaptée au cas des BAP. En effet, la norme NF EN 206 ne définit que cinq classes de consistance (ferme → fluide). Actuellement, tous les BAP sont donc regroupés dans la classe 5 (fluide).

L'expérience acquise aux Pays-Bas a permis d'étendre la classification en fonction des différences existant entre les BAP et de déterminer différents domaines d'emploi, selon leurs propriétés, comme le montre la figure (figure 1.12).

Figure 1.12 : Domaines de classification des bétons étendus au cas des BAP [32].

1.3. RECYCLAGE DES DECHETS DANS LES MATERIAUX CIMENTAIRES

1.3.1. 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.

1.3.2. 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.

1.3.3. 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.

1.3.4. 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' 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.

1.3.5. 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)

1.3.5.1. 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 quiintervient. 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 1.13 : le cycle du recyclage.

1.3.5.2 Procédés du recyclage

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.

1.3.5. 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.

1.3.5.4. 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 [33].

1.3.5.5. 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 [34].

1.3.5.6. Valorisations des déchets organiques

Figure 1.14 : processus de valorisation organique.

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

1.4.1. 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.

1.4.2. 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.

1.4.2.1. 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 noir 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 [35].

Figure 1.15 : Noyau d'olive.

1.4.2.2. Caractéristiques des noyaux d'olive

- Forme : ellipsoïdale
- La taille : petite à moyenne.
- Pois de 20 grain : 10 a 15g.
- Couleur : verre et noire.
- Surface : grossière.

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

❖ La conductivité thermique :

Chelouah et Tahakourt [36] 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. [37] 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. [38] ont étudies l'Effet de l'ajout de déchets de moulin à huile sur les propriétés de cuisson a des valeurs de température déférent 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. [38] 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. [39] 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. [40] 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 indique une légère diminution avec une teneur en déchets d'olive.

Figure 1.16 : La force de compression par rapport au pourcentage de cendres de déchets d'olive (OWA) [41].

1.4.3. 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.

1.4.3.1. 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.

Figure 1.17 : Noyau de dattes.

1.4.3.2. 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.

1.4.3.3. 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.

1.5. Conclusion

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique sur les connaissances relatives aux caractéristiques des bétons autoplaçant à l'état frais et durci. Ce béton extrêmement fluide présente plusieurs avantages qui font de lui une révolution très importante dans le monde de la construction et celui du génie civil pondant les deux dernières décennies.

Les déchets constituent un réel problème, inhérent à toute vie biologique et à toute activité industrielle, agricole ou urbaine, et à ce titre, la recherche de solutions est une vraie nécessité pour les collectivités, ainsi que de leurs recyclage et valorisations. C'est dans ce contexte, que notre étude est affranchie.

CHAPITR2 :

CARACTÉRISATION DES MATÉRIAUX ET MÉTHODES D'ESSAI

2.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition de nos mortiers autoplaçants, à savoir : le ciment, les résidus végétaux (Noyau d'olive et Noyau 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 mortiers autoplaçants. Nous présenterons par la suite les différents essais réalisés au cours de notre étude et leurs modes opératoires (état frais et durci).

Les différents essais effectués au laboratoire de Génie Civil de l'université de Médéa et celui de la SETAM de Médéa au cours de cette étude sont les suivants :

A. l'état frais :

- Essais d'étalement au mini cône.
- Essai d'écoulement à l'entonnoir (V-funnel test).
- Essai de Densité

B. l'état durci :

- Essai de compression sur demi-prisme d'éprouvettes $4\times4\times16cm^3$ a L'âge de 7 et 28jours.
- Essai de variation dimensionnel (retrait et gonflement) et variation massique ; sur des éprouvettes prismatiques $4\times4\times16cm^3$ a l'âge de 1, 2, 3, 7, 14,21 ,28 et 90 jours.
- Essai d'absorption d'eau par capillarité sur demi prisme d'éprouvette $4\times4\times16cm^3$ a l'âge de 28 jours.

2.2. MATERIAUX UTILISÉES

2.2.1. Le ciment

Le ciment utilisé est un CPJ-CEM II/B 42.5 (MATINE), un ciment portland composé dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42.5MPA, produit par la cimenterie de LAFARGE (Fig. 2.1). 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'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3). Sa composition chimique et minéralogique est résumée dans le tableau 2.1. Ses caractéristiques sont présentées dans la fiche technique en Annexe A.

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. Le sable

Le sable utilisé est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf. Il est propre, les grains sont de forme généralement isométrique et arrondie (Fig. 2.2). Il est séché pondant 24h à température de 105 °C. Les caractéristiques physiques de ce sable son données au tableau 2.2 et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.5.

Figure 2.2. Sable d'Oued-Souf utilisé.

Tableau 2.2. Caractéristiques physiques du sable utilisé

Caractéristiques	Sable	Norme
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63	NF EN 1097-6 **[40]**
Masse volumique apparent (g/cm^3)	1.56	NF EN 1097-3 **[41]**
Module de finesse MF	2.25	NF EN 933-1 **[42]**
Taux absorption (%)	0.14	NF EN 1097-6 **[40]**

2.2.3. Les Résidus végétaux

Nous avons utilisé dans notre étude deux (02) types de résidus végétaux pour la substitution du sable : le noyau d'olive et le noyau de dattes. Les caractéristiques de ces deux résidus représentés dans le tableau 2.5, ainsi leurs courbes granulométriques sont présentées à la figure 2.4.

2.2.3.1. Noyau d'olive

Le noyau d'olive est un résidu solide de couleur verre brunette, après son 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 l'appareille 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 2.5 et sa composition chimique est donnée au tableau 2.3.

Figure 2.3. Noyaux d'olives concassés**.**

Tableau 2.3. Composition chimique des différents composants de l'olive

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

2.2.3.2. Noyau de dattes

Le noyau de datte ou graine de forme allongée il représente de 7 à 30% du poids de la datte et est constitué d'un albumen corné de consistance dure protégé par une enveloppe cellulosique. Ce résidu de couleur marron (Fig.2.4), est pris comme une pilule, 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 l'appareille LOS ANGELES pour obtenir une matière granulée de diamètre proche à ceux du sable. La composition chimique de noyau de dattes est donnée au tableau 2.4 et sa courbe granulométrique est présentée dans la figure 2.5.



Figure 2.4. Noyaux de dattes utilisées**.**

Tableau 2.4. Composition chimique des noyaux de datte

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

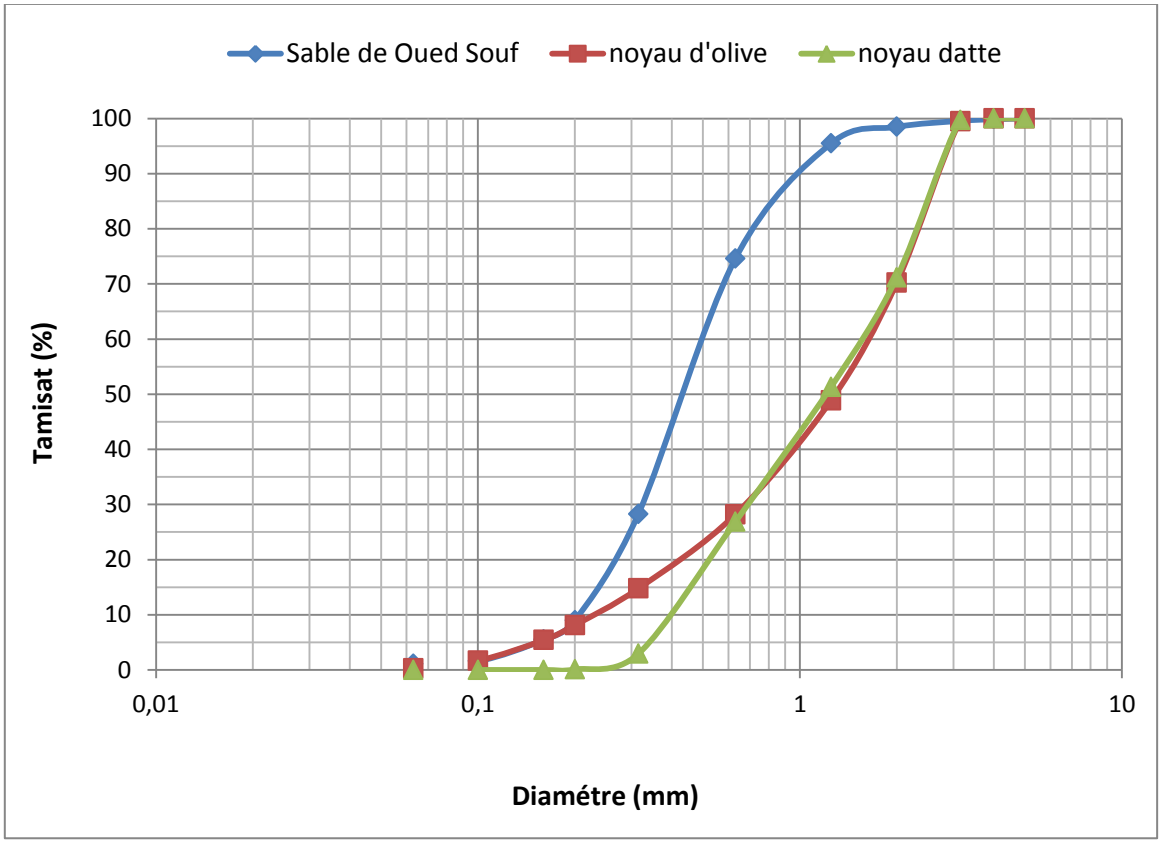


Figure 2.5. Courbe granulométrique du sable utilisé et déchets végétaux.

Tableau 2.5. Caractéristiques physiques des résidus végétaux

Caractéristique	*Noyau d'olive*	*Noyau de dattes*
La masse volumique absolue (g/cm^3)	**1.19**	**0.98**
Taux absorption(%)	**5.51**	**8.8**
Module de finesse MF	**3.33**	**3.48**

2.2.4. L'eau de gâchage

L'eau utilisée pour le gâchage de nos mélanges, est une eau potable de distribution de notre laboratoire, exempte d'impuretés nuisibles au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[43]**.

2.2.5. Adjuvant

Le superplastifiant utilisé dans cette étude, est un haut réducteur d'eau commercialisée par l'entreprise GRANITEX sous le nom ‹MEDAFLOW30› (Fig. 2.6), il est conçu à base de poly carboxylates et ne présente pas d'effet retardataire. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5 à 2 % du poids de ciment. Toutefois, le dosage optimal doit être recherché selon le type de mortier et les propriétés recherchées par la réalisation des gâchés au laboratoire. Ses caractéristiques sont présentées dans la fiche technique en Annexe B.

♦ Caractéristique du super plastifiant MEDAFLOW30 :

- Aspect……..liquide
- Couleur ……...Brun clair
- pH ……...6- 6,5
- Densité……1,07± 0,01
- Teneur en chlore……..$< 0{,}1 g/_L$
- Extrait sec…….30%

Figure 2.6. Le super plastifiant MEDAFLOW 30 utilisé.

2.3. FORMULATION DES MORTIERS AUTOPLACANTS

2.3.1. Introduction

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 BAP, la formulation semble plus complexe, puisque les BAP possèdent des propriétés spécifiques et contradictoires à l'état frais : une grande déformabilité, une grande capacité de passage et une grande résistance à la ségrégation. Ces propriétés doivent être en balance pour obtenir un bon BAP.

Du moment que le mortier occupe un volume important dans les BAP (presque 70%), et que la rhéologie du BAP est fortement liée à celle du mortier autoplaçant (MAP), les résultats d'essais sur le MAP seront concluants et peuvent donner une grande idée sur le comportement rhéologique du BAP.

Selon JIN et DOMONE **[44]**, des tests sur les mortiers sont indispensables car :

- Le BAP a un volume en gros granulats moins important que le béton ordinaire, et donc les propriétés du mortier sont dominants

- L'évaluation des propriétés du mortier est une partie intégrale de la formulation des BAP, et donc la connaissance des propriétés du mortier est utile.
- Tester un mortier est beaucoup plus commode et simple que tester un béton.

2.3.2. Formulation du mortier autoplaçant de référence (MAPT)

Afin de déterminer les quantités des matériaux : ciment, granulats, eau et adjuvant, nous sommes basés sur la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA **[45]**, avec quelques modifications sont apportées au niveau de la teneur en sable dans le mortier (S/M), le rapport eau/ciment (E/C) ainsi que le rapport Super plastifiant / Liant (S_P/L) et ceci dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier auto plaçant (MAP) à l'état frais.

BOUKENDAKDJI O. **[7]**, dans ses travaux de recherche a ajusté le rapport S/M (S/M=0.5) et S_P/C de manière à avoir un diamètre d'étalement de la galette du mortier compris entre 270 et 330 mm et un temps d'écoulement à l'entonnoir en V compris entre 2 et 10 s.

Afin de minimiser le nombre de variables pour le mortier auto plaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe les deux rapports S/M et E/C. Dans notre étude nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI **[7**] et le rapport S/M a été fixé à 0,5. En ce qui concerne le rapport E/C, on a basé sur les travaux de Hamraoui et Rebaia **[46]**, qui ont travaillé par les mêmes matériaux de constructions (Ciment et Sable) dans la formulation d'un mortier autoplaçant. Et le rapport E/C a été fixé constant à 0.42**.**

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 270 mm ≤ d ≤330 mm et le temps d'écoulement du mortier à l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec≤ t ≤ 10 sec [**47]**. Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque % en déchet, on fait varier le dosage en SP de 0,5 à 2%. Les rapports optimaux de Sp/C sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP. Il faut noter ici que le mélange de mortier autoplaçant de référence, ne comportera aucun déchet végetal.

2.3.3. Formulation du mortier autoplaçant à base de déchets végétaux

Notre étude est focalisée sur l'influence de type et pourcentage d'addition des déchets végétaux sur les caractéristiques d'un mortier auto plaçant. Pour cela, le sable du MAP de référence a été substitué partiellement par l'un des résidus végétaux dans cette étude (Noyau d'olive et noyau dattes) avec plusieurs pourcentages.

Dans ce travail expérimental neuf (09) mélanges ont été préparés en remplaçant une partie de sable avec l'un des résidus végétaux employés à savoir : Noyau d'olive (MAPO) avec les pourcentages 10, 20, 30, 40 et 50%, et Noyau de dattes (MAPD) avec les pourcentages 10, 20 et 30%. Les différents mélanges préparés ainsi leurs nomenclatures sont les suivants :

- **MAPT :** mortier auto plaçant de référence sans résidus végétaux ;
- **MAPO10 :** mortier auto plaçant avec 10% de Noyau d'olive ;
- **MAPO20 :** mortier auto plaçant avec 20% de Noyau d'olive ;
- **MAPO30 :** mortier auto plaçant avec 30% de Noyau d'olive ;
- **MAPO40 :** mortier auto plaçant avec 40% de Noyau d'olive ;
- **MAPO50 :** mortier auto plaçant avec 50% de Noyau d'olive ;
- **MAPD10 :** mortier auto plaçant avec 10% de Noyau de dattes ;
- **MAPD20 :** mortier auto plaçant avec 20% de Noyau de dattes ;
- **MAPD30 :** mortier auto plaçant avec 30% de Noyau de dattes.

2.4. CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES

2.4.1. Procédure de malaxage

Pour la confection des mortiers autoplaçants, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité (Fig. 2.7). En ce qui concerne la durée de malaxage, les MAP et BAP ont une durée de malaxage plus longue, ce qui a pour effet d'assurer une meilleure dispersion des particules de la poudre par le superplastifiant. Certains auteurs **[48, 49]** ont proposé des durées de malaxage variant entre 3 et 4 min. Pedersen et al. **[50]** ont rapporté qu'une durée de malaxage excédant 5 min est préférée.

Figure 2.7. Malaxeur utilisé.

BOUKENDAKDJI et al. **[25]** ont rapporté que l'efficacité du SP est d'autant plus grande lorsqu'il est ajouté (avec 30% de l'eau) après l'humidification du béton (70% de l'eau de gâchage ajouté au début de malaxage). En se basant sur ces recommandations et sur les travaux cites **[46, 51]**. Apres avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP, on procède à un malaxage suivant la séquence présentée à la figure 2.8 et résumée comme suit :

- Malaxer à sec le ciment, sable et addition afin d'homogénéiser le mélange pendant 30 seconde ;
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (w1 = 60% Eau) ;
- Ajouter pendant 1 minute le restant de l'eau de gâchage (w2 = 40% Eau) mélangé avec le super plastifiant ;
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes ;
- En laisse le mélange reposé 3 minutes ;
- Malaxer le mélange pendant 1minutes et 30secondes.

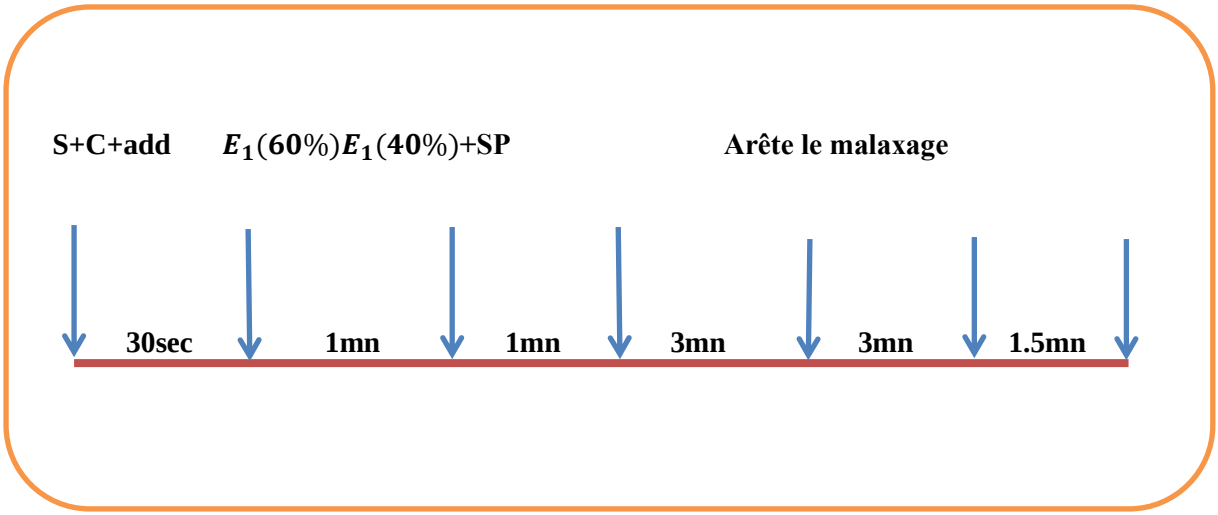


Figure 2.8. Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.

2.4.2. Préparation et conservation des éprouvettes

Les différents types de mortiers autoplaçants 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 destinés aux essais à l'état durci de compression, absorption capillaire, et variation dimensionnelle, et des moules métalliques se forme carrée 10×10 ×4 cm destinés à l'essai de conductivité thermique.

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risque d'évaporation excessive et le retrait plastique. Après le démoulage des éprouvettes à 24h, elles sont divisées en deux groupes. Des éprouvettes ont été conservé dans l'eau à 20°C ± 2°C conformément à la norme NF EN 12390-2 **[52]** (Fig. 2.9), destinées au essai de compression, absorption capillaire et gonflement. Et des éprouvettes conservées à l'aire libre (Fig. 2.10) destinées à la mesure du retrait.

Figure 2.9. Conservation des éprouvettes dans l'eau à 20°C.

Figure 2.10. Conservation des éprouvettes à l'air libre du laboratoire (climat moyen).

2.5. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.5.1. Essais effectués sur les MAP à l'état frais

Les essais sur mortier frais ont pour but en premier temps de fixer le dosage en superplastifiant afin d'avoir des mélanges fluides de caractère autoplaçant. L'essai d'étalement vise à qualifier la déformabilité du mortier en mesurant son étalement, et à contrôler la stabilité du mortier en observant sa galette après l'arrêt de l'écoulement. La viscosité du mortier est évaluée en comptant le temps d'écoulement à travers L'essai au mini-entonnoir en V.

2.5.1.1. Essai 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 soulevé, le diamètre d'étalement du mortier est mesuré suivant deux directions perpendiculaires, la moyenne est retenue. La figure 2.11 montre le dispositif de l'essai d'étalement pour les mortiers.

♦ ***Mode opératoire :***

- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon) ;
- Placer et centrer le mini cône sur la plaque ;
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône;
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées ;
- Une fois que le mortier s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.
- Détecter visuellement s'il y a des signes de ségrégation de mortier.

Figure 2.11. Essai d'étalement au mini cône.

2.5.1.2. Essai de l'écoulement dans l'entonnoir en V (V-funnel test)

L'entonnoir est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. L'entonnoir est rempli de mortier et le temps pour lequel le mortier prend pour couler à travers le dispositif est mesuré. Ce temps mesuré indique la fluidité et caractérise la capacité du mortier à se déformer à travers des zones confinées par son passage par l'ouverture du col du dispositif (Fig. 2.12).

♦ Mode opératoire :

- Placer l'entonnoir en V dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé;
- Prélever dans un seau un échantillon de mortier représentatif d'environ de 12 litres ;
- Remplir l'entonnoir avec le mortier ;
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir et ouvrir le clapet ;

- Après une attente de 10 secondes, ouvrir le clapet en déclenchant le chronomètre ;
- Arrêter le chronomètre quand la première lumière est apparue à travers l'orifice de l'entonnoir, cette mesure est le temps d'écoulement T_{V-F} ;
- Refaire l'essai 3 fois et Le résultat est la moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.

Figure 2.12. Essai d'écoulement dans l'entonnoir en V (V-funnel test).

2.5.1.3. La densité

La masse volumique du mortier autoplaçant à l'état frais a été mesurée selon la norme NF EN 12350-6 **[53]** (Fig.2.13).

Figure 2.13. Mesure de la densité.

2.5.1.4. Essais réalisé sur mortier auto plaçant à l'état frais

Les différents essais réalisés sur les mélanges du mortier autoplaçant, sont résumés dans l'organigramme représenté par la figure 2.14 suivante.

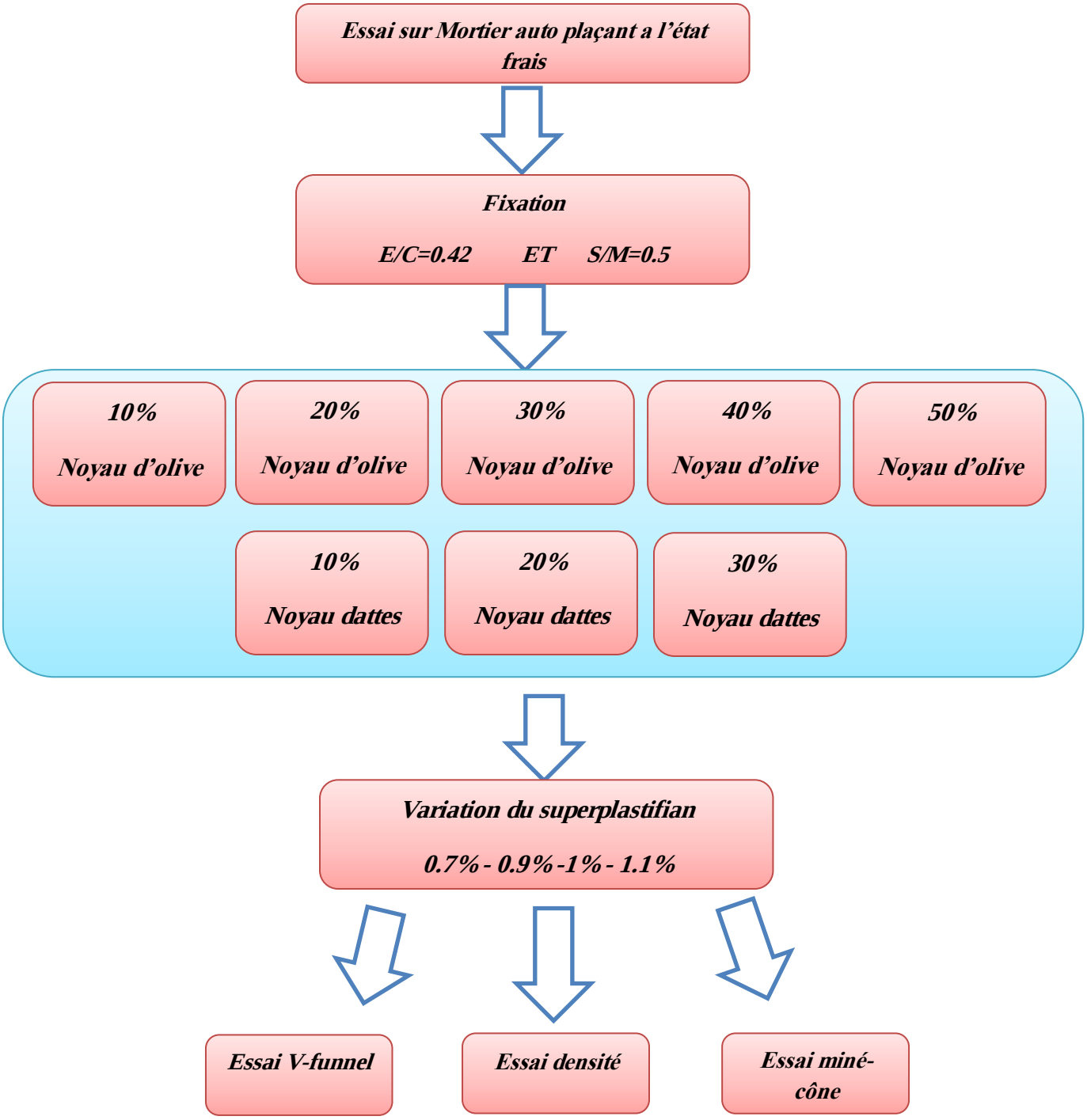


Figure 2.14. Protocole expérimentale a états frais.

2.5.2. Essais effectués sur les MAP à l'état durci

2.5.2.1. Résistance à la compression

Les essais de résistance mécanique de tous les mortiers autoplaçants étudiés ont été effectués sur des éprouvettes de forme prismatique de dimensions (4x4x16) cm^3. Pour chaque gâchée trois éprouvettes ont été confectionnés. Après démoulage. Les résistances à la compression pour chaque mélange, ont été déterminées à l'âge de 7 et 28 jours.

La résistance en compression a été mesurée par compression axiale suivant la norme en vigueur **[54]** sur demis prismes de 4×4×16 cm, à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 kN (Fig. 2.15). La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement sur les éprouvettes à chaque âge d'essai.

Figure 2.15. Essai de compression simple.

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

$$\sigma_C = \frac{F_c}{a^2}$$

Cette contrainte est appelée résistance à la compression et, si Fc est exprimée en newtons, cette résistance exprimée en méga pascals vaut :

$$f_{c28}(MPa) = \frac{F_c(N)}{1600}$$

2.5.2.2. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18 **[55]**, l'essai consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de mortier autoplaçant préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C jusqu'à poids constatant.

A l'issue du sortir en étuvage, la surface latérale des éprouvette est alors enduite de résine (ou de papier aluminium autocollant) pour éviter l'évaporation latérale de l'eau absorbée durant l'essai, puis conservée environ 12 heures dans un dessiccateur à 20 ± 2°C pour permettre le durcissement complet de la résine.

L'essai d'absorption capillaire est réalisé à la suite et consiste à suivre l'évolution de masse des éprouvettes plongées de 5 mm dans de l'eau (Fig. 2.16). L'augmentation de la masse de l'échantillon a été mesurée à intervalles de temps (0 min, 12 min, 30 min, 1h, 2h, 4h et 24h) on procède à la pesée des morceaux (mx). La différence de poids entre (m_x) et (m_0) est le poids de l'eau absorbée (m_x-m_0).

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

$$C_a = \frac{M_x - M_0}{M_0} \times 100$$

Avec :

M_x : Masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg),

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

A : section de l'éprouvette (m²).

Figure 2.16. Essai d'absorption d'eau par capillarité.

2.5.2.3. Variation dimensionnelle (Retrait et gonflement)

En l'absence de toute charge, le mortier se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en mortier. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du mortier.

Il s'agit d'évaluer le retrait ; ou le gonflement que provoque le ciment, l'addition utilisée ou les conditions de conservation des éprouvettes 4x4x16cm^3; ces dernières sont placées dans un bâti de mesure des déformations équipé d'un comparateur d'une précision de 1µm. Les mesures obéissent à la Norme NF 15-433 **[56]**, où les résultats visent à caractériser chaque résidu végétal et sa contribution à modifier les déformations différées ainsi que son aptitude à lutter contre la dessiccation.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal e 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).

A. Mesure des variations de longueurs

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical (Fig. 2.17). Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3éprouvettes dépasse de plus de 0.03mmcelle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots,…etc.). Et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 160 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar et protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subi au cours des manipulations).

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants:
ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,
L0: Longueur de base, prise égale à 160mm.

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$\mathbf{l = L + dl\ (t)}$$

Soit l (t0) la longueur de l'éprouvette au temps t cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\mathbf{\Delta l(t)= l(t) - l\ (t0)= dl(t)_dl\ (t0)}$$

La variation relative de longueur est généralement désignée par et a pour expression:

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta I(t)}{I} = \frac{dI(t) - dI(t_0)}{I}$$

Δl (t) est obtenu en faisant la moyenne sur les éprouvettes. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, Δl(t) est généralement négatif et l'on parle alors du retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau ou à froid, Δl(t) peut être positif: il y a alors gonflement.

Figure 2.17. Mesure des variations dimensionnelles (Retrait gonflement) par rétractomètre**.**

B. Mesure des variations massiques

La variation de masse est déduite après avoir, pesé à 0.1g chaque éprouvette à chaque moment de mesure du retrait ou gonflement (Fig. 2.18).

Pour chaque éprouvette on calcul les rapports suivants: ΔL : Variation de longueur par apport à la longueur origine,

L0 : Longueur de base, prise égale à 160mm.

Δ**M :** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,

M : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage

Figure 2.18. Mesure des variations massiques dues au retrait et gonflement.

2.5.2.4. La conductivité thermique

De nombreuses méthodes sont utilisées pour mesurer la conductivité thermique des matériaux. Ces méthodes consistent à soumettre l'échantillon à un flux thermique et mesurer par la suite soit un profil de température soit un flux de chaleur. Dans notre cas Les propriétés thermiques des déférents mélanges ont été mesuré à l'aide d'un CT Mètre conformément la norme NF EN ISO 8894-1 **[20]** (Fig. 2.19).

♦ ***Le CT METRE Norme de référence NF EN ISO 8894-1 [57]***

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 2.19. 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/λ.

2.5.2.5. Essais réalisé sur mortier auto plaçant à l'état durci

L'organigramme présenté sur la figure 2.20 suivante résume les variables d'étude expérimentale réalisée au laboratoire sur les différents MAP à l'état durci. Les différents matériaux utilisés, les essais réalisés et les différents composites obtenus sont présentés.

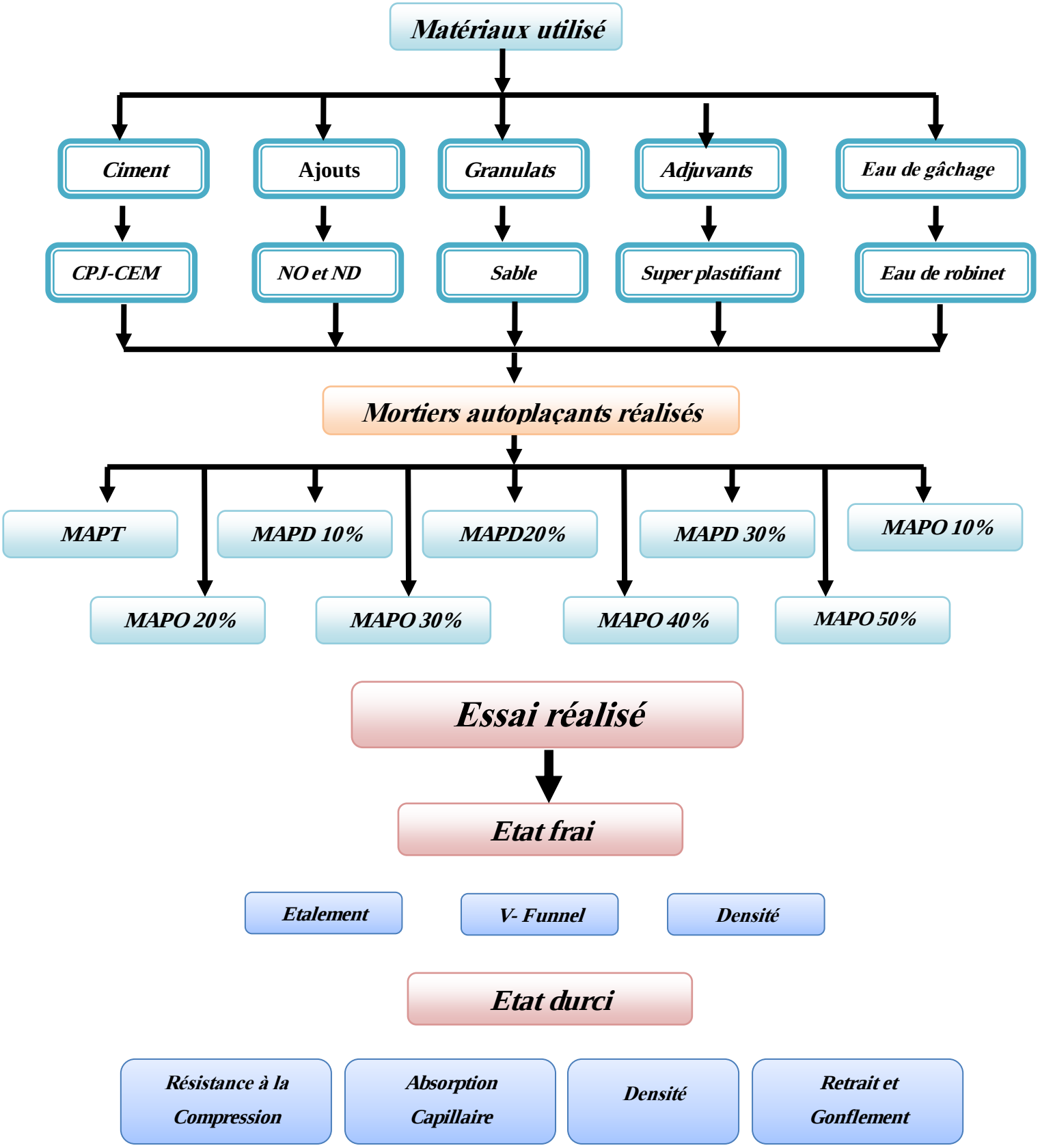


Figure 2.20. Protocole expérimentale a états frais et durci.

CHAPITRE3 :

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 et le temps de écoulement dans l'entonnoir en V à l'état frais. Et la résistance à la compression, la densité, l'absorption d'eau par capillarite, les variations dimensionnelles (retrait et gonflement) et La conductivité thermique à l'état durci. Les différents résultats trouvés sont présentés par la suite.

3.2. FORMULATION DES MÉLANGES

Formuler un mortier, c'est de trouver un arrangement des divers constituants qui répond à un cahier de charge donné, pour un mortier auto plaçant c'est complexe vue le nombre de 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.

Les mortiers autoplacants étudiés dans cette recherche sont formulés selon la méthode Japonaise (méthode générale) proposée par OKAMURA avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable dans le mortier, le rapport eau/liant ainsi que le rapport super plastifiant/liant.

Dans notre étude nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI **[7**] et le rapport S/M a été fixé à 0,5. En ce qui concerne le rapport E/C, on a basé sur les travaux de Hamraoui et Rebaia **[46]**, qui ont travaillé par les mêmes matériaux de constructions (Ciment et Sable) dans la formulation d'un mortier autoplaçant. Et le rapport E/C a été fixé constant à 0.42**.**

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 270 mm ≤ d ≤330 mm et le temps d'écoulement du mortier à l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec ≤ t ≤ 10 sec [**9]**. Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque % en déchet, on fait varier le dosage en SP de 0,3 à 2%.

Les rapports optimaux de SP/C sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP. Il faut noter ici que le mélange de mortier autoplaçant de référence, ne comportera aucun déchet végétal.

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 0.3 et 2% ; La formulation adoptée doit présenter un étalement entre 270 et 330 mm et un temps d'écoulement inferieur à 10s. Pour notre étude on a fixé un étalement de 28 cm pour tous les mélanges.

Tableau 3.1 : Variation du diamètre d'étalement et temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant du mortier témoin

Essai	***MAPT1***	***MAPT2***	***MAPT3***
Sp(%)	1	0.8	0.9
D (cm)	32	12	28
T (sec)	10	12	6
Remarque	Ressuage	SEC	Homogène pas de ressuage

MAPT 3

MAPT 1

MAPT 2

Tableau 3.2 : Variation du diamètre d'étalement et temps d'écoulement en fonction du dosage en super plastifiant des mortiers à base des déchets végétaux

		Essai 1	*Essai 2*	*Essai 3*	*Essai 4*
MAPD 10%	S_p(%)	0.9	1		
	D (cm)	22	28		
	T (sec)	-	6		
	Remarque	Sec	Homogène pas de ressuage		
MAPD 20%	S_p (%)	1			
	D (cm)	28			
	T (sec)	7			
	Remarque	Homogène pas de ressuage			
MAPD 30%	Sp(%)	1	1.1		
	D (cm)	22	29		
	T (sec)	-	6		
	Remarque	SEC	Homogène pas Ressuage		
MAPO 10%	S_p (%)	1	0.9	0.8	0.7
	D (cm)	32	30	30	29
	T (sec)	-	-	-	5
	Remarque	Ressuage	Ressuage	ressuage	Homogène pas de ressuage
MAPO 20%	S_p(%)	0.5	0.7		
	D (cm)	22	28.5		
	T (sec)	-	6		
	Remarque	SEC	Homogène pas de ressuage		
MAPO 30%	S_p (%)	0.7			
	D (cm)	28			
	T (sec)	7			
	Remarque	Homogène pas de ressuage			
MAPO 40%	S_p (%)	0.7	0.8	1	1.1
	D (cm)	22	24	26	29
	T (sec)	-	-	-	6
	Remarque	Sec	Sec	Sec	Homogène pas de ressuage
MAPO 50%	Sp(%)	1.1			
	D (cm)	28.5			
	T (sec)	6.5			
	Remarque	Homogène pas de ressuage			

3.2.2. Compositions des différents mortiers autoplacants

Les mortiers autoplacants avec les déchets végétaux sont formulés par la même manière que le mortier de référence avec différentes substitutions de volume du sable par les résidus végétaux en ajustant le dosage en superplastifiant. Les différentes compositions déterminées pour l'ensemble des mélanges étudiés sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 3.3 : Différentes compositions des mortiers autoplaçants à base de noyau d'olive

Mortier	***MT***	***MAPO 10%***	***MAPO 20%***	***MAPO 30%***	***MAPO 40%***	***MAPO 50%***
S_p(%)	0.9	0.7	0.7	0.7	1.1	1.1
Ciment(g)	678	678	678	678	678	678
Sable(g)	1315	1183.5	1052	920.5	789	657.5
Eau(g)	296.27	300.42	302.3	307	308.4	311.6
NO (g)	0	59.5	119	178.5	238	297.5
S_p(g)	6.10	4.75	6.78	4.75	7.46	7.46
D (cm)	28	29	28.5	28	29	28.5
T(s)	6	5	6	6	6	6.5

Tableau 3.4 : Différentes compositions des mortiers autoplaçants à base de noyau dattes

Mortier	***MT***	***MAPD 10%***	***MAPD 20%***	***MAPD 30%***
S_p	0.9	1	1	1.1
Ciment(g)	678	678	678	678
Sable(g)	1315	1183.5	1052	920.5
Eau(g)	296.27	300.1	304.4	308.2
ND (g)	0	49	98	147
S_p(g)	6.10	6.78	6.78	7.56
D (cm)	28	28	28	29
T(s)	6	6	7	6

3.3. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT FRAIS :

Lors de la formulation, la caractérisation des mortiers à l'état frais est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir des tests empiriques conçus spécifiquement pour évaluer le caractère autoplaçant. Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais, la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation.

Pour ce qui s'en suit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci, on a varié la quantité d'adjuvant (figure 3.1et 3.2) pour obtenir un étalement constant de 28 cm et un temps d'écoulement entre 6 et 7 sec pour tous les mortiers autoplaçants comme indiquent les figures 3.3 – 3.6.

3.3.1. Besoin en adjuvant

3.3.1.1. Noyau d'olive

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents mortiers autoplaçant à base noyau d'olive réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure 3.1 suivante.

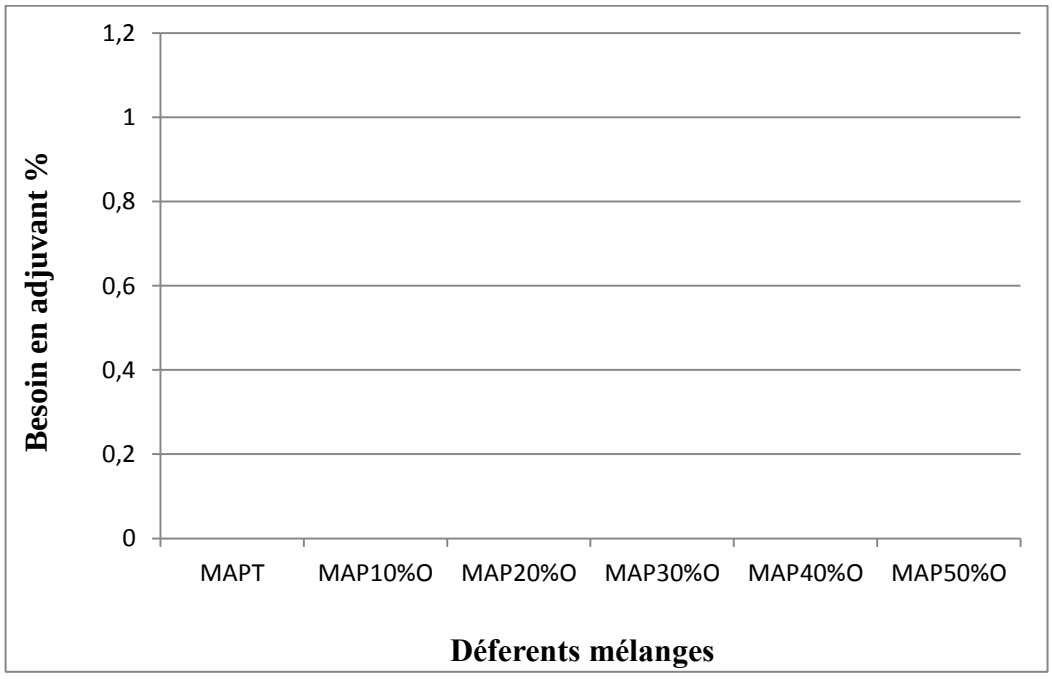


Figure 3.1 : Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants a base noyau d'olive.

D'après les résultats présentés dans la figure 3.1, on remarque que les noyaux d'olives améliorent la fluidité des mortiers autoplaçants. Par conséquent les mortiers renfermant 10, 20 et 30% de noyau, demandent moins d'adjuvant que MAPT. Au-delà de 30% en déchet, on observe une augmentation en besoin d'adjuvant et les mortiers à base de 40 et 50 % de déchet, présentent une demande plus importante en adjuvant par rapport au MAPT.

3.3.1.2. Noyau datte

Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents mortiers autoplaçant à base de noyau de datte réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure 3.2. A l'issu des résultats présentés sur cette figure, on remarque que les noyaux de datte diminuent la fluidité des mortiers autoplaçants. Par conséquent les mortiers renfermant 10, 20 et 30% de noyau de datte demandent plus d'adjuvant que le MAPT.

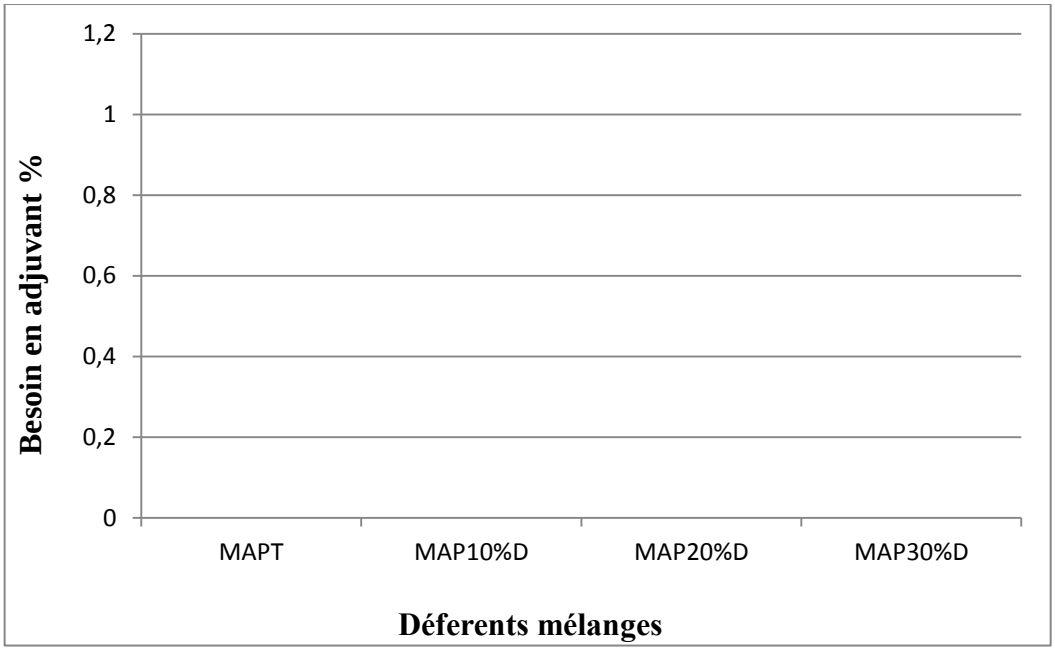


Figure 3.2 : Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants à base noyau datte.

3.3.2. Diamètre d'étalement et temps d'écoulement

Les différents résultats du diamètre d'étalement au mini cône et temps d'écoulement à l'entonnoir en V, des différents mortiers autoplaçants étudiés, sont présentés aux figures 3.3-3.6 suivantes.

3.3.2.1. Noyau d'olive

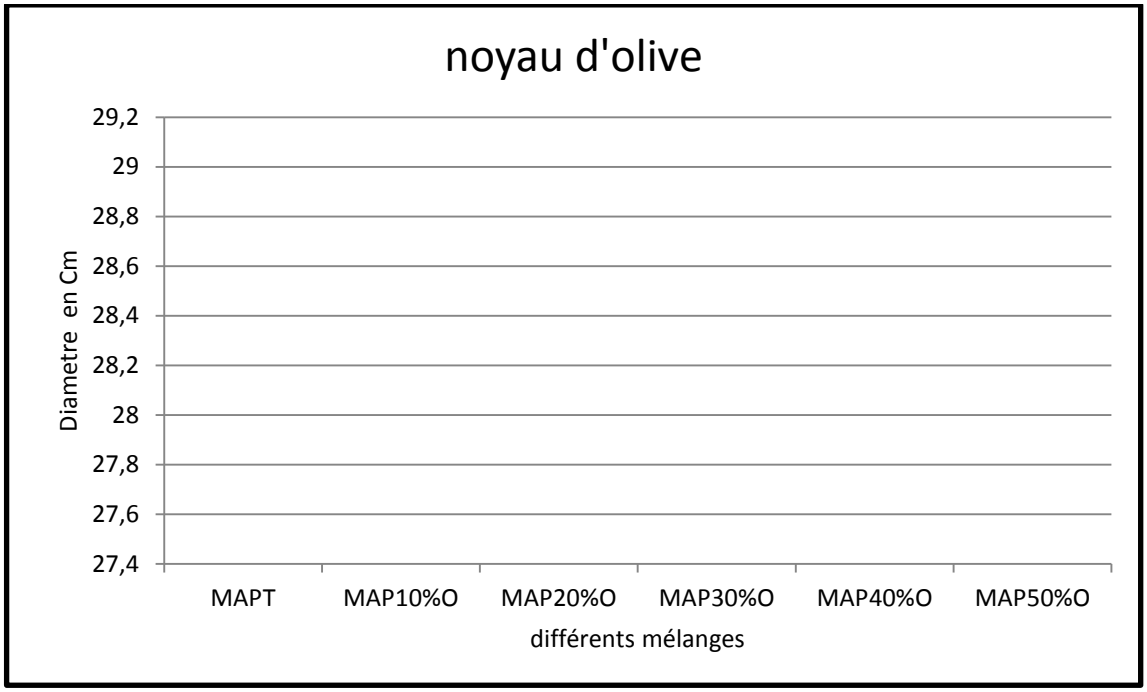


Figure 3.3 : Diamètre d'étalement au mini cône pour les différents mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

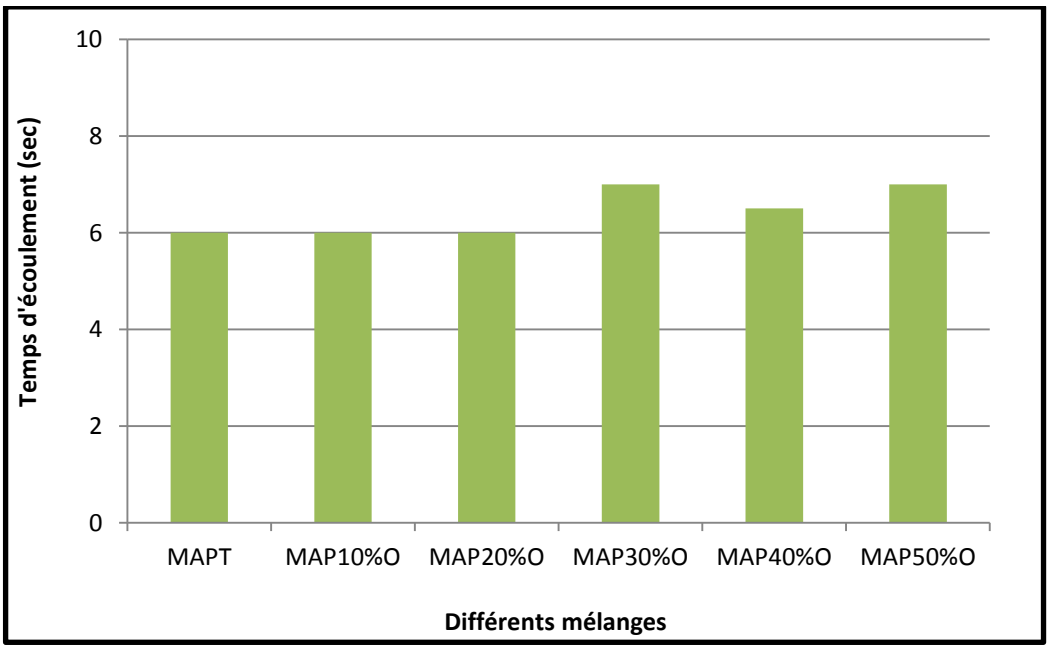


Figure 3.4 : Temps d'écoulement dans l'entonnoir en V pour les différents mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

3.3.2.2. Noyau datte

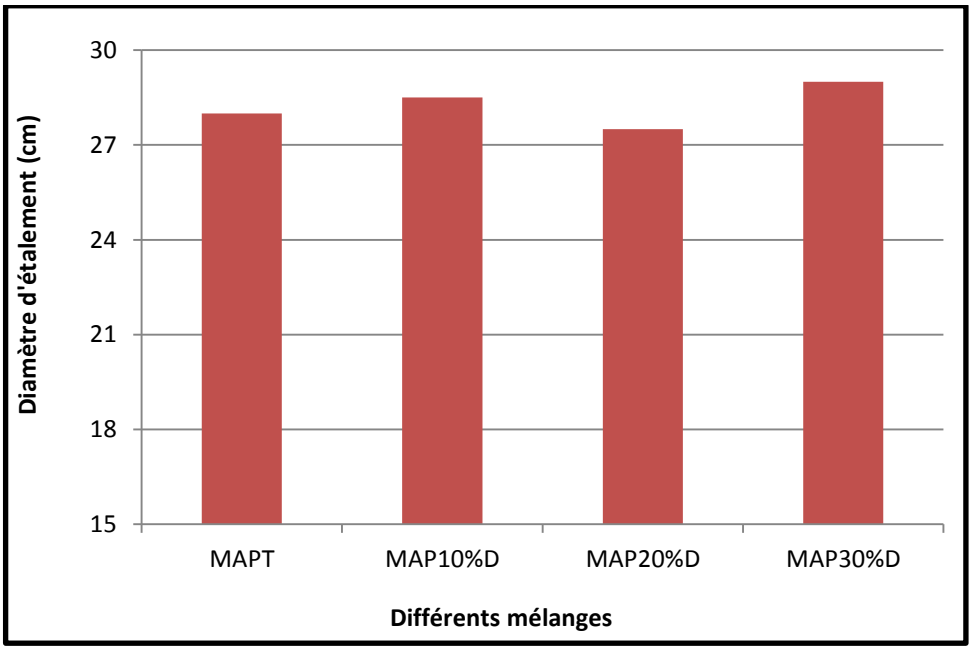


Figure 3.5 : Diamètre d'étalement au mini cône pour les différents mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte.

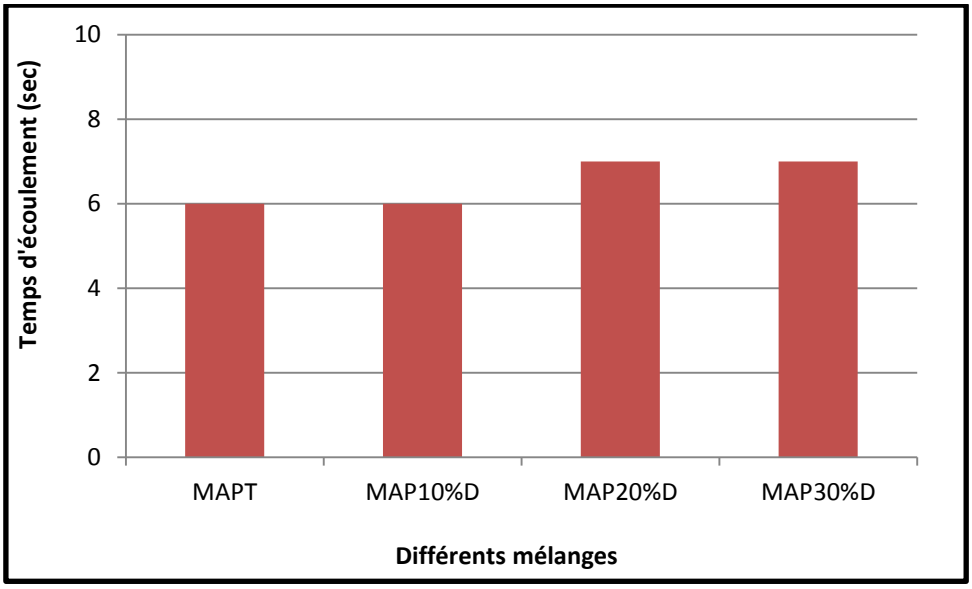


Figure 3.6 : Temps d'écoulement dans l'entonnoir en V pour les différents mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte.

D'âpres les résultats d'étalement des différents MAP, qui sont présenté sur les figures 3.3 et 3.5 et ceux du temps d'écoulement présentés sur les figures 3.4 et 3.6, on remarque que tous les mortiers autoplaçants, ont des valeurs d'étalement et temps d'écoulement qui s'inscrivent dans le domaine des mortiers autoplaçants (D ≈ 28 cm et 5 ≤ t ≤ 7sec). Nous pouvons conclure que les compositions choisies assurent une bonne fluidité des bétons quel que soit le type de déchet végétal incorporé et sont pourcentage.

3.4. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT DURCI

3.4.1. Résistance à la compression

Trois jours après le moulage, les éprouvettes de forme prismatiques 4*4*16 cm^3 sont démoulées et remises en conservation jusqu'au moment de l'essai où elles subiront un essai de compression. Les trois (03) éprouvettes de chaque mélange sont testées en compression afin de déterminer la résistance du mortier pour différents âges de 7, 28 jours.

3.4.1.1. Noyau d'olive

Les résultats de la variation de la résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive sont présentés dans figure 3.7 suivante.

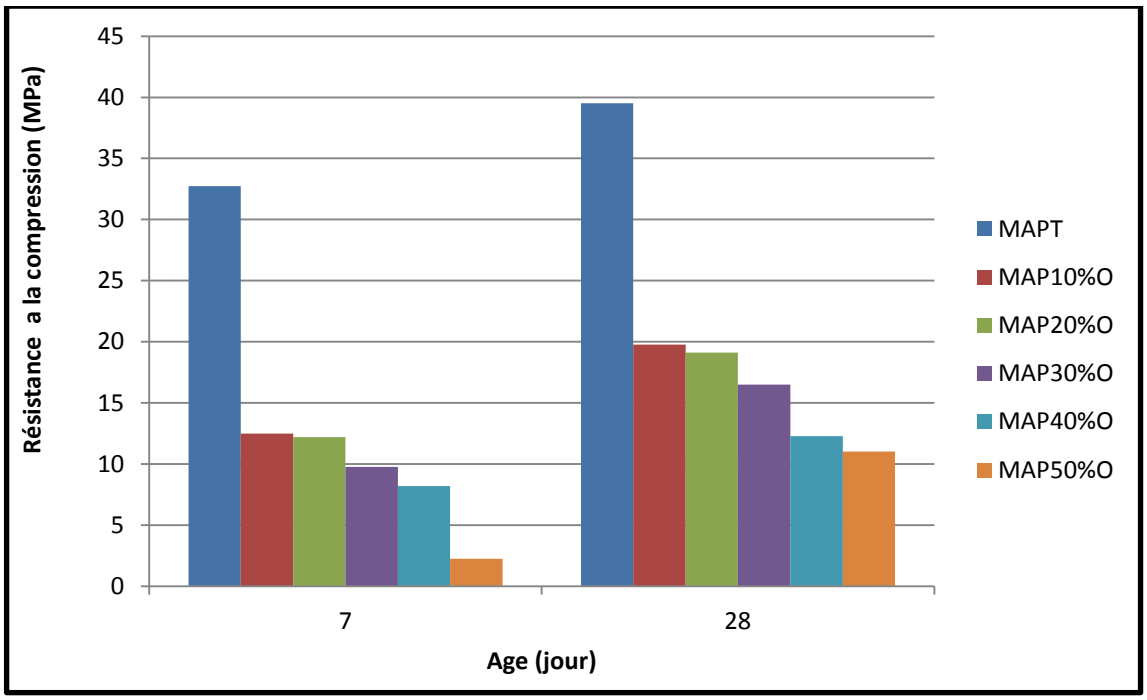


Figure 3.7 : Résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

On remarque d'après cette figure, une diminution dans les résistances à la compression de tous les mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive par rapport au mortier autoplacant témoin. Tel qu'une diminution de l'ordre 62, 63 ,70 et 93% est observée pour les mélanges de 10, 20, 30, 40 et 50% en déchet d'olive respectivement à l'âge de 7 jours. En outre, à l'âge de 28 jours, la diminution est de l'ordre de l'ordre 50, 52, 58, 69 et 72% pour les mélanges de 10, 20, 30, 40 et 50% respectivement par rapport au MAPT.

Des mêmes résultats ont été trouvés par M. Sutcu et al. [38], Djadouf.S et al. [39] et Sharaf Alkheder et al. [40], qui ont trouvé que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de l'ajout en noyau d'olive.

3.4.1.2. Noyau de datte

Les résultats de la variation de la résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte sont présentés dans figure 3.8 suivante. On remarque d'après cette figure, une diminution dans les résistances à la compression de tous les mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte par rapport au mortier autoplacant témoin. Tel qu'une diminution de l'ordre 50, 71 et 93% est observée pour les mélanges de 10, 20 et 30% en déchet de datte respectivement à l'âge de 7jours. En outre, à l'âge de 28 jours, la diminution est de l'ordre de l'ordre 25, 82 et 94% pour les mélanges de 10, 20 et 30% respectivement par rapport au MAPT.

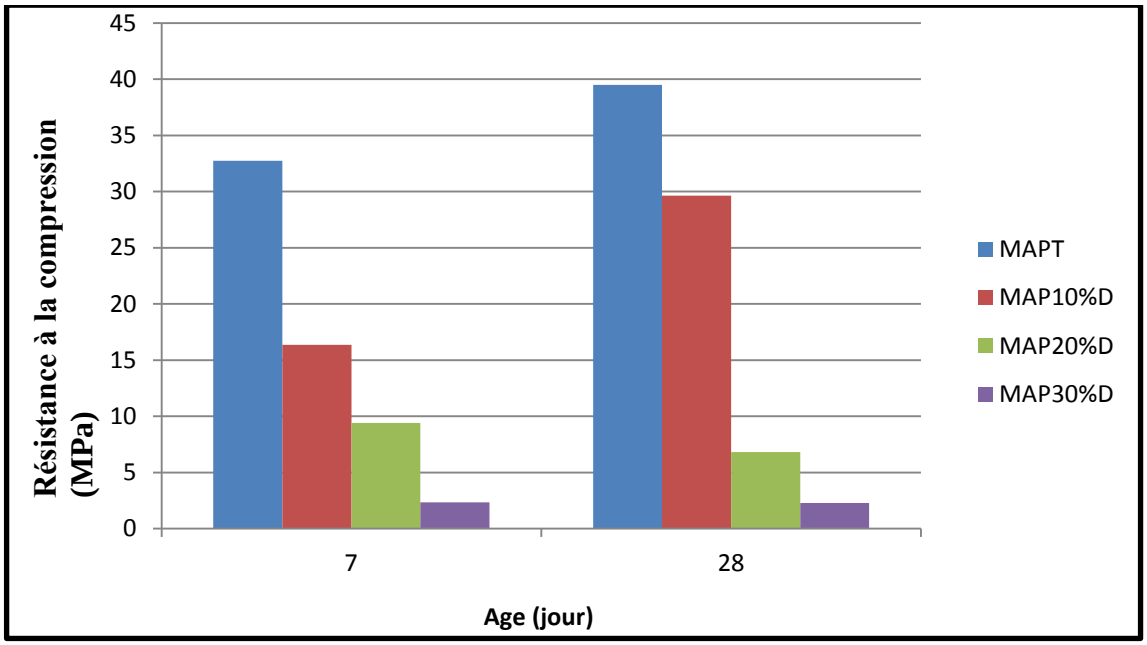


Figure 3.8 : Résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte.

3.4.2. 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 MAPO et MAPD réalisés sont représentés dans les figures 3.9 et 3.10 suivantes.

3.4.2.1. Noyau d'olive

A l'issu de la figure 3.9 on remarque que les mortiers à base de 10 et 20% de noyau d'olive (MAP10%O) et (MAP20%O) ont présentés un taux d'absorption moins élevé que celui du mortier témoin MAPT. Tandis que presque le même taux d'absorption que celui du mortier témoin a été observé pour le cas du mélange à base de 30% en noyau d'olive. Au-delà de 30%, une augmentation remarquable dans le taux d'absorption d'eau est observée par rapport au mortier autoplaçant témoin. En remarque aussi, que plus en augmentant le taux de substitution du sable par le déchet de noyaux d'olive, plus le taux d'absorption du mortier autoplaçant augmente.

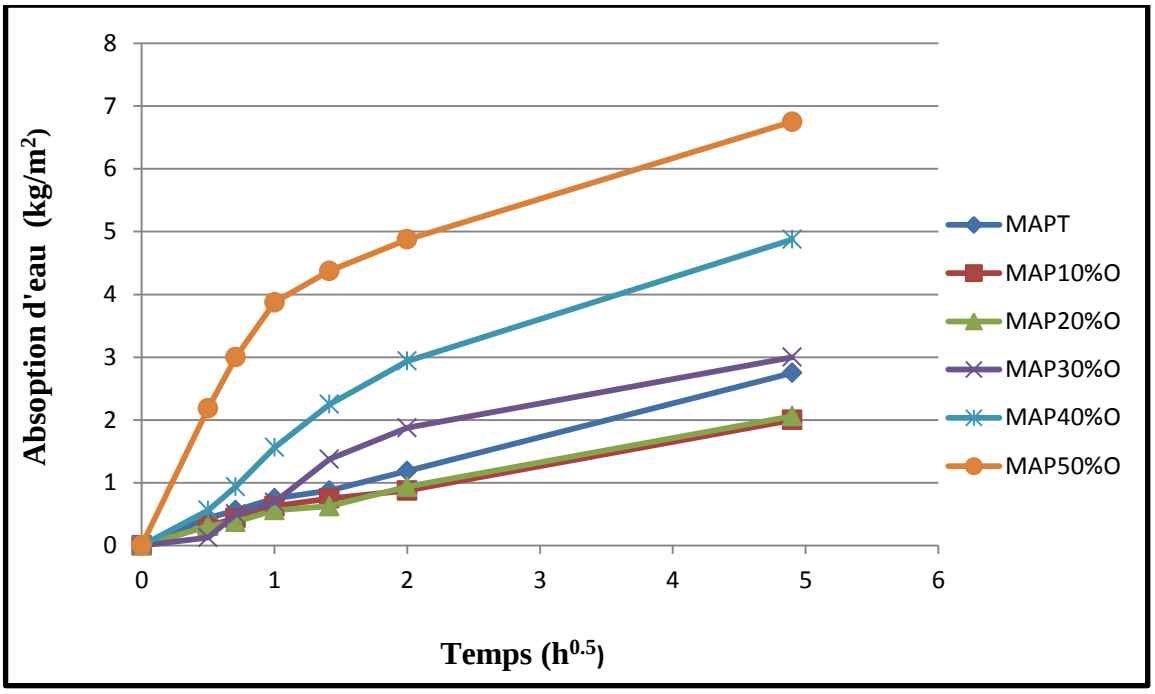


Figure 3.9 : Absorption capillaire des mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

Les résultats présentés montrent aussi, l'effet bénéfique d'employer des résidus végétaux (noyau d'olive) dans la fabrication des mortiers autoplacants tout en restant en dessous du dosage de 30%. En effet une diminution dans la capacité d'absorption d'eau est observée, traduite par l'amélioration dans la compacité du mélange.

3.4.2.2. Noyau de datte

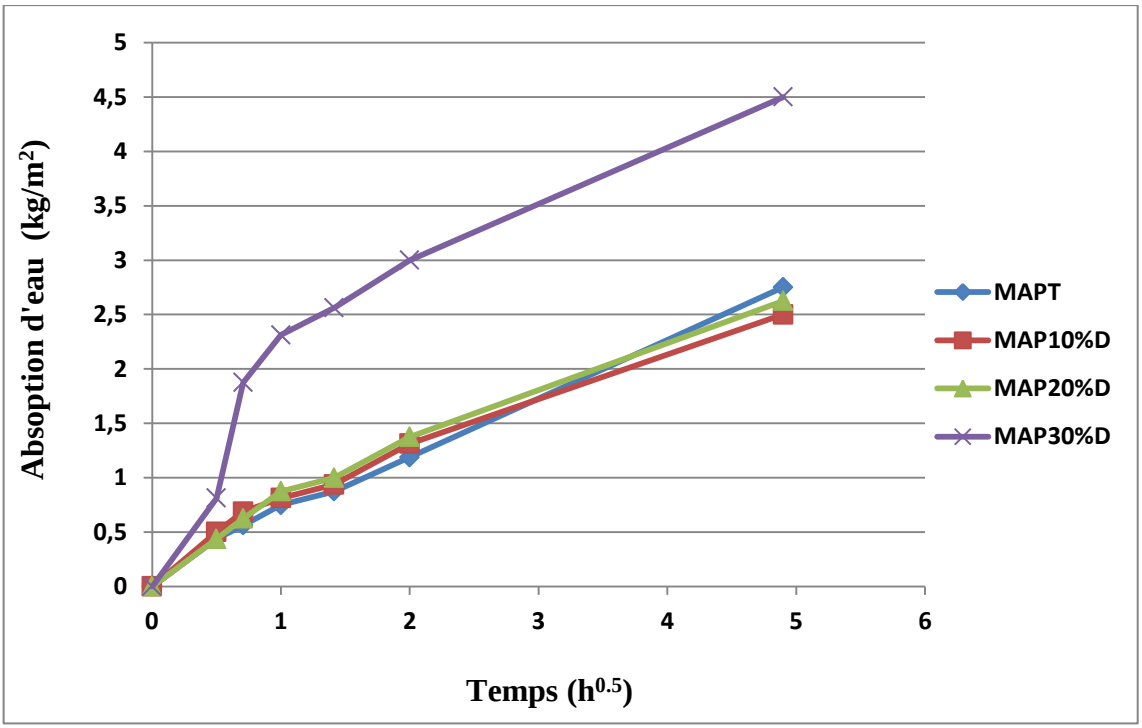


Figure 3.10 : Absorption capillaire des mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte

.

Après l'observation des résultats de la figure 3.10, on remarque que les mortiers à base 10 et 20% de noyau de datte (MAP10%D et MAP20%D) présentent un taux absorption d'eau moins élevé que celui des mortiers témoin MAPT. Par contre, le mélange à base de 30% de noyau de datte, présente le taux d'absorption le plus élevé. Avec une augmentation de 67% par rapport au mortier autoplaçant témoin (MAPT).

On peut dire d'après ces résultats, qu'on peut fabriquer un mortier autoplaçant à base de noyaux de datte avec une bonne compacité et moins perméabilité, en substituant jusqu'à 20% du sable naturel par les noyaux de datte concassées.

3.4.3. Variations dimensionnelles (Retrait et Gonflement)

3.4.3.1. Retrait

Les résultats des variations dimensionnelles des différents mélanges à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), conservés à l'air libre du laboratoire (retrait) sont résumés dans les figures 3.11 et 3.12 suivantes.

A- Noyau d'olive

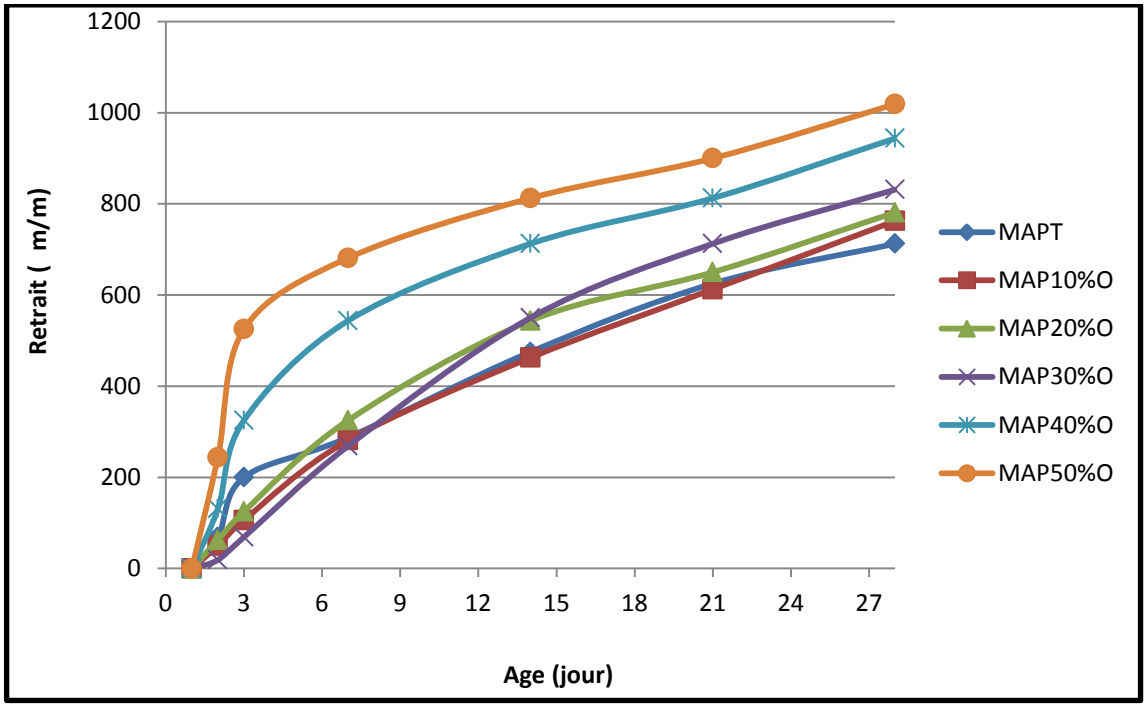


Figure 3.11 : Retrait des mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

A partir des résultats exposés dans la figure 3.11, om remarque que tous les mélanges comportant des noyaux d'olive présentent des valeurs de retrait plus importants que celle pour le mortier témoin. Et plus en augmente le taux de substitution du sable par les noyaux d'olive, plus le retrait augmente.

B- Noyau de datte

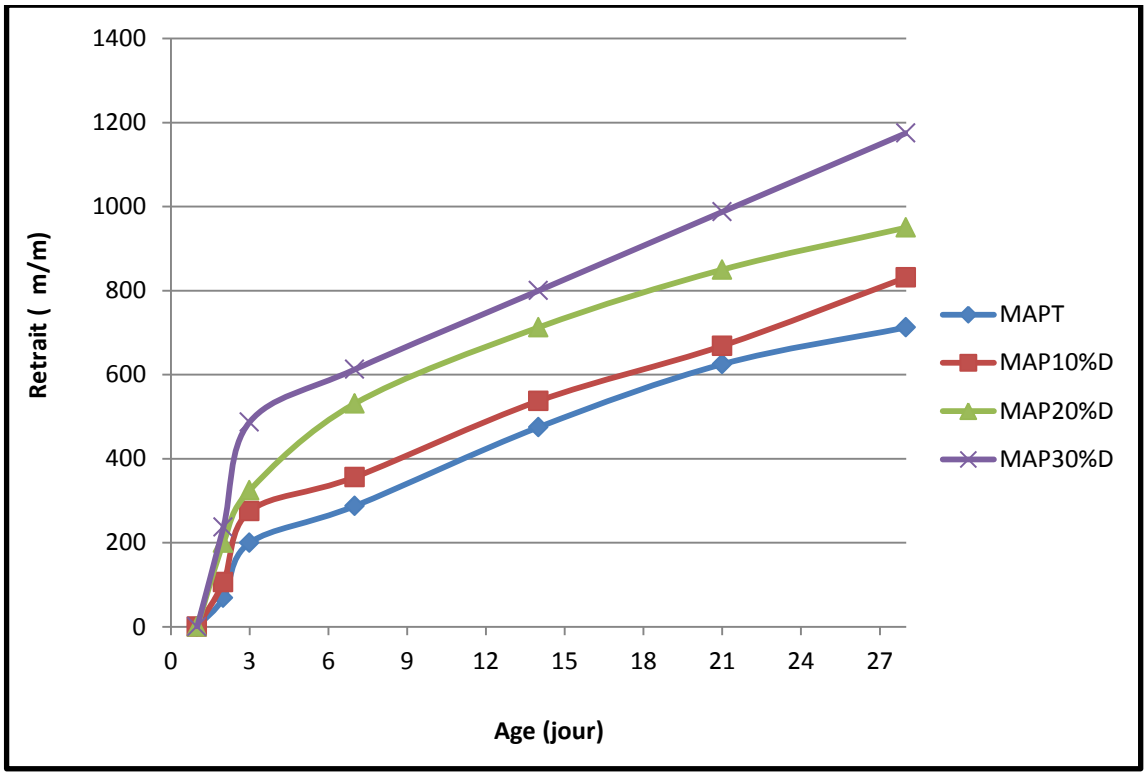


Figure 3.12 : Retrait des mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte.

À partir des résultats exposés dans la figure 3.12, on remarque que les trois mélanges comportant des noyaux de datte présentent des valeurs de retrait plus élevées que celles du mortier témoin, et plus en augmente le taux de substitution du sable par les noyaux de datte, plus le retrait augmente.

3.4.3.2. Gonflement

Les résultats des variations dimensionnelles des mélanges conservés dans l'eau à 20°C (Gonflement) sont résumés dans les figures 3.13 et 3.14 suivantes.

A- Noyau d'olive

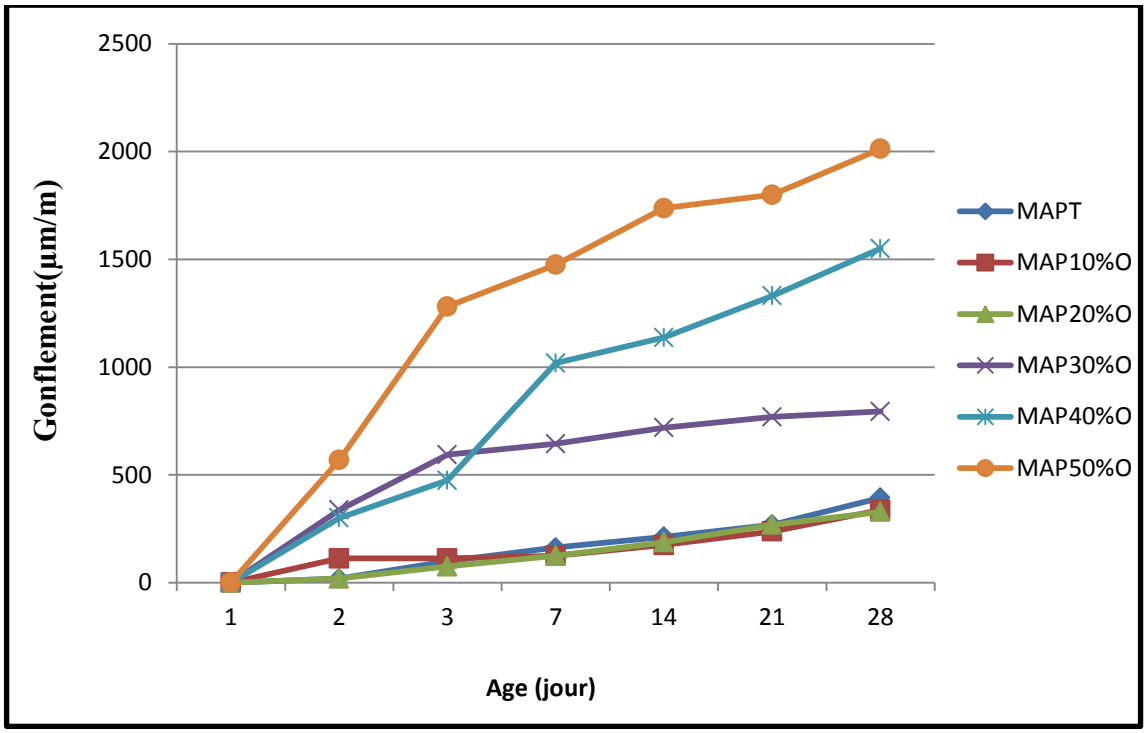


Figure 3.13 : Gonflement des mortiers autoplaçants à base de noyaux d'olive.

A l'issu de figure 3.13 on remarque que, les mélanges à base de 10 et 20% des noyaux d'olive, présentent presque les mêmes valeurs du gonflement avec le mortier témoin. Tandis que les mortiers à base de 30 ,40 et 50% de noyaux d'olive présentent des valeurs du gonflement plus élevées que celles du MAPT.

B- Noyau de datte :

D'après les résultats présentés dans la figure 3.14, on remarque que tous les mélanges à base de noyaux de datte présentent des valeurs de gonflement plus fortes que celles du MAPT. Et que plus on augmente le taux de substitution du sable naturel par les noyaux de datte, plus le gonflement devient plus fort.

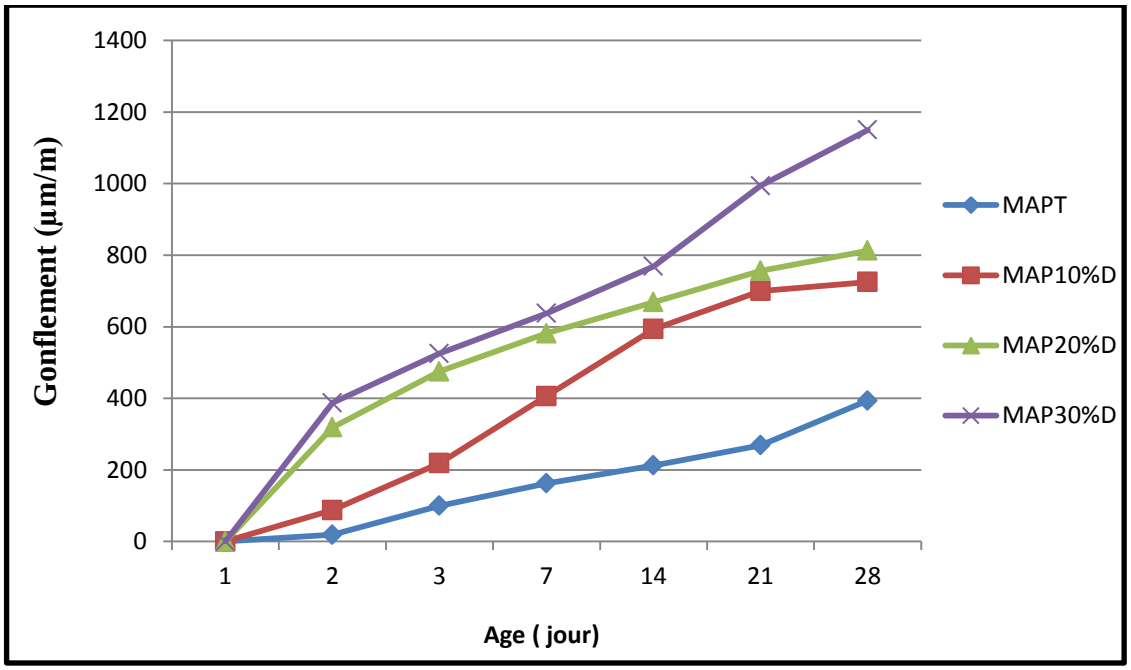


Figure 3.14 : Gonflement des mortiers autoplaçants à base de noyaux de datte.

3.4.4. La densité

Les résultats de la densité à l'âge de 28 jours, des différents mélanges à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) conservés dans l'eau à 20°C (Gonflement) sont résumés dans les figures 3.15 et 3.16 suivantes.

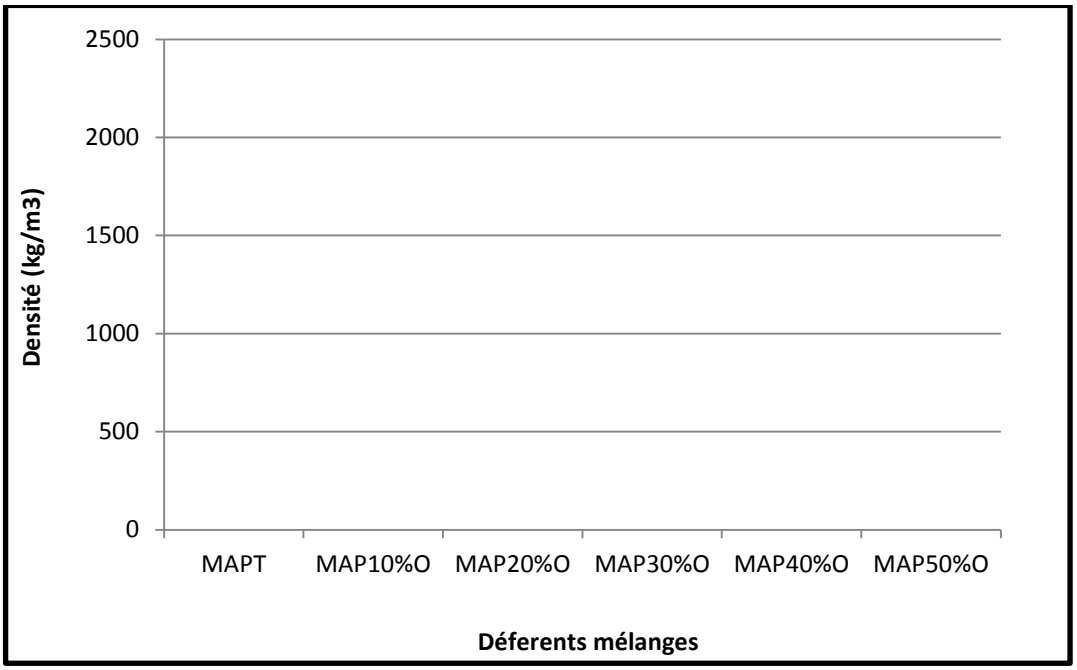


Figure 3.15 : La densité à l'état durci des différents mélanges à base de noyaux d'olive.

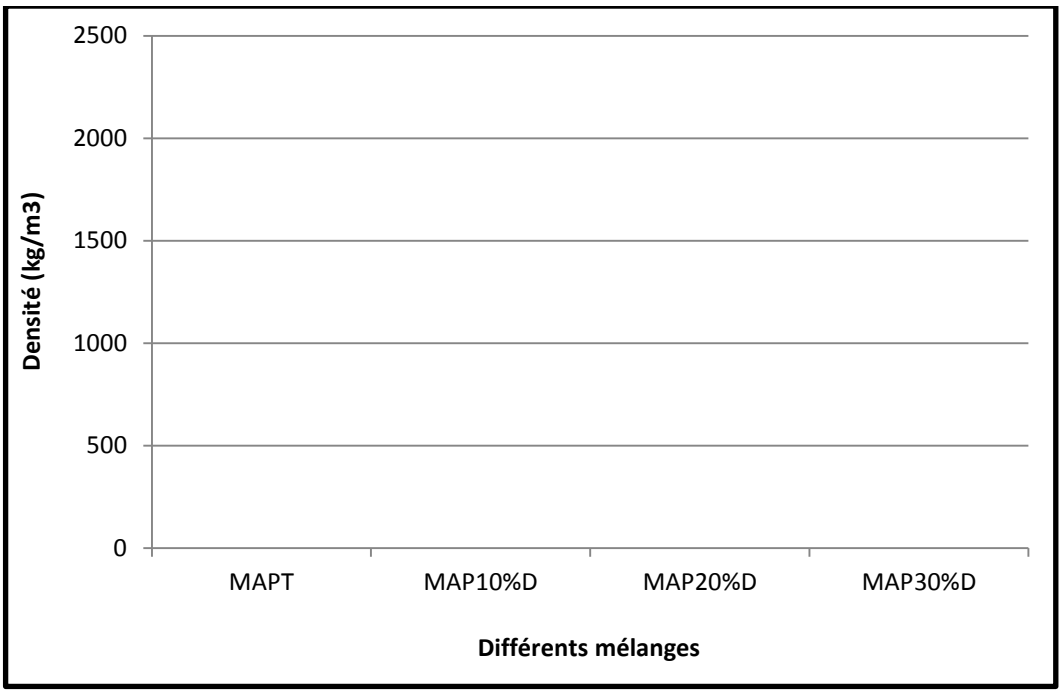


Figure 3.16 : La densité à l'état durci des différents mélanges à base de noyaux de datte.

D'après les résultats des figures 3.15 et 3.16, on remarque que les deux (02) types de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), provoquent une diminution dans la densité à l'état durci des mortiers autoplaçant. Par conséquent, plus on augmente le pourcentage de substitution du sable naturel par les déchets, plus la densité des mélanges diminue.

3.4.5. 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 3.17 et 3.18 suivantes.

3.4.5.1. Noyau d'olive

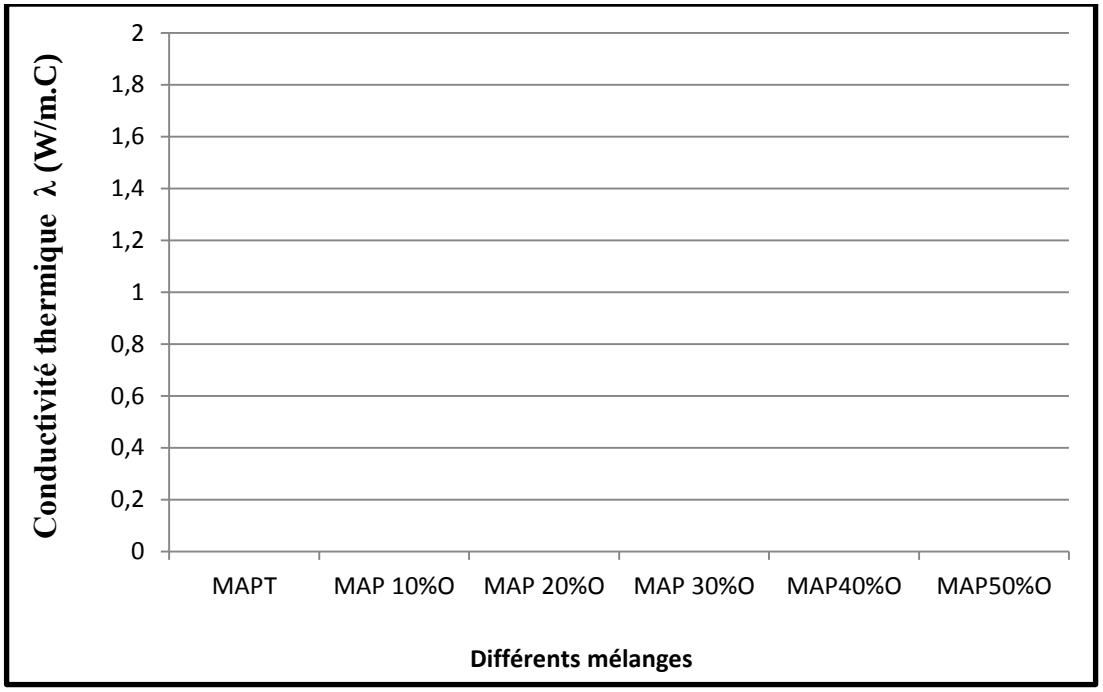


Figure 3.17 : La conductivité thermique des différents mélanges à base de noyaux d'olive.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de tous les mortiers à base de noyau d'olive diminue par rapport au MAPT. Le taux de diminution est de l'ordre de 17, 43, 54, 58 et 63 % par rapport au mortier témoin pour les mélanges à base de 10, 20, 30, 40 et 50% de noyaux d'olive respectivement.

On peut dire aussi d'après les résultats trouvés que, les mortiers autoplacants à base de 30 ,40 et 50% de noyau d'olive et qui présentent des conductivités thermiques (λ) inférieurs à 1 (w/m.c).et sont considérés comme matériaux isolants.

De même Chelouah et Tahakourt [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.

3.4.5.2. Noyau de datte

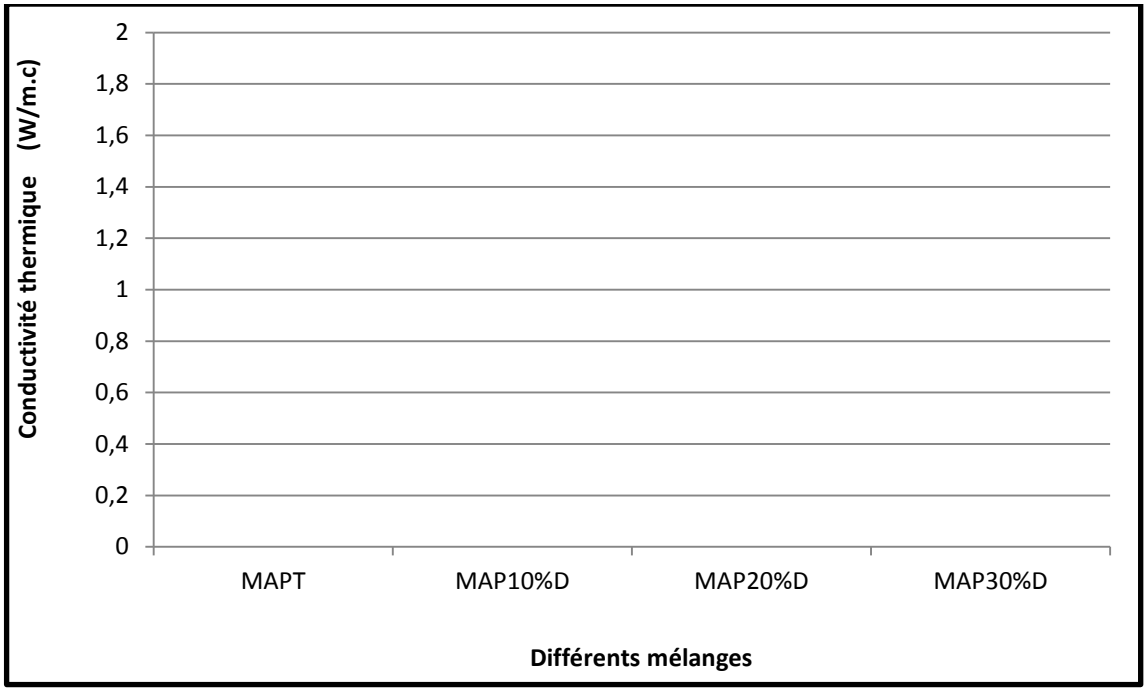


Figure 3.18 : La conductivité thermique des différents mélanges à base de noyaux de datte.

On remarque que la conductivité thermique de tous les mortiers autoplacants est diminuée par rapport mortier témoin. Le taux de diminution est de l'ordre de 25, 37 et 53% avec les taux de remplacement du sable naturel par les noyaux de datte 10, 20 et 30% respectivement.

En fin le seul mortier à base de 30% noyau datte se considéré comme matériaux isolant grâce à ses connectivite (λ) qu'est inférieure à 1 (w/m.c).

3.5. ETUDE COMPARATIVE ENTRE LES DEUX DECHETS

A l'issu des différents résultats trouvés à travers cette étude, on peut faire une comparaison entre l'effet des deux résidus végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) sur les caractéristiques des mortiers autoplaçants.

3.5.1. A l'état frais

Les noyaux d'olive améliorent la fluidité du mortier autoplaçant par rapport aux noyaux de datte.

3.5.2. A l'état durci

- Les noyaux datte, développent des mortiers autoplacants, plus résistants que les noyaux d'olive.

- Les mortiers à base de noyaux de datte, sont plus absorbant que ceux à base de noyaux d'olive.

- Pour tous les pourcentages en noyaux de datte, les valeurs du retrait et gonflements du mortier autoplaçants, sont plus élevés par rapport au mortier témoin. Par contre, et pour les taux de substitution de 10 et 20 % en noyaux d'olive, on peut avoir le même retrait et gonflement que le mortier témoin.

- Les mortiers a base de noyau d'olive sont plus lèges que les mortiers à base de noyau de datte.

- Pour les deux (02) types de déchet (noyaux d'olive et noyaux de datte), la conductivité thermique du mortier autoplaçant, est améliorée par rapport au mortier témoin. Et au-delà de 30% pour les deux déchets, le mortier autoplaçant est considéré comme isolant car λ est inférieur à 1 W/m.C.

3.6. CONCLUSION

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

- A moins de 30% en en noyaux d'olive, la fluidité du mortier est améliorée par rapport au mortier témoin. Contrairement, les noyaux de datte diminuent la fluidité du mortier pour tous les pourcentages de substitution.

- Pour les deux types de déchets végétaux, la résistance à la compression est diminuée par rapport au mortier autoplaçant témoin. Et mortiers à base de noyaux de datte sont plus résistants que ceux à base de noyaux d'olive.

- A moins de 10% pour chaque déchet végétal, l'absorption d'eau par capillarité est améliorée par rapport au mortier témoin. Au-delà de 10%, une augmentation dans le taux d'absorption est observée pour les deux résidus végétaux. Les mortiers à base de noyaux de datte, sont plus absorbant que ceux à base de noyaux d'olive.

- Jusqu'à 20% du déchet de noyaux d'olive, on peut avoir les mêmes valeurs du retrait et gonflement que celles du mortier témoin. Au-delà de ce pourcentage en substitution, le retrait et gonflement augmentent en augmentant le pourcentage de déchet dans le mélange.

- Les noyaux de datte augmentent le retrait et gonflement du mortier autoplaçant pour tous les pourcentages de substitution.

- Les mortiers autoplaçants à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) sont plus légers que le mortier témoin. Toutefois, les mortiers à base de noyau d'olive sont plus lèges que les mortiers à base de noyau de datte.

- Les deux déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), diminuent la conductivité thermique du mortier autoplaçant.

- Les mortiers autoplacants à base de 30, 40 et 50% de noyau d'olive et 30% de noyau de datte sont considérés comme matériaux isolants grâce à leur conductivité thermique (λ) qu'est inférieur à 1 W/m.C.

COCLUSION GENIRALE

CONCLUSION GENERALE

L'utilisation du béton autoplaçant (BAP) a eu récemment une forte progression dans de nombreux pays du monde. Les travaux de recherche du présent projet ont été menés dans le but d'atteindre deux principaux objectifs, dans le but de protéger l'environnement, préserver les ressources naturels et économiser l'énergie. Le premier concerne l'étude de l'influence des déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) sur le comportement rhéologique, mécanique, thermiques et durabilité des bétons autoplacants. Le deuxième objectif est concernant la protection de l'environnement et préservation des ressources naturels en matières non renouvelables (sable).

L'analyse des résultats expérimentaux peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- A moins de 30% en en noyaux d'olive, la fluidité du mortier est améliorée par rapport au mortier témoin. Contrairement, les noyaux de datte diminuent la fluidité du mortier pour tous les pourcentages de substitution.

- Pour les deux types de déchets végétaux, la résistance à la compression est diminuée par rapport au mortier autoplaçant témoin. Et mortiers à base de noyaux de datte sont plus résistants que ceux à base de noyaux d'olive.

- A moins de 10% pour chaque déchet végétal, l'absorption d'eau par capillarité est améliorée par rapport au mortier témoin. Au-delà de 10%, une augmentation dans le taux d'absorption est observée pour les deux résidus végétaux. Les mortiers à base de noyaux de datte, sont plus absorbant que ceux à base de noyaux d'olive.

- Jusqu'à 20% du déchet de noyaux d'olive, on peut avoir les mêmes valeurs du retrait et gonflement que celles du mortier témoin. Au-delà de ce pourcentage en substitution, le retrait et gonflement augmentent en augmentant le pourcentage de déchet dans le mélange.

- Les noyaux de datte augmentent le retrait et gonflement du mortier autoplaçant pour tous les pourcentages de substitution.

- Les mortiers autoplaçants à base de déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte) sont plus légers que le mortier témoin. Toutefois, les mortiers à base de noyau d'olive sont plus lèges que les mortiers à base de noyau de datte.

- Les deux déchets végétaux (noyaux d'olive et noyaux de datte), diminuent la conductivité thermique du mortier autoplaçant.

- Les mortiers autoplacants à base de 30, 40 et 50% de noyau d'olive et 30% de noyau de datte sont considérés comme matériaux isolants grâce à leur conductivité thermique (λ) qu'est inférieur à 1 W/m.C.

References Bibliographiques

[1]OKAMURA H., ET AL., "self-compacting high performance concrete", proceeding of the fifth sec, 1995, vol 3, pp 2381-2388.

[2]EL BARRAK M." Contribution à l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais ", Thèse de Doctorat de l'Université Toulouse III – Paul Sabatier, France, 2005, pp 228.

[3]Antoine Vavel,"*Bétons Autoplaçants : la haute technologie au quotidien"*, Solution Béton, Constructions Modernes n°114, pp16.

[4] Okamura H., Ouchi M., "Self-Compacting Concrete. Development, present use and future", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, 1999, Stockholm, Suède pp. 3-14.

[5]Boukni Baziza." tenue en feu des bétons autoplaçants», thèse de magistère, Mentourie Constantine, Algérie, décembre-2007.

[6]RougeauP., Marry D., Francy O." Les BAP : synthèse des connaissances et compagne".

[7]Boukendakdji Othmane."*Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant", optimisation des conditions opératoires*, Thèse de Doctorat d'état, Université de Blida, Algérie, 2010.

[8]JoumanaYammine." rhéologie des bétons fluides à hautes performances relations entreformulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques", thèse de doctorat, l'Ecole Normale Supérieure de Cachan, 2007, pp262.

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

[10]Sandrine Bethmont,"Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçcnts (BAP) ", Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 2005.

[11]Sedran Thierry."Les bétons autonivellents", synthèsebibliographique, thèse de doctorat d'écolenational des ponts et chausses, mars 1999.

[12]"Bétons Auto-plaçant", Recommandations Provisoires, Document Scientifiques et Techniques, ISSNencours, Juillet 2000.

[13]Boucheneb Yacine. "Retrait plastique des bétons autoplaçants", mémoire de magistère, universitéde Mouloud Mammeri, Tizi-Ouzou, **2011.**

[14] Assie S."Durabilité des bétons autoplaçants", thèse de doctorat de L'INSA de Toulouse, 2004.

[15]Maher El barrak."Contribution à l'étude de l'aptitude l'écoulement des bétons autoplaçants a l'état frais», thèse de doctorat,Université de Toulouse ,12juiller 2005.

[16]Association Française de Génie Civil, "Bétons autoplaçants Recommandationsprovisoires", Annales du bâtiment et des travaux publics, juin 2000**.**

[17] Ouchi M.,Edamatsu Y. "A simple evaluation method for interaction between coarse aggregate and mortar particles in self-compacting concrete",In Proceedings of the First International RILEM Symposium of Self-Compacting Concrete,RILEM,1999.

[18]Yen et al, "Flow behavior of high strength high-performance concrete, cement and concrete composites", vol 21,1999, pp 413-424.

[19]Eric. P., Koehler. E.P., Fowler. D.W., "Aggregates in Self-Consolidating Concrete "**,** Final Report ICAR Project 108. Aggregates Foundation for Technology, Research, and Education (AFTRE). International Center for Aggregates Research (ICAR). The University of Texas at Austin,2007, 353p.

[20] Gibbs JC., ZHWW."Strength of hardened self-compacting concrete", Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède,13-15 September 1999, pp. 199-209.

[21] Turcry P., Roziere E., Loukili A."Influence du volume de pâte et des additions sur le retrait des bretons autoplaçants", XXIIIème Rencontres Universitaires de Génie-Civil, Grenoble, 2005.

[22]Pineauda.," Contribution à l'étude des caractéristiques mécaniques des bétons Autoplaçants et application à l'industrie de la préfabrication**", Thèse** de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, France, 2007,page 271**.**

[23] Uysal M., Yilmaz K." Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete ", Cement and Concrete Composites J, 2011, Vol 33, pp771-6.

[24]Wenzhong Zhu.,John C.,Gibbs.,"Use of different limestone and chalk powders in self-compacting concrete", Cement and Concrete Research 35,2005,pp1457– 1462.

[25] Boukendakdji O., El-HadjKadri., SaidKenai."Effects of granulated blast furnace slag and super plasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete".

[26] KAPOOR Y., MUNN C., CHARIF K., "Self-Compacting concrete – an economic approach",Proceedings of Seventh International Conference on Concrete in Hot and Aggressive Environments,Manama, Kingdom of Bahrain,2003, pp509–19.

[27]KhelifaR."L'impact des cimenteries sur l'environnement, Cas de la cimenterie de Ain-Touta", Mémoire de DEA en Aménagement, Développement et Environnement, Université d'Orléans, 2002.

[28] Boel V., Audenaert K., Deshutter G. "Pore structure of self-compacting concrete", First North American Conference on the Design and Use ofSelf-Consolidating Concrete, ACBM center,2002, pp837-843.

[29] PerssonB."Creep, Shrinkage and Elastic Modulus of Self-Compacting Concrete", Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete 1999 in Sweden, pp239-250.

[30]Roziere E.,Granger S.,Turcry P.,Loukili A."Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete", Cement and Concrete Composites J, 2007,Vol 29, pp 626–636.

[31] Philippe Turcry,"Retrait et Fissuration des Bétons Autoplaçants", Influence de la Formulation, Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes,2004.

[32]BerkaniAkila, Etude de l'activation thermique des additions minérales sur les caractéristiques mécaniques d'un mortier de ciment normalisé, Mémoire de Master, Université de Médéa, Algérie, 2015.

[33]Hazardous Waste,"Environnemental Protection Agency E.P.A.2017",UnitedStates. https://www.epa.gov/hw.

[34]Advancing Sustainable Materials Management E.P.A.2017a.Facts and Figures,Environmental Protection Agency, United States,https://www.epa.gov/smm/advancingsustainable-materials-management-facts-and-figures.

[35]Recherche Google."Noyau d'olive", http://fr.wikipédia.org/wiki/olive.html,25 mars 2008.

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

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

[38]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.

[39]Alkheder SH., Yasmeen T.,Obaidat., Madhar Taamneh,."Effect of olive waste (Husk) on behavior of cement paste", Case Studies in Construction Materials,2016,pp19-20.

[40]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'absorption d'eau », AFNOR.

[41]NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité intergranulaire », AFNOR.

[42]NF EN 933-1, 1997, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 1: Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR**.**

[43] NF EN 1008, 2003, " Eau de gâchage pour bétons: spécification d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude à l'emploi, y compris les eaux des processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton ", AFNOR.

[44] P.L. Domone, J.Jing, "Properties of Mortar for Self-Compacting Concrete ", Proceedings of RILEM International Symposium on SCC, Stockholm, September 1999, RILEM Proceedins PRO 7, Paris pp109-120.

[45]OKAMURA H., OUCHI M., 2003 " Self-compacting concrete ", Journal of advanced Concrete Technology, Vol. 1, N°1, pp. 5-15.

[46]Hamraoui S. et Rebaia F. Z., 2017, « Etude de l'effet des additions minérales sur le comportement d'un mortier autoplaçant traité thermiquement », Mémoire de Master, Université de Médéa, Algérie.

[47]SEDRAN T., 1999, "Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants", thèse de doctorat de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, France.

[48] KHAYATK.H., PAVATET., ASSAD J., 2003 "Analysis of Variations in Electrical Conductivity to Assess Stability of plastic Cement-Based Materials ", ACI Materials Jr.,vol. 4, N°100,pp.342-350.

[49] EDAMATSU Y., NISHIDA N.,OUCHI M., 1999, « A rational mix-design method for self-compacting concrete considering interaction between coarse aggregate and mortar particles », Proceedings of the FirstInternational RILEM Symposium on Self-compacting Concrete, Stockholm, Sweden, pp. 309-20.

[50] PEDERSEN B., SMEPLAS S., 2003, « The relationship between the rheological properties of SCC and the corresponding matrix phase », Proceedings of the Third International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik, Island, pp106-16**.**

[51] KIM K. J., SANG H. H., YOUNG C. S., 2002, « Effect of temperature and aging on the mechanical properties of concrete. Part I. Experimental results», Cement and Concrete Research J., Vol.32, pp.1087-1094.

[52] NF EN 12390-2, 2012, « Essai pour béton durci. Partie 2 : Confection et conservation des éprouvettes pour essais de résistance », AFNOR.

[53] NF EN 12350-6, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 6 : Masse volumique », AFNOR.

[54] NF EN 196-1, 2016, « Méthodes d'essais des ciments. Partie 1: Détermination des résistances mécaniques », AFNOR.

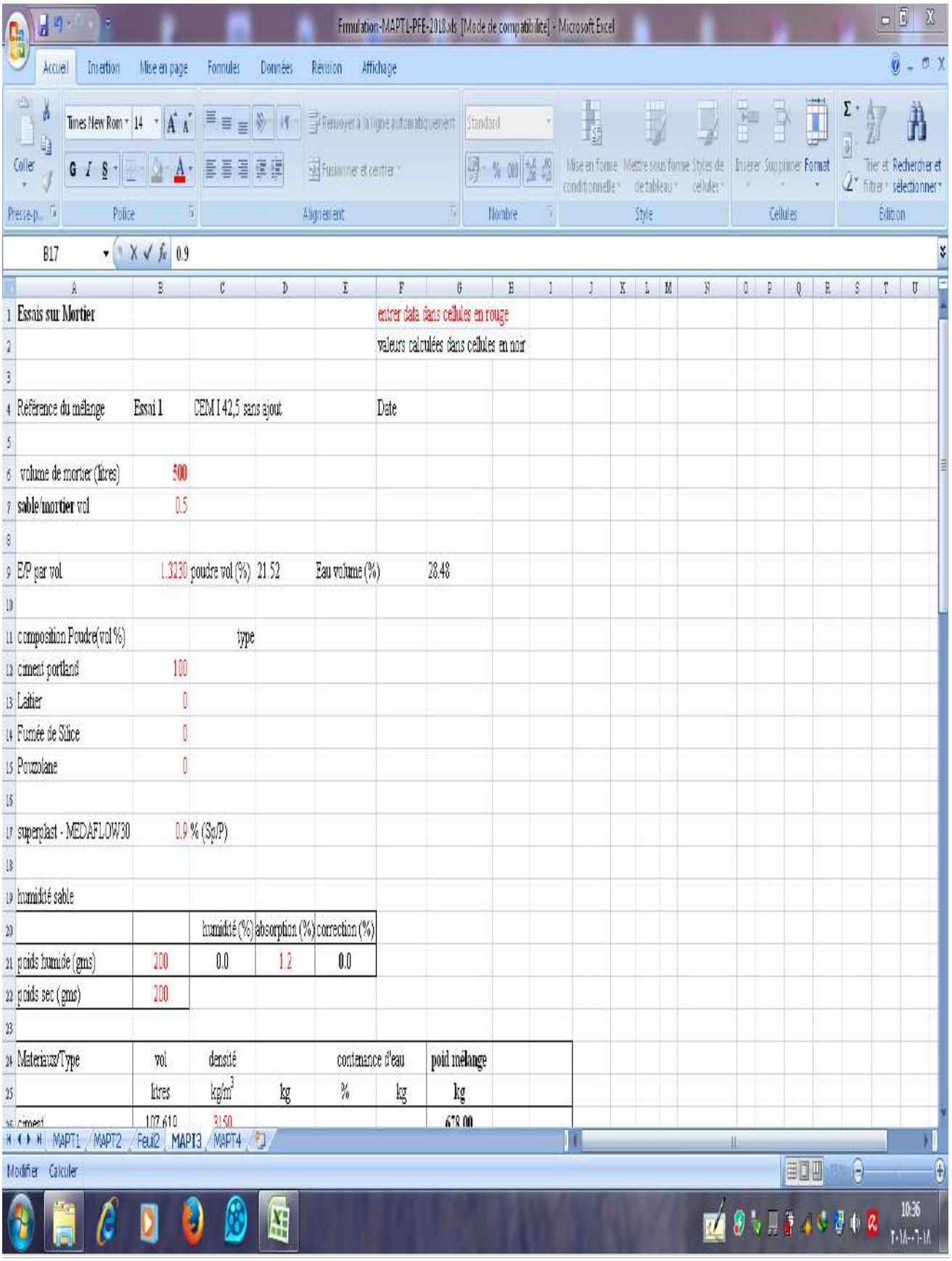
[55] NF EN 1015-18, 2003, « Méthodes d'essai des mortiers pour maçonnerie - partie 18 : détermination du coefficient d'absorption d'eau par capillarite du mortier durci -», AFNOR.

[56] NF P15-433, 1994, « Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement », AFNOR.

[57] NF EN ISO 8894-1 Août 2010, « Matériaux réfractaires - Détermination de la conductivité thermique - Partie 1 : Méthodes du fil chaud ("croisillon" et "thermomètre à résistance") », AFNOR.

ANNEXES A

ANNEXES B :



Formulation-MAPTL-PFE-2018.xls [Mode de compatibilité] - Microsoft Excel

Accueil | Insertion | Mise en page | Formules | Données | Révision | Affichage

B17 : 0.9

	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Essais sur Mortier					entrer data dans cellules en rouge		
2						valeurs calculées dans cellules en noir		
3								
4	Référence du mélange	Essai 1	CEM I 42,5 sans ajout			Date		
5								
6	volume de mortier (litres)	500						
7	sable/mortier vol	0.5						
8								
9	E/P par vol	1.3230	poudre vol (%)	21.52		Eau volume (%)	28.48	
10								
11	composition Poudre(vol %)		type					
12	ciment portland	100						
13	Laitier	0						
14	Fumée de Silice	0						
15	Pouzolane	0						
16								
17	superplast - MEDAFLOW30	0.9	% (S/P)					
18								
19	humidité sable							
20			humidité (%)	absorption (%)	correction (%)			
21	poids humide (gms)	200	0.0	1.2	0.0			
22	poids sec (gms)	200						
23								
24	Materiaux/Type	vol	densité		contenance d'eau		poid mélange	
25		litres	kg/m³	kg	%	kg	kg	
26	ciment	107.610	3150				678.00	

MAPT1 | MAPT2 | Feuil2 | MAPT3 | MAPT4

Modifier | Calculer

MAP

MAPO

MAPD