REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA

Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Thème

Valorisation des coques de noix dans la fabrication des matériaux cimentaires

---

Présenté par :

AHMEDI Yasmine

YAHIAOUI Ahlem

Proposé et Dirigé par :

BOUKHELKHAL Djamila

Promotion Juin 2021

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 B**OUKHELKHALDjamila**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 du hall pour leurs aides et disponibilités

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

YASMINE/ AHLEM

ملخص

الهدف الرئيسي من هذا المشروع هو المساهمة في تثمين قشور الجوز ودمجها في كتلة الملاط عن طريق استبدال حجم الرمل بإضافة نسب مختلفة (10٪، 20٪، 30٪، 40٪) على التوالي مع دراسة خصائصه في الحالة الرطبة و في الحالة الصلبة ومقارنتها مع ملاط عادي .

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن قشور الجوز تؤدي إلى انخفاض كبير في قيمة ميوعة وكثافة الملاط.بالإضافة إلى ذلك ، ووفقًا للابحاث السابقة فان الخصائص الحرارية للملاط تتحسن مع إضافة قشور الجوز. لذلك ، من الممكن الحصول على مواد عازلة جديدة يمكن استخدامها في طرق البناء المختلفة.

Résumé

L'objectif principal de ce projet consiste à valoriser les déchets de coque de noix et incorporé dans la masse du mortier par substituions volumique du sable avec différents pourcentages (10%,20%,30%,40) respectivement. Les propriétés à l'état frais et à l'état durci des différents mélanges réalisés ont été analysées et comparées aux mortiers témoin respectifs.

Les résultats obtenus montrent que les déchets de coque de noix diminué la maniabilité et la densité de mortier .Par ailleurs, et d'après les études réalisés les caractéristiques thermiques de mortier sont améliorés avec l'ajout de déchets de coque de noix. Donc, il est possible d'obtenir des nouveaux matériaux isolant susceptibles d'être utilisés dans les différentes voies de construction.

Abstract

The main objective of this project is the valorization of nut shell waste and incorporated into the mass of mortar by substituted volumetric of natural sand at different percentage (10% ,20%,30%,40%) respectively. The properties in a fresh and a hardened state of the various mortars carried out were analyzed and compared with control mortar respective.

The obtained resultants show that nut shell waste decreases the workability and density of mortar. In addition, and according to the literature, the thermal characteristics of mortar are improved with the addition of nut shell waste. Therefore, it is possible to obtain new insulating materials which can be used in the various construction routes.

Sommaire

Remerciements
Dédicace
ملخص
Résume
Abstract
Sommaire
Liste des tableaux
Liste des figures
Liste des symboles et des abréviations
Introduction général

CHAPITRE 01 : SYNTESE BIBLIOGRAPHIQUE

1.1 INTRODUCTION ……...…….....02

1.2. BETON AUTOPLAÇANT……...……...…02

1.2.1. Définition…….…...02

1.2.2 Historique de béton Autoplaçant…….……04

1.2.2. Particularité de de formulation des BAP ……..……04

1.2.3. CARACTERISTIQUE DES BAP A L'ETAT FRAIS ……..... 08

1.2.3.2. Homogénéité ……...…….…….....10

1.2.4. PROPRIETES DES BAP A L'ETAT DURCI ……..……....11

1.2.4.1. Résistance mécanique……..**.....**……11

1.2.4.2. Vitesse ultrasonique ……..……13

1.2.4.3. Absorption d'eau……..…….……..13

1.2.4.4. Retrait …….……14

I.3 VALORISATION DES DECHETS ET SOUS-PRODUITS INDUSTRIELS DANS LE DOMAINE GENIE CIVIL ……..…..…..15

I .3.1 La Valorisation ……..……...…...15

I.3.1.2 Valorisation du coque de noix dans les matériaux cimentaire……...……..16

I.3.2. Recyclage …….…..……17

I .3.2.1 Activité du recyclage des déchets en construction …….……17

I .3.2.2 Technique de recyclage ……..……...…….……17

I.4 NOIX ET COQUE DE NOIX …..……..…..……18

I.4.1 Composition de la noix …….…….……19

I.4.2 Les utilisations possibles de la coque de noix ……...…….20

I.5 CONCLUSION ……...……..…23

CHAPITRE 02 : CARACTERISATION DES MATERIAUX ET METHODES D' ESSAIS

2.1. INTRODUCTION ……..24

2.2. MATERIAUX UTILISÉES ……..24

2.2.1. Le ciment ……...……24

2.2.2. Les granulats ……26

2.2.2.1. Le sable ……..…….26

2.2.2.2. Déchet de coques de noix ……

2.2.3. L'eau de gâchage ……..

2.2.4. Adjuvant ……

2.3 COMPOSITION DES MELANGES

2.4 MALAXAGE ET CONSERVATION

2.5. FORMULATION DES MORTIERS AUTOPLACANTS

2.5.1. Introduction

2.5.2. Formulation du mortier autoplaçant de reference (mapt)

2.6. CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES

2.6.1. Procédure de malaxage

2.6.2. Préparation des éprouvettes

2.6.3. Conservation des éprouvettes

2.7. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

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

2.7.1.1. Essai d'étalement au mini cône

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

2.7.2.1. Résistance à la compression

2.7.2.2. Vitesse ultrasonique

2.7.2.3. Absorption d'eau par capillarité

2.7.3 Les propriétés thermiques

2.8. VARIABLES D'ÉTUDE

2.9 CONCLUSION

Introduction Générale

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.

Ce travail présente une étude expérimentale sur l'influence d'un nouveau type de déchet végétal, il s'agit de déchets de coque de noix sur les performances du mortier soumis. Une étude expérimentale a été réalisée pour évaluer les propriétés des mortiers à l'état frais et à l'état durcis par la substitution du sable par le déchet de coque de noix à différents pourcentages.

Pour cela, ce mémoire de fin d'étude s'articule autour de deux chapitres :
Le premier chapitre intitulé l'étude bibliographique; nous somme optées dans notre recherche au plans suivant : première partie, nous présenterons la valorisation des déchets en précise le déchet végétal (coque de noix) puis on a fait une présentation sur le mortier et on a donné finalement une appréciation sur l'influence de la valorisation des déchets de coque de noix sur les caractéristiques des matériaux cimentaires**.**

Le deuxième chapitre nous somme penché sur caractérisation des matériaux entrant dans la composition du notre mortier, en second lieu à la confection et la conservation des éprouvettes passant par la formulation et le malaxage des mortiers ordinaire et finalement dans le protocole expérimental une description détaillé des essais de caractérisation du mortier à l'état frais et durci.
Au sortir de ce travaille dans un dernier lieu nous allons présenter une conclusion générale.

Chapitre 1 :
Synthèse Bibliographique

1.1. INTRODUCTION

Ce chapitre début par la présentation du béton autoplaçant, sa définition, sa particularité de formulation ainsi ses caractéristiques spécifiques. En secondétape nous présenterons les différentes additions minérales existantes et leurs effets sur le comportement des bétons autoplaçants tout en regroupant en général les travaux de recherche antérieurs dans ce domaine.

En mettant ensuite en évidence l'effet du traitement thermique sur les caractéristiques d'un béton autoplaçants incorporés des additions minérales, et qui permettent de poser la problématique du travail. L'analyse bibliographique est alors entreprise pour répondre à tout ce qui concerne les points cités dans ce contexte.

1.2. BETON AUTOPLAÇANT

1.2.1. DEFINITION

Le béton autoplaçant, est un béton se différenciant des autres par son **importante fluidité**. Une caractéristique ayant longtemps été recherchée dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre du béton sur les chantiers. Il était fréquent de rajouter de l'eau au mélange afin d'obtenir un béton plus fluide mais cela le **fragilisait.** C'est pourquoi le BAP est une véritable révolution. Apparu dans les années 1980 au Japon, il s'est développé en France à la fin des années 1990. Si le béton autoplaçant possède une telle fluidité, c'est grâce aux divers **adjuvants superplastifiants** qui le composent. Ceci a rendu les constructions plus sûres et a grandement facilité les méthodes de mise en œuvre du béton **[1].**

Les bétons autoplaçants (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 débullage dans le cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers 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 Historique de béton Autoplaçant

Les chercheurs K. OZAWA ET K. MAEKAWA de Université de Kochi (Tokyo) ont développé le premier prototype de BAP pendant l'été de 1988. Ces résultats ont été présentés par K. OZAWA pour la première fois au 2ème Congrès de l'Asie de l'Est et Pacifique sur le Génie Civil et la Construction, tenu en Janvier 1989 à Chiangmai (Thaïlande) . Trois années plus tard, en Mai 1992, au 4ème Congrès International CANMET & ACI à Istanbul, l'intervention du K. Ozawa a accéléré la diffusion mondiale du concept de cette nouvelle génération de béton **[5].**

1.2.2. PARTICULARITE DE DE FORMULATION DES BAP

Les BAP sont des bétons à quatre composants : le liant, les granulats, 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 àl'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 intergranulaires. 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

La pâte qui doit répondre à une fluidité suffisante doit en même temps minimiser le risque de ségrégation et de ressuage. Un BAP incorporera alors une quantité élevée de fines et une quantité d'eau relativement faible. La fluidité souhaitée sera atteinte en introduisant des additions chimiques telles que les superplastifiants**[6]**.

A.*Un grand volume de pate*

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, son volume dans les BAP est donc élevé (330 à 600l/m^3).

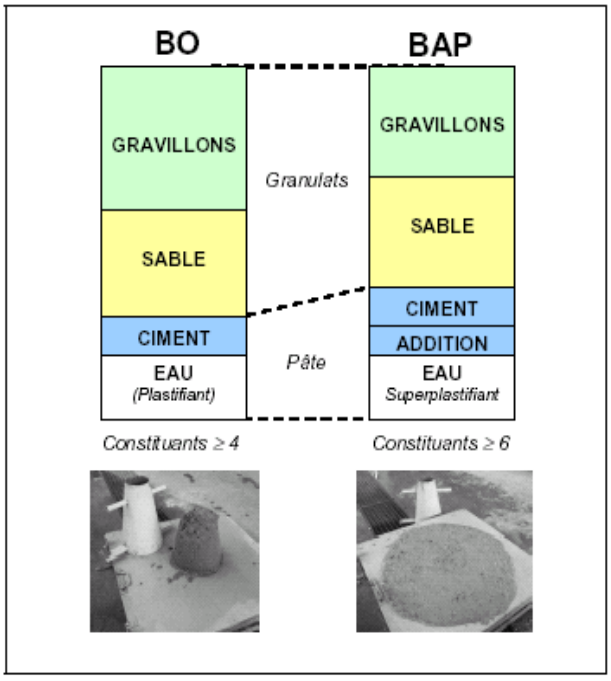


Figure 1.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP**[7]**.

Certains auteurs ont effectivement mis en évidence l'existence d'une relation entre la quantité de pâtede ciment et l'étalement du béton (figure 1.2) [7].

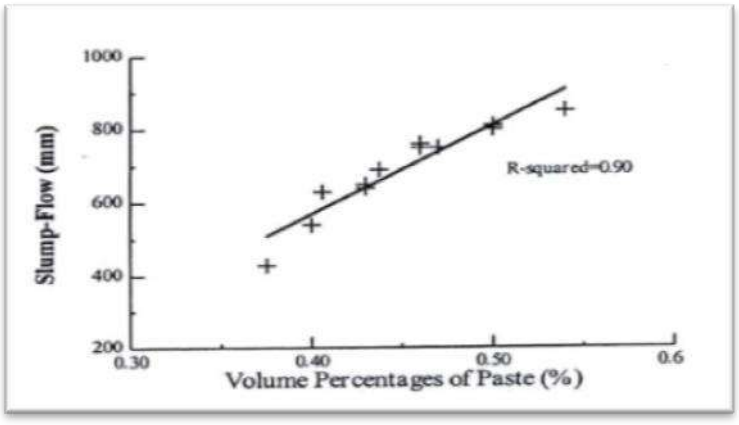


Figure 1.2 : Relation entre l'étalement et la quantité de pâte d'un béton [7].

B. *Une quantité de fines importante*

Pour augmenter la quantité de pâte d'un BAP, on peut alors envisager d'augmenter la quantité de ciment. Or ceci conduirait à une augmentation significative du coût du matériau maiségalement à des problèmes de retrait dus à l'élévation de la température lors de l'hydratation du ciment. Il est donc nécessaire de remplacer une partie du ciment par des additionsminérales.

Les compositions de BAP comportent une grande quantité de fines (environ 500 kg/m^3) pour limiter les risques de ressuage et de ségrégation. Toutefois, le liant est fréquemment un mélange de deux, voire trois constituants, pour éviter des chaleurs d'hydratation trop grandes(et un coût de formule trop élevé).

Différentes additions sont citées dans la littérature : cendres volantes, laitiers de hautsfourn eaux, fumées de silice, pouzzolane naturelle et filler calcaire. L'introduction d'additions minérales entraîne une modification de la porosité de la matrice cimentaire et influence les caractéristiques mécaniques et autoplaçantes du béton**[8]**

C.*L'emploi de superplastifiants*

Les superplastifiants permettent en effet de défloculer les grains de ciment. Ils agissent par répulsion électrostatique en neutralisant les charges électriques présentes à la surface des grains et/ou par répulsion stérique en écartant les grains les uns des autres, grâce à des chaînes moléculaires très longues. L'eau initialement piégée entre les flocs est de nouveau disponible pour l'hydratation ou pour fluidifier le mélange (figure 1.2). Il devient donc possible de fabriquer des bétons très fluides, même avec moins d'eau qu'il n'en faut pour hydrater le ciment, donc de fabriquer des bétons à faible rapport E/C, faciles à mettre en place**[9, 10]**.

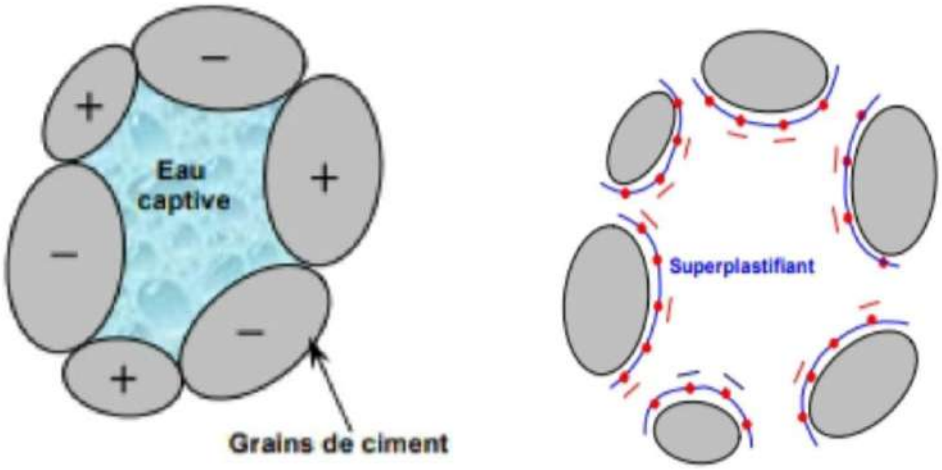


Figure 1.2 : Action du superplastifiant dans un mélange de béton **[10]**.

D. *L'utilisation d'un agent de viscosité*

L'ajout d'un superplastifiant ayant pour effet d'augmenter l'ouvrabilité du béton mais également de réduire sa viscosité, afin de minimiser ce dernier point, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Ce sont généralement des dérivés cellulosiques, des polysaccharides, des colloïdes naturels ou des suspensions de particules siliceuses, qui interagissent avec l'eau et augmentent la viscosité de celle-ci. Ils ont pour but d'empêcher le ressuage et les risques de ségrégation en rendant la pâte plus épaisse et en conservant une répartition homogène des différents constituants.

Les agents de viscosité ont aussi la réputation de rendre les BAP moins sensibles à des variations de la teneur en eau à l'égard des problèmes de ressuage et de ségrégation, mais ilspeuvent conduire à des entraînements d'air excessifs et à une diminution de la fluidité **[11]**.

E. *Un faible volume de gravillon*

Les BAP peuvent être formulés avec des granulats roulés ou concassés. Cependant, il faut en limiter le volume car les granulats sont à l'origine du blocage du béton en zone confinée (figure 1.3). Toutefois, comme ils conduisent par ailleurs à une augmentation de la compacité du squelette granulaire du béton, ils permettent de réduire la quantité de liant nécessaire à une bonne ouvrabilité et une résistance souhaitée**[11]**.

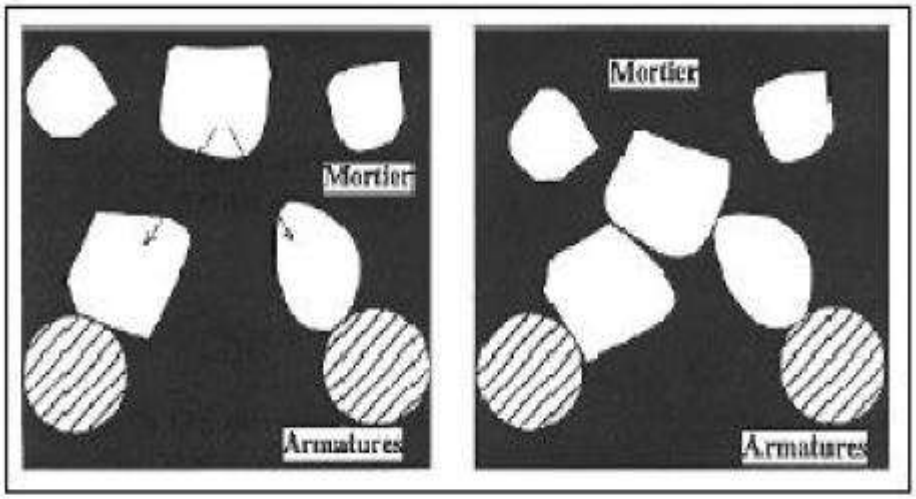


Figure 1.3 : Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle **[11]**.

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 (D^{MAX}) dans un BAP est compris classiquement entre 10et 20 mm, mais comme les risques de blocage pour un confinement donné augmentent avec D^{MAX}, cela conduit à diminuer le volume de gravillon**[6]**.

1.2.3. CARACTERISTIQUE DES BAP A L'ETAT FRAIS

Les bétons autoplçants sont des matériaux encore relativement nouveaux au monde de construction , les caractéristiques les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité et la résistance envers la ségrégation.

1.2.3.1. Fluidité

La fluidité caractérise la capacité du béton à s'écouler sous son propre poids avec un débit suffisant. L'essai le plus courant pour caractériser la fluidité des BAP est l'essai d'étalement au côned'Abrams. On mesure le diamètre de la galette obtenue après étalement. Cette mesure permet de déterminer la capacité du matériau à s'écouler en milieun on confiné et sans obstacle.

Les constituants du BAP ont une grande influence sur sa fluidité (dosage, quantité de la pâte, dimensions des granulats).

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 1.4).

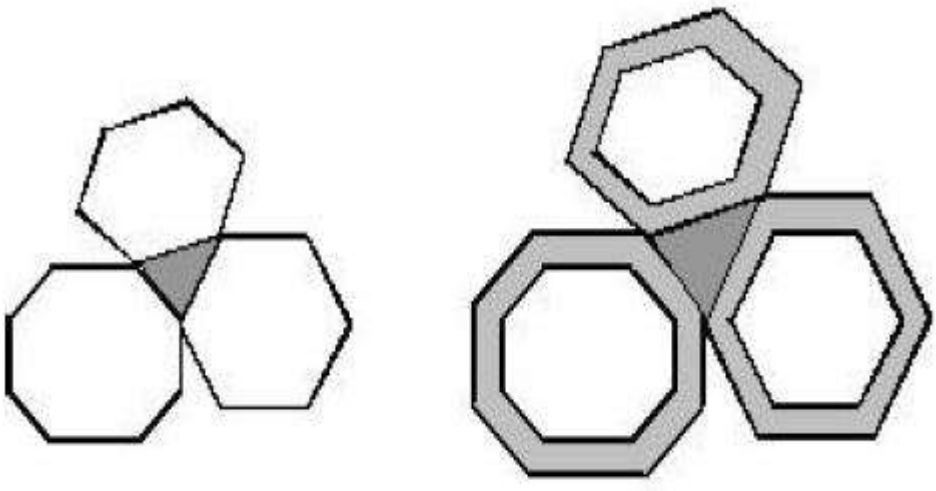


Figure 1.4 : Dispersions des granulats par excès de pâte **[10]**.

L'AFGC **[12]** 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

Admisque les granulats ronds confèrent au béton une plus grande ouvrabilité.

Ouchiet Edamatsu**[13]** observent que moins il y a de frottements entre les grains de sable, plus le mortiers'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 en gendré 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.**[14]** 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 superplastifiant constants) plus la quantité de sable est faible, plus l'étalement du béton est important.

L'ajout d'un superplastifiant 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 cessollicitations 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 bétons'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. Parailleurs, 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. PROPRIETES DES BAP A L'ETAT DURCI

1.2.4.1. Résistance mécanique

La résistance à la compression est influencée par plusieurs facteurs, un béton Autoplaçant avec un rapport E/P similaire, aura généralement une résistance légèrement plus élevée en comparaison à celle du béton ordinaire à cause du manque de vibration donnant une meilleure interface entre les agrégats et la pâte durcie **[15]**. La structure d'un béton autoplaçant est donc supposée être plus compacte et plus homogène que le béton ordinaire vibré, conférant au béton autoplaçant une amélioration de résistance mécanique **[2]**(figure 1.5).

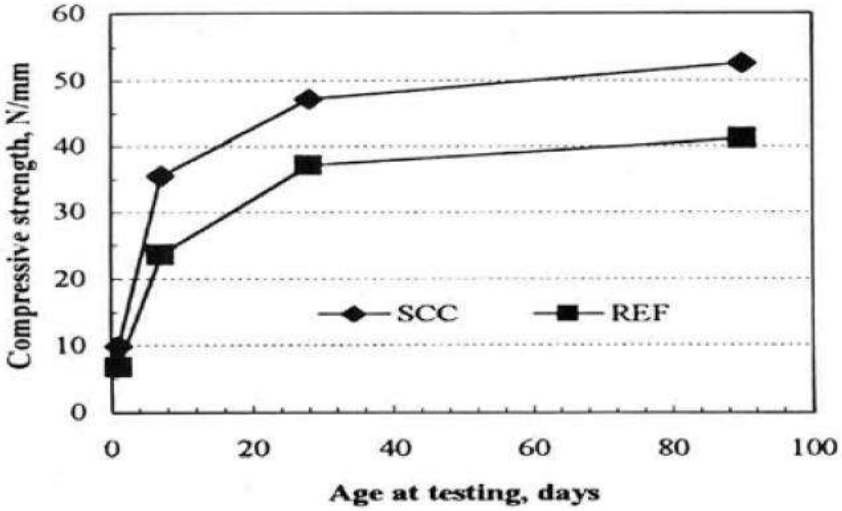


Figure 1.5 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)correspondant **[16]**.

Un autre élément influençant la résistance à la compression est le volume de la pâte. Turcry et al. **[18]** 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 **[17]** 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 **[19]**.

Uysal et al. **[20]** et Zhu et al. **[21]** 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. **[20]** 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 1.7) **[22]**.

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 **[19]**. 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.

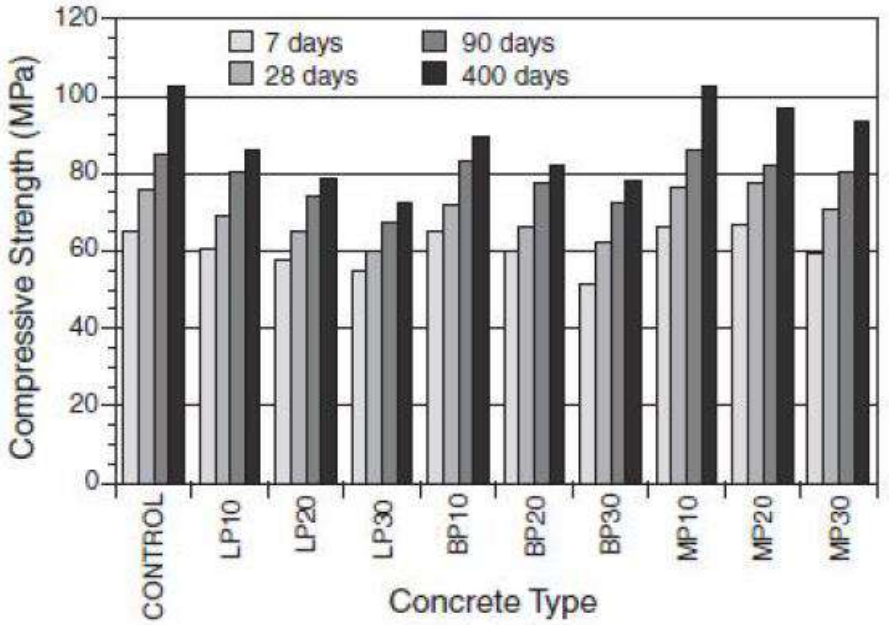


Figure 1.6 : Résistance mécanique d'un béton vibré et de dix mélanges de BAP avec des additions (fillers calcaires, fine de marbre, poudre de basalte) **[21]**.

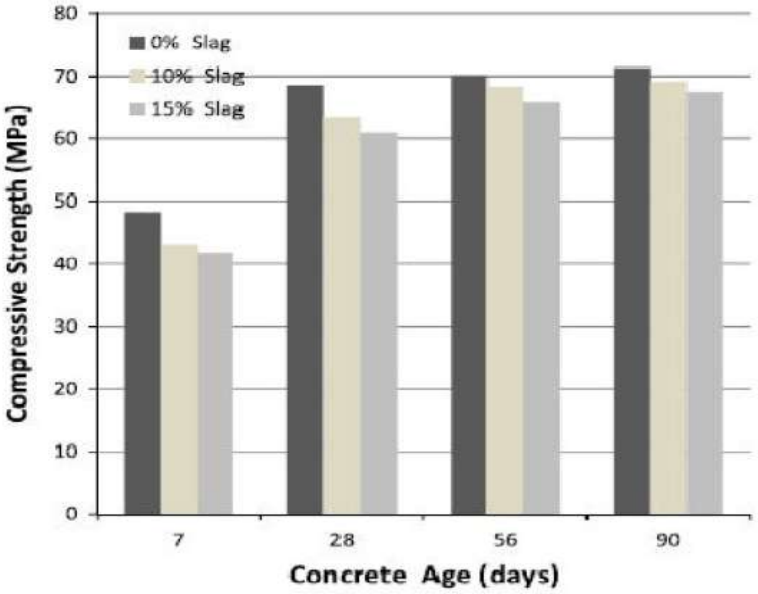


Figure 1.7 : l'évolution de la résistance en fonction de l'âge d'un BAP réalisé avec différents dosages de laitier **[22]**.

1.2.4.2. Vitesse ultrasonique

La vitesse de propagation d'ondes est une mesure non destructive qui vise à examiner la structure interne du béton, c'est-à-dire la présence des vides et fissures. En effet, la présence des vides et fissures réduit la vitesse ultrasonique et par conséquent la qualité du béton.

En général, les BAP présentent des vitesses ultrasonique élevées allant dans certains cas à 5000m/s, ce qui peut être dû au fait que les BAP sont formulés avec une teneur en fines élevée qui rend leur microstructure plus danse et leurs pores plus petites. C'est pour cette raison que les BAP possèdent d'excellentes qualités **[20, 23]**.

1.2.4.3. 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.**[24]**, la valeur d'absorption d'eau par immersion des BAP est 1% contre 2% pour les bétons vibres. Et même pour l'absorption capillaire **[25]**, 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 **[19]** a cité des résultats donnés par Boel **[26]**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 pores 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).

1.2.4.4. Retrait

Persson**[27]** montre aussi que les BAP sont sujets à des déformations libres (retrait sendogène 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 **[28]**(figure 1.8).

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

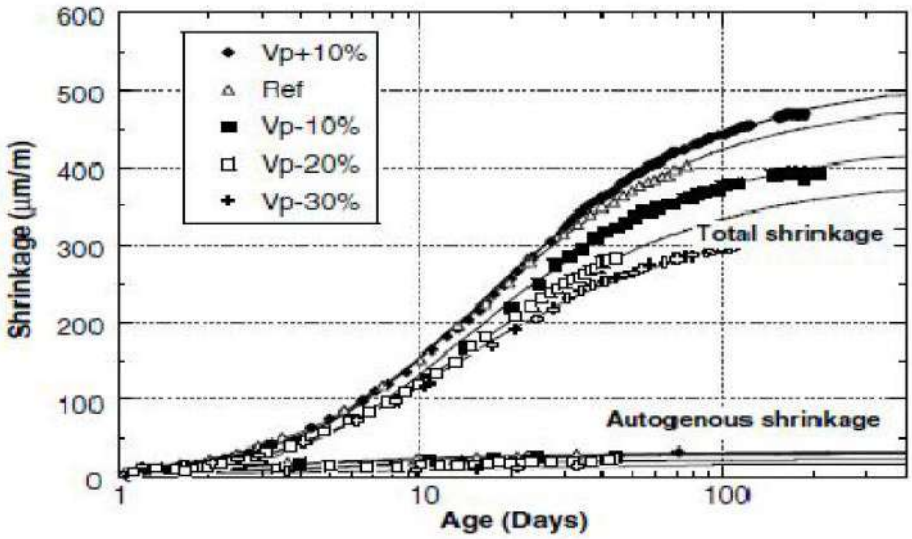


Figure 1.8 : le retrait endogène et le retrait total des bétons autoplaçants en variant levolume de pâte **[28]**.

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 1.9). On peut d'abord suspecter le superplastifiant 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 **[29]**.

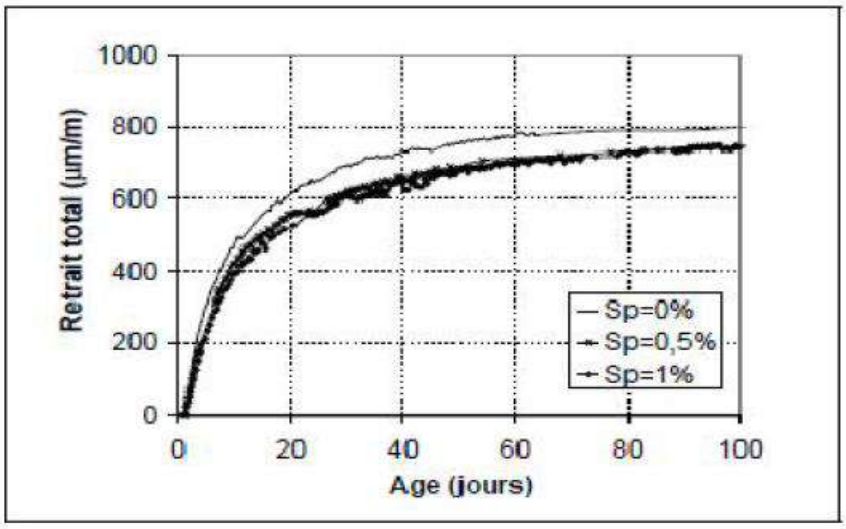


Figure 1.9: Effet du dosage en superplastifiant sur le retrait total **[29]**.

I.3 Valorisation des déchets et sous-produits industriels dans le domaine génie civil :

I .3.1 La Valorisation

Toute opération permettant de réintroduire un déchet dans un processus de production ou de lui conférer une nouvelle valeur d'usage **[30].**

On parle plus particulièrement de :

- Recyclage mécanique
- Valorisation énergétique ou recyclage thermique
- Valorisation chimique

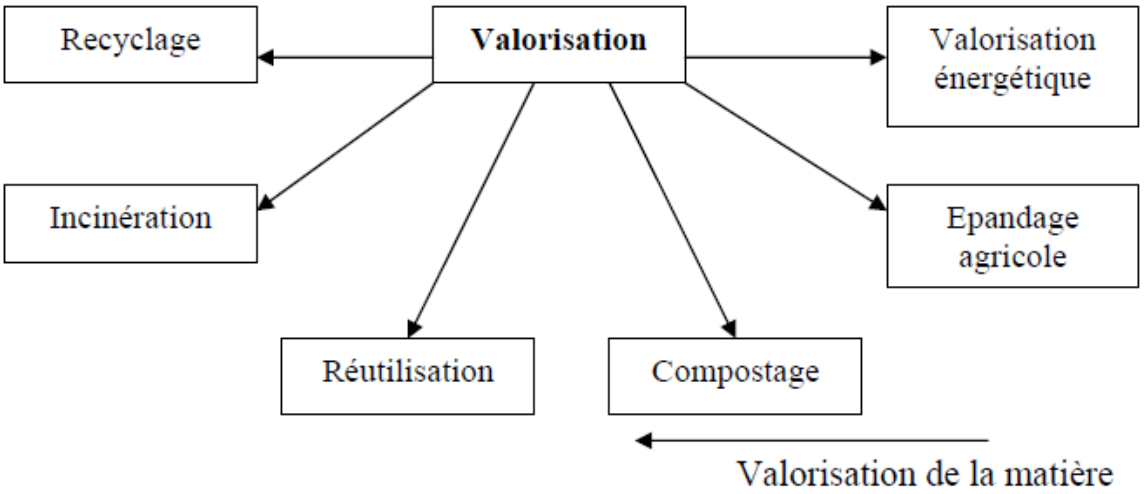


Fig.I .4. Valorisation des déchets (Clastres, 2004).**[31].**

a) Valorisation matière

Elle est appelée également, recyclage mécanique, il s'agit de l'opération globale consistant à la production d'une nouvelle matière à partir d'un déchet. Dans ce cas, il n'y a pas de destruction majeure de la structure chimique du polymère**[30]**

b) Valorisation énergétique

Elle est appelée également, recyclage énergétique, elle vise la production d'énergie calorifique. Plusieurs techniques permettent d'atteindre cet objectif dont les plus connus sont l'incinération, la pyrolyse ou la thermolyse. Cette énergie calorifique peut être utilisée sur

place ou transformée par la suite en énergie électrique, en fonction des besoins du moment ou du lieu de traitement.**[30]**

c) Valorisation chimique

Il s'agit de tout processus chimique permettant la transformation d'un déchet en des produits chimiques utilisables comme intermédiaires réactionnels dans l'industrie chimique ou l'industrie de la transformation des matières plastiques.**[30]**

I.3.1.2 Valorisation du coque de noix dans les matériaux cimentaire

I.3.2. Recyclage

I .3.2.1 Activité du recyclage des déchets en construction

Le recyclage est un procédé de traitement des déchets et de réintroduction des matériaux qui en sont issus, dans un nouveau cycle de vie. L'un des exemples les plus connus illustrant ce procédé est celui de la fabrication de bouteilles en verre grâce aux bouteilles usagées. Le verre est recyclable à l'infini. Le recyclage a deux conséquences écologiques majeures : la réduction du volume des déchets, et donc de la limitation de la pollution qu'ils causeraient (certains matériaux mettent des décennies, voire des siècles à se dégrader) et la préservation des ressources naturelles, car la matière recyclée est utilisée à la place de celle qu'on aurait dû extraire. **[32]**

Le recyclage s'inscrit dans la stratégie de traitement des déchets dite des trois R :

- Réduire, qui regroupe tout ce qui concerne la réduction de la production de déchets.
- Réutiliser, qui regroupe les procédés permettant de donner à un produit usagé un nouvel usage.
- Recycler, qui désigne le procédé de traitement des déchets par recyclage.

I .3.2.2 Technique de recyclage

A)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.**[33]**Il existe 3 types de recyclage

- Le recyclage chimique qui utilise des réactions chimiques pour traiter les déchets ayant pour objectif de séparer les composants d'un même produit,
- Le recyclage mécanique qui utilise des machines pour transformer les déchets comme l'utilisation de broyeur,
- Le recyclage organique qui consiste après compostage ou fermentation à produire des engrais ou du carburant tel que le biogaz.

La récupération des déchets touche deux impacts très importants, l'impact environnemental qui est résout par l'évacuation de ces déchets et l'impact économique qui est l'utilisation de ces derniers dans l'industrie ou dans le domaine de la construction, ces déchets ont l'avantage d'être disponibles en grande quantité et avec de faible valeur marchande.**[34]**

Le recyclage de déchets permet de :

- Réduire ; extraction de matières premières.
- Réduire des pollutions et nuisances
- Préservé de la diversité biologique et des espaces naturels
- Protection des recoures naturels

- La protection de l'atmosphère
- Contrôle et déduire des déchets dangereux

I.4 Noix et coque de noix

La noix se distingue des autres fruits à écale et oléagineux par son contenu particulièrement élevé en acides gras polyinsaturés, principalement sous forme d'oméga-3, dont les bienfaits sur la santé cardiovasculaire sont bien démontrés. Lorsqu'on sait que le contenu en lipides de la noix ainsi que les autres principes actifs qu'elle contient apportent un lot de bienfaits sur la santé, on n'hésite plus à l'intégrer régulièrement à notre alimentation

La noix est particulièrement riche en **vitamine E** et **vitamines du groupe B**, ainsi qu'en **minéraux et oligo-éléments : potassium, phosphore, magnésium, calcium, fer.[35]**

Noix - Que contient la noix ? - Fiches santé et conseils ...

https://sante.lefigaro.f



Fig. I.5 : fruit de la noix **[36]**

I.4.1 Composition de la noix

- **La coque**

La noix commune est un fruit à coque oléagineux très énergétique. Par rapport aux autres graines oléagineuses, elle se caractérise par sa richesse en acides gras polyinsaturés, comportant l'apport le plus élevé en oméga-3. La noix est aussi riche en tocophérol et composés phénoliques lui donnant une activité antioxydant puissante.

Épaisse d'approximativement 1 millimètre, se sépare en de deux parties égales, de couleur beige à Marron selon l'origine, la noix atteint 4 centimètres de longueur. Entouré d'une membrane extérieure (le péricarpe, composé elle-même de l'épicarpe et du mésocarpe) de couleur verte se fendant à maturité.**[37]**

La coque protège efficacement le noyau appelé cerneau. De forme ovoïde, elle se terminant en pointe à une extrémité. Très résistant, il convient d'utiliser des ustensiles adaptés afin de l'ouvrir sans difficulté. On peut observer des nervures gravées dans la coque rendant l'apparence des noisettes unique au monde, on ne retrouve aucune similarité dans l'aspect naturel avec d'autres fruits secs comparables.**[37]**

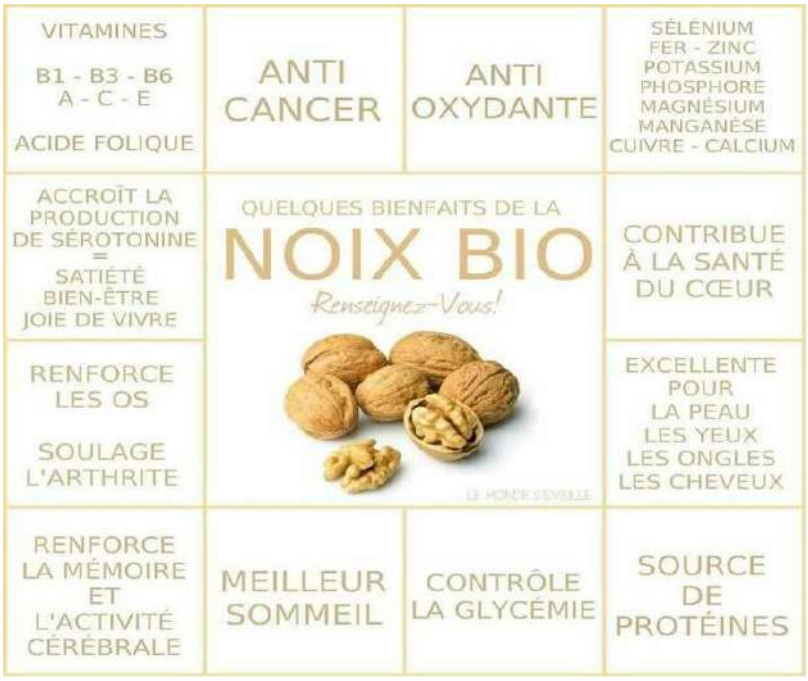


Fig.I.7composition chimique de la noix**[38]**

I.4.2 Les utilisations possibles de la coque de noix

Dans mon jardin, je dispose d'un noyer de la variété Franquette et de plusieurs noisetiers rouges.

C'est très agréable l'hiver de grignoter quelques noix et noisettes l'après-midi et c'est surtout très utile (pour leurs effets bénéfiques pour la santé) et très bon dans quantités de plats ou de desserts.

Mais on ne sait pas toujours quoi faire des coquilles vides. Je vous propose donc une petite liste non exhaustive de leurs utilisations possibles **[39]**

- **En drainage** : au fond des pots de fleurs, elles remplacent les cailloux

- **En paillage :**dans ces mêmes pots, cassés en morceaux, elles font de jolis paillages



Fig. I.8paillage de jardine **[40]**

- **Peinture** et **décoration** : la partie charnue autour de la coquille émet un jus qui tache, utilisé en teinturerie : le brou de noix.
- **Menuiserie** : le bois de noyer est un bois de qualité pour la menuiserie et l'ébénisterie (ronce de noyer)
- **Filtrage et séparation de liquides**

- Travaux de forage, c'est-à-dire dans des liquides/boues de forage et pour le nettoyage de conduites de tuyauterie
- Matière de remplissage pour les revêtements, en particulier lorsqu'un effet antidérapant durable est souhaité
- Matière de remplissage pour les matières plastiques renforcées par des fibres dans les procédés d'extrusion ou de moulage par injection
- Céramique : afin de renforcer la porosité et pour la cautérisation

- Ébavurage de parties plastiques et composites
- Produits agrochimiques : excipients pour les pesticides et herbicides
- Engrais : en tant que poudre de base et liant

La poudre de coquilles de noix pour les applications cosmétiques**[41]**

La poudre de coquilles de noix est adaptée pour un usage en tant que matière de remplissage pour les produits ménagers à base végétale, p. ex. les blocs WC, les tablettes pour lave-vaisselle ou d'autres produits sous forme de tablettes. Grâce à ses bonnes propriétés liantes et de dispersives, la poudre de coquilles de noix se combine parfaitement avec les parfums et les colorants. Elle constitue donc un ingrédient polyvalent pour des biens de consommation biodégradables attractifs de tous types.

Bio Powder est un fabricant et un fournisseur renommé de poudre de granulés de fruits et de matériaux abrasifs biologiques sans additifs chimiques. Nous accordons une grande importance à la durabilité et sommes fiers de l'excellente qualité de nos produits. Nous offrons tous les avantages de la vente directe et livrons en Europe (p. ex. en Grande-Bretagne, en France, en Allemagne, en Suisse, en Autriche, etc.) et dans le monde entier**[41]**



Fig. I.9poudre de coque de noix **[42]**

I.5 Conclusion

Plusieurs types de déchets végétaux peuvent être utilisés comme granulats. Parmi ces déchets on a vu les déchets de coque de noix.

Dans ce chapitre nous avons passé en revue la problématique des déchets usagés non réutilisables, ainsi que de leurs recyclage et valorisations. Puis on a donné une généralité sur les noix et coque de noix. Ces derniers présentent une gêne environnementale et sanitaire de leurs durées de vie et de leurs grandes quantités. Leur gestion est donc nécessaire que ce soit d'un point de vue environnemental, économique ou social. Les matériaux de construction peuvent représenter un débouché intéressant.

Chapitre 2 :
Caractérisation des matériaux et Méthodes d'essais

2.1. INTRODUCTION

Ce chapitre a pour objectif de présenter les différents matériaux utilisés et les techniques expérimentales réalisées dans notre étude. On présente en première partie les caractéristiques et les propriétés des matériaux utilisés dans la composition de nos mortiers autoplaçants , à savoir : le ciment, les ajouts minéraux (coque de noix), 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 ainsi la technique suivie pour le traitement thermique. Nous présenterons par la suite les différents essais réalisésau 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 SETAMde Médéa au cours de cette étude sont les suivants :

- **A l'état frais**
  - Essais d'étalement au mini cône,
- **A l'état durci**
  - Essai de compression sur demi prisme d'éprouvettes 4×4×16 cm^3 à l'âge de 1, 3, 7 et 28 jours ;
  - Essai ultrasonique sur des éprouvettes prismatiques 4×4×16 cm^3à l'âge de 7 et 28 jours ;
  - Essai de variation dimensionnel (retrait et gonflement) ; sur des éprouvettes prismatiques 4×4×16 cm^3 à l'âge de 1, 2, 3, 7, 14, 21, 28 jours ;
  - Essai d'absorption d'eau par capillarité sur demi prisme d'éprouvette4×4×16 cm^3 à l'âge de 28 jours ;
  - Essai de porosité accessible à l'eau sur demi prisme d'éprouvette 4×4×16 cm^3 à l'âge de 28 jours

2.2. MATERIAUX UTILISÉES

2.2.1. LE CIMENT

Nous avons utilisé un seul type de ciment.Il s'agit de ciment de ''MATINE '' CPJ-CEM II/A 42.5, qui a une résistance minimale à la compression à 28 jours de 42,5 MPa (Fig 2.4), une masse spécifique de 3,1 g/cm3, et une finesse de 3964 cm2/g produit par la cimenterie d'Oggaz (Mascara) dont l'ajout est le calcaire. MATINE est un ciment gris de

hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile. 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'aluminium (Al $_2$ O3) et le fer (Fe_2 O3). Ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 °C et 1500°C.

En présence d'eau à lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés. MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physicochimiques conforment à la norme NA 442 **[43].**



Fig. 2.1 Ciment MATINE

(Le tableau 2.2) nous donne la composition chimique et (le tableau 2.3) représente la composition minéralogique du ciment utilisé. Les caractéristiques physicomécaniques sont représentées dans (le tableau 2.4). L'analyse chimique du ciment menée par rayon X met en évidence l'existence des éléments de la composition minéralogique (Fig. 2.5).

Tableau 2.1. Composition chimiquedu Ciment utilisé.

Composition chimique (%)						
SiO_2	**CaO**	**Al_2O_3**	**Fe_2O_3**	**MgO**	**SO_3**	**PF**
20.14	63.47	3.71	4.74	2.12	2.67	1.72

Tableau 2.2 Composition minéralogique des ciments MATINE

C_3S	C_2S	C_3A	C_4AF	CaO libre	Gypse	Ajout
59	16	7	12	1	5	17 % calcaire

Tableau 2.3: Essai physiques sur le ciment MATINE

Essais	**Norme**
Consistance normale de la Pâte de ciment (%)	25.50-28.00
Retrait à 28 jours (mm/m)	< 1000
Expansion (mm)	0.50 – 2.50
Début de prise (min)	120 – 180
Fin de prise (min)	210-280

2.2.2. Granulats

2.2.2.1. Le sable

Nous avons utilisé un seul type de sable au cours de ce travail, il s'agit un sable roulé provient de carrière d'OUED SOUF situé au sud de la capitale d'Alger. La figure 2.1 donne un aperçu sur la nature du sable utilisé. L'analyse granulométrique de sable utilisée est présentée dans la figure.2.2 et les caractéristiques physiques du sable utilisé sont regroupées dans (le tableau 2.1) ci-dessous.



Figure 2.2 : Sable d'Oued-Souf utilisé.

Fig.2.3 Courbe granulométrique de sable utilisée.

Tableau 2.4 Caractéristiques physiques des sables utilisés.

Caractéristiques	**Sable**	**Coque de noix**	**Normes**
Classe granulaire	**0/3**		NF EN 933-1 **[28]**
Module de finesse	2.25		NF EN 933-1 **[28]**
Masse volumique absolue (Kg/ m^3)	2.67		NF EN 1097-6 **[29]**
Masse volumique apparente (Kg/m^3)	1.56		NF EN 1097-3 **[24]**
La compacité (%)			NF EN 1097-3 **[24]**
La porosité (%)			NF EN 1097-3 **[24]**
Equivalent de sable (%)			NF EN 933-8 **[27]**
Coefficient d'absorption d'eau (%)	0.42		NF EN 1097-6 **[29]**

2.2.2.2. Déchet de coques de noix

Les déchets de utilisés au court de ce travail sont obtenus par le recyclage mécanique de déchets coque de noix rejeté dans la nature (Figure 2.2) . Après avoir étaient récupérée (triée), séché, concassé et extrudés sous forme de sable et incorporé dans la masse de mortier ordinaire par substitution volumique du sable avec des pourcentages de (10%,20%,30% et 40%).Les caractéristiques physiques sont donné dans le tableau 2.4.



Fig.2.4 Déchets de coque de noix utilisée

2.2.3. L'eau de Gâchage

L'eau utilisée pour la fabrication du béton est celle de la distribution générale considérée comme potable, exempte de toute impureté nuisible au béton et conforme à la norme NF EN 1008 **[44]**.

2.2.4. Adjuvant

Le superplastifiant utilisé dans cette étude est un haut réducteur d'eau de la troisième génération fournie par la société Granitexe-NP et commercialisé sous le nom « MEDAFLOW 30 »(figure 2.7), de type polycarboxylate est formulé à base de polymère de synthèse combinée. Il ne présente pas d'effet retardataire. Sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,3 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.



Fig.2.3 L'adjuvant MEDAFLOW30 utilisé

2.3 Composition des mélanges

La composition du mortier la confection des éprouvettes est basée sur la formulation de mortier normalise. Les déchets de café sont incorporés dans la masse du mortier par substitution volumique du sable avec de pourcentage de 5%, 10%,15%, et20%, Les familles des mortiers obtenus sont répertoriées comme suit :

MT : Mortier témoin.

MDCN : Mortier à base du déchet de coque noix

La composition de chaque famille du mortier est codifiée et mentionné dans le tableau 2.8 suivant :

Tableau 2.5. Composition des mélanges réalisés (pour 1 m³)

Mortier					
	MT	**MDC**			
		10%	20%	30%	40%
Sable (Kg/m^3)	658	592.2	526.4	460.6	394.8
Ciment (Kg/m^3)	339				
Déchet CN (Kg/m^3)	0	32.7	65.2	97.94	130.58
Adjuvant (%)*	2.7	3	4	5.1	5.76
Eau (l/m^3)	101.7				

(***** % par rapport à la masse du ciment)

2.4 Malaxage et conservation

Le malaxage des mortiers se fait en malaxeur à mortier d'une capacité de 5 L (Fig.2.8). L'introduction des constituants se fait du plus gros au plus fin. Le but recherché est de répartir, le plus régulièrement possible, chaque constituant afin d'assurer un mélange homogène et d'obtenir ainsi les mêmes propriétés. Le malaxage de chaque mélange se fait de la manière suivante :

- On verse les gros grains (le sable)
- Puis en verse les fines et le ciment
- On malaxe pendant 1 minute
- On verse de l'eau et la moitié de la quantité d'adjuvant et on continue le malaxage pendant 1 minute1
- On verse le reste de l'adjuvant et on mélange pendant 1 minute.

-L'introduction du Marc de café a été effectué au départ (après l'introduction du sable et avant l'introduction du ciment).



Fig.2.5. Le malaxage des bétons au laboratoire

2.5. FORMULATION DES MORTIERS AUTOPLACANTS

2.5.1. 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**[45]**, 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.

2.5.2. FORMULATION DU MORTIER AUTOPLAÇANT DE REFERENCE (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**[46]**, 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 Superplastifiant / Liant (Sp/L) et ceci dans le but de s'adapter avec les exigences des matériaux locaux et d'obtenir de bonnes caractéristiques du mortier autoplaçant (MAP) à l'état frais.

Boukendakdji O. **[47]**, dans ses travaux de recherche a ajusté le rapport S/M (S/M=0.5) et SP/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 autoplaçant de référence, nous avons jugé judicieux de maintenir fixe les deux rapports S/M et E/C. Dans notre étude, nous nous sommes basés sur les travaux de Boukendakdji**[47]**. Le rapport S/M a été fixé à 0,5 avec une modification apportée au niveau du rapport E/C et la détermination de la teneur en adjuvant.

En ce qui concerne l'optimisation du dosage eau (E/C) et en superplastifiant (Sp/C) avec la nature du ciment et sable utilisés, nous avons étudié la variation du diamètre d'étalement de la galette doit être compris entre 270 mm $\leq$ d $\leq$330 mmet le temps d'écoulement du mortier au à l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec $\leq$ t $\leq$ 10 sec[99bachene]. Ces rapports sont déterminés comme suit : pour chaque rapport E/C, on fait varier le dosage en SP de 0,3 à 2%. Les rapports optimaux E/C et Sp/C sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP. Il faut noter ici que le mélange de mortier ne comportera aucune addition minérale.

2.6. CONFECTION ET CONSERVATION DES EPROUVETTES

2.6.1. PROCEDURE DE MALAXAGE

Pour la confection des mortiers autoplaçants, nous avons utilisé un malaxeur à mortier de 5 litres de capacité(figure 2.8). 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 2.6: Protocole de malaxage.

Boukendakdji et al. **[51]**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 **[52,53]**, on adopte la procédure de malaxage suivantes :

Apres avoir calculé la quantité de chaque élément entrant dans la composition du MAP (voir exemple de calcul dans l'annexe C), on procède à un malaxage suivant la séquence présentée à la figure 2.9 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 superplastifiant ;
- Malaxer le mélange pendant 3 minutes ;

- En laisse le mélange reposé 3 minutes ;
- Malaxer le mélange pendant 1minutes et 30secondes.

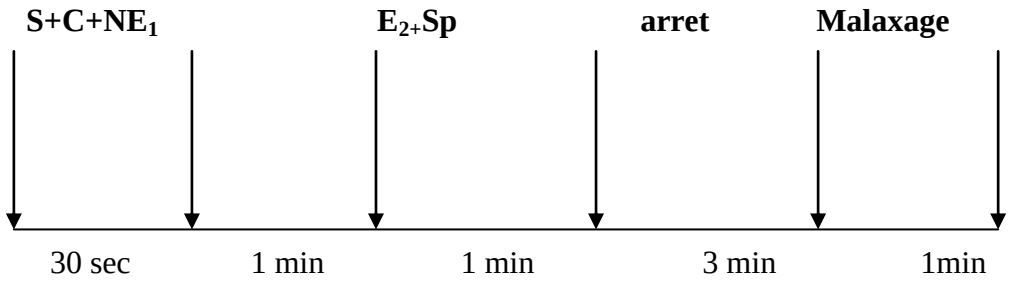


Figure 2.7 :Séquence de malaxage du mortier autoplaçant.

2.6.2. PRÉPARATION DES ÉPROUVETTES

Les différents types de mortiers autoplaçants sont tous fabriqués dans l'environnement de la boratoire. Le coulage des éprouvettes est réalisé sans vibration ni compactage dans des moules métalliques de forme prismatique 4x4x16 cmdestinés aux différents essais programmés à l'état durci. (figure 2.10).



Fig. 2.8. Fabrication des éprouvettes

Les échantillons conservés dans l'eau ont été séchés à l'atmosphère de laboratoire pendant environ 24 heures avant l'âge d'essai et jusqu'à poids constant.

2.6.3. CONSERVATION DES EPROUVETTES

Juste après la confection, toutes les éprouvettes ont été couvertes afin d'éviter le risqued'évaporation excessive et le retrait plastique. Après 4 heures de la confection, les éprouvettes sont subit 4 mode de cure pour chaque mélange :

Des éprouvettes sont conservées 24h dans l'environnement de laboratoire à 20°C puis décoffrées et continues leur conservation soit à l'air du laboratoire (figure 2.11) pour la mesure du retrait soit dans un milieu standard (T = 20°C et HR = 100%) destinées aux différents essais à l'état durci et la mesure du gonflement (figure 2.12);

2.7. PROTOCOLE EXPERIMENTAL

2.7.1. ESSAIS EFFECTUES SUR LES MAP A L'ETAT FRAIS

Les essais sur mortier frais ont pour but en premier temps de fixer les deux rapports E/L etSP/L. L'essai d'étalement vise à qualifier la déformabilité du mortier en mesurant sonétalement, et à contrôler la stabilité du mortier en observant sa galette après l'arrêt del'écoulement. La viscosité du mortier est évaluée en comptant le temps d'écoulement à travers.

2.7.1.1. 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 2.15 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 (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).



Figure 2.9 : Essai d'étalement au mini cône.

2.7.2. ESSAIS EFFECTUÉS SUR LES MAP A L'ETAT DURCI

2.7.2.1. Résistance à la compression

Les essais de résistance mécanique de tous les mortiers autoplaçantsétudiés 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 éprouvettes après chaque modes cure, ont été conservées dans un bac remplit d'eau à une température de 20 C° jusqu'au moment des essais, les résistances mécaniques ont été déterminées à l'âge de 1,3,7 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'age de 1, 3, 7, et 28 jours, à l'aide d'une

presse decapacité de 2000 kN (figure 2.18). La résistance à la compression correspond à lacontrainte moyenne d'écrasement sur les éprouvettes à chaque âge d'essai.



Fig.2.10. Essais de compression

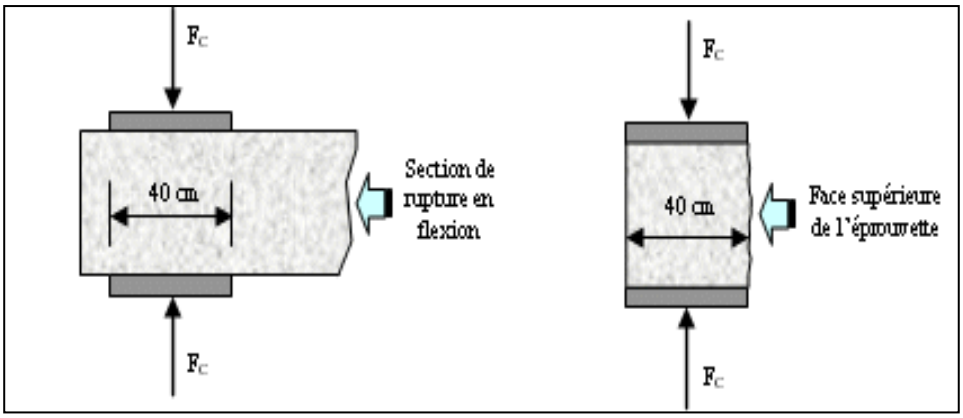


Fig.2.11. Dispositif de rupture à la compression

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la Figure 2.19, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$R_C=\frac{F_C}{b^2} \quad \text{..... (Equation 4.7)}$$

R_C : Résistance à la compression en (MPa)

F_C: Charge de rupture en (N)

B : Côte de l'éprouvette est égale à 40mm

2.7.2.2. Vitesse ultrasonique

La mesure de la vitesse de propagation d'ondes se fait moyennant un appareil d'auscultation sonique (Ultrason), et conformément à la norme **[55].** Cet appareil est constitué d'un générateur d'impulsions électriques, de plusieurs transducteurs (un émetteur et un ou plusieurs récepteurs), et d'un dispositif de chronométrage.

L'appareil génère des impulsions électriques traversant l'échantillon du béton à partir d'un transducteur émetteur applique sur une surface plane. L'impulsion est captée par un transducteur récepteur également appliqué sur une surface plane en opposition et parallèle au premier. Notons ici que ces surfaces doivent être préalablement lubrifiées par la vaseline pour assurer une meilleure transmission des impulsions. Lorsque l'impulsion est captée par le récepteur, l'instrument affiche le temps de propagation (figure 2.12).

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

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

Ou :

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

L: distance entre les deux transducteurs en m ;

t: temps de propagation d'ondes en s.

Il faut appuyer fermement les faces des transducteurs contre les surfaces d'epprouvette jusqu'à la stabilité du temps affiché. Il est egalement important que les lectures soit répétées jusqu'à l'obtention d'une valeur minimale du temps mesuré qui est donne la vitesse ultra sonique .

Il est possible de déterminer, à l'aide des ultrasons, la variation de la densité du béton selon la hauteur. En effet, le mortier, les granulats, eau et le vide ne transmettent pas le son à la même

vitesse, du moins dans les premiers jours du béton. A titre indicatif, le mortier d'un béton de un (01) jour permet une vitesse de son d'environ 3,2 km/s, alors qu'à 5-7 jours, cette vitesse est de 4,2 km/s. Dans les granulats, le son voyage habituellement à environ 5 km/s. ces différences peuvent donc servir à évaluer la quantité de granulats en fonction de la hauteur.



Figure 2.12: Mesure de la vitesse ultrasonique.

2.7.2.3. Absorption d'eau par capillarité

Conformément à la norme NF EN 1015-18 **[56]**, 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 (figure 2.20). 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 (m_x). 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 :

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

Où

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

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

A : section de l'éprouvette (m^2).



Figure 2.13 : Essai d'absorption d'eau par capillarité.

2.7.3 Les propriétés thermiques

Dans notre travail, nous avons étudié et tester les propriétés thermiques des bétons de sables à base du Marc de café par l'utilisation de l'appareil ''CT METRE''. Suivant la norme Le CT METRE Norme de référence NF EN 993-15

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**.[57]**



Fig2.14. Le CT-mètre

2.8. VARIABLES D'ÉTUDE

L'organigramme présenté sur la figure 2.24 suivante résume les variables d'étude expérimentale réalisée au laboratoire. Les différents matériaux utilisés, les essais réalisés et les différents composites obtenus sont présentés.

2.9 Conclusion

La valorisation des déchets organique pourraient résoudre un triple problème : problèmes techniques, économiques et environnementaux. Cette recherche présente une contribution à l'étude de l'effet des déchets de café sur les propriétés rhéologique, mécaniques et la durabilité des mortiers. Ont été utilisé un type de sable.

Cette partie de l'étude a successivement traité les points suivants :

- Caractérisation physico-chimique des matériaux utilisés dans les compositions des mortiers

- Les procédures expérimentales et les essais réalisés sur les différents mortiers à base de déchets de coque de noix à l'état frais et à l'état durci au cours de cette étude.

Chapitre 3 :
Résultats et Discutions

3.1. INTRODUCTION

L'étude expérimentale a pour objet d'étudier l'effet des coques de noix sous forme de sable sur le comportement à l'état frais et durci des mortiers autoplaçants. À cet effet, nous visons à tester les différents mélanges réalisés par l'essai d'étalement au mini-cône à l'état frais afin de vérifier leur autoplacance. Ainsi nous étudions par la suite la caractérisation des différents mortiers à l'état durci à travers la mesure de la résistance à la compression, la résistance à la traction, l'absorption d'eau par capillarité et la conductivité thermique.

Les résultats expérimentaux obtenus dans cette étude sont présentés et discutés ci-après. Les valeurs données sont les moyennes arithmétiques des trois résultats d'essais.

3.2. FORMULATION DES MÉLANGES

Formuler un mortier, c'est de trouver un arrangement des divers constituants qui répond à un cahier des charges donné, pour un mortier autoplaçant c'est complexe vu 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 autoplaçants étudiés dans cette étude 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 superplastifiant/liant.

3.2.1. Détermination des rapports S/M et E/C pour le mélange témoin

L'optimisation de ces rapports a été faite à partir de la mesure d'étalement au mini-cône. La formulation adoptée doit présenter un étalement entre 270 et 330mm **[113]**. Pour notre étude on a fixé un étalement de 28 cm pour tous les mélanges.

Pour le rapport S/M, nous sommes basés sur les travaux de BOUKENDAKDJI et le rapport S/M a été fixé à 0,5 pour s'adapter avec les exigences des matériaux locaux **[7**]. En ce qui concerne le rapport E/C et d'après les résultats préliminaires pour la formulation du mortier autoplaçant témoin, on a remarqué qu'un rapport E/C de 0.4 est insuffisant pour avoir une fluidité satisfaisante, malgré l'augmentation du dosage en superplastifant le mortier est sec, l'étalement reste faible. Donc pour améliorer la fluidité et la viscosité il faut augmenter le

rapport E/C à 0,43. Dès l'augmentation de la quantité d'eau, le mortier a présenté un aspect homogène pour un dosage de superplastifiant inférieur à 1%.

À la fin de cette phase, nous pouvons conclure que les rapports E/C de 0,43 et SP/C de 0.8 sont optimaux pour assurer les meilleurs caractéristiques à l'état frais avec un minimum possible du dosage en superplastifiant pour le mortier autoplaçant témoin.

3.2.2. 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 (coques de noix), nous avons étudié pour chaque dosage en coques de noix, la variation du diamètre d'étalement de la galette tout en faisant varier le rapport Sp/C entre 0.3 et 2%. Les rapports optimaux de Sp/C sont ceux qui peuvent donner simultanément un bon MAP.

Les mortiers autoplaçants avec coques de noix sont formulés par la même manière que le mortier de référence avec différentes substitutions de volume du sable par les coques de noix avec l'ajustement du dosage en superplastifiant. Pour notre étude et pour tous les mélanges à base de coques de noix, les formulations adoptées doivent présenter un étalement auteur de 28 cm. Il faut noter ici que le mélange de mortier autoplaçant de référence (témoin), ne comportera aucun déchet végétal.

Les différentes compositions obtenues pour les différents mortiers autoplaçants ainsi que les résultats des essais d'étalement au mini-cône sont résumés dans le tableau 3.1 suivant.

Tableau 2.2. Compositions des mortiers autoplaçants avec et sans coques de noix

Mélanges	**MAPT**	**MAPCN**			
		10%	**20%**	**30%**	**40%**
Sp (%)	0,8%	1%	1,2%	1,5%	1,8%
Ciment (g)	339	339	339	339	339
Sable (g)	658	592,2	526,4	460,6	394,8
Eau (g)	152,55	152,55	152,55	152,55	152,55
Sp (g)	2,7	3,4	4	5,1	6,1
D (cm)	28,5	28	30	26,5	28,75

Avec :

MAPT : mortier autoplaçant témoin.

MAPCN : mortier autoplaçant à base de coques de noix recyclées (10, 20, 30 et 40%).

3.3. VERIFICATIONS DES MELANGES A L'ETAT FRAIS

Lors de la formulation, la caractérisation des mortiers à l'état frais est nécessaire. Cela consiste à connaître sa ouvrabilité 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.

3.3.1. Besoin en adjuvant

Pour ce qui s'ensuit, et pouvoir comparer les résultats obtenus à l'état durci des différents mortiers, on a varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant de 28 cm. Les différents pourcentages du besoin en adjuvant pour les différents mortiers autoplaçants réalisés dans cette étude sont présentés sur la figure 3.1 suivante.

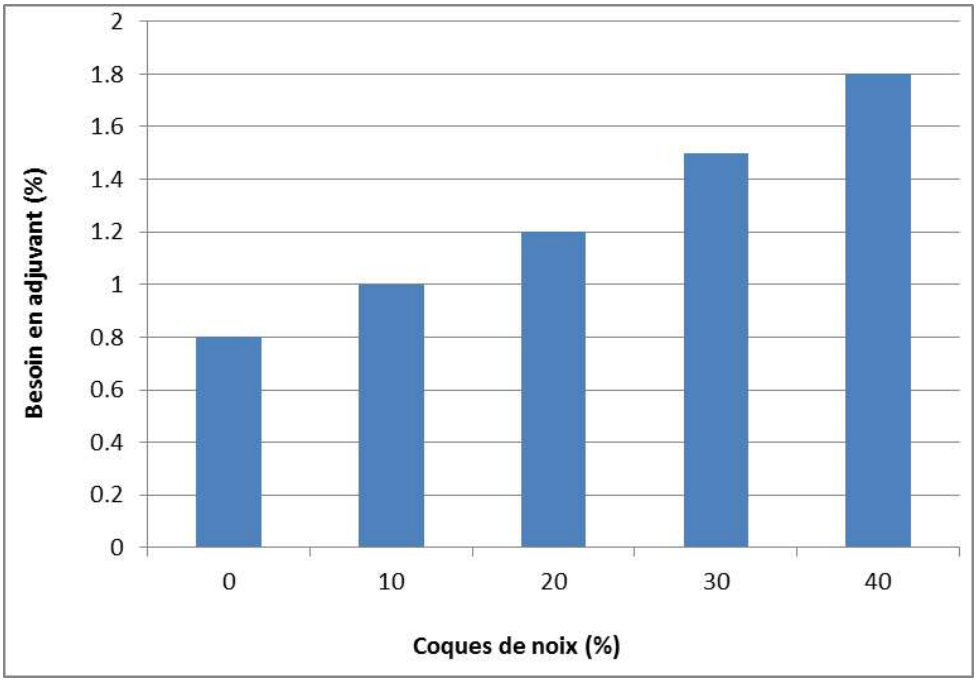


Figure 3.1. Besoin en adjuvant en % pour les différents mortiers autoplaçants étudiés.

A l'issu des résultats présentés sur cette figure, on remarque que les coques de noix diminuent la fluidité des mortiers autoplaçants. Plus en augmente la quantité de cette matière végétale on constate une perte d'ouvrabilité du mélange ce qui traduit par une forte demande en superplastifiant. Par conséquent, les mortiers renfermant 10, 20, 30 et 40% de coques de noix demandent plus d'adjuvant que le MAPT.

3.3.2. Diamètre d'étalement au mini cône

D'âpres les résultats d'étalement des différents MAP, qui sont présenté sur la figure 3.2, on remarque que tous les mortiers ont des valeurs d'étalement qui s'inscrivent dans le domaine des mortiers autoplaçants (D ≈ 28 cm). Nous pouvons conclure que les compositions choisies assurent une bonne fluidité des mortiers quel que soit le dosage en coques de noix.

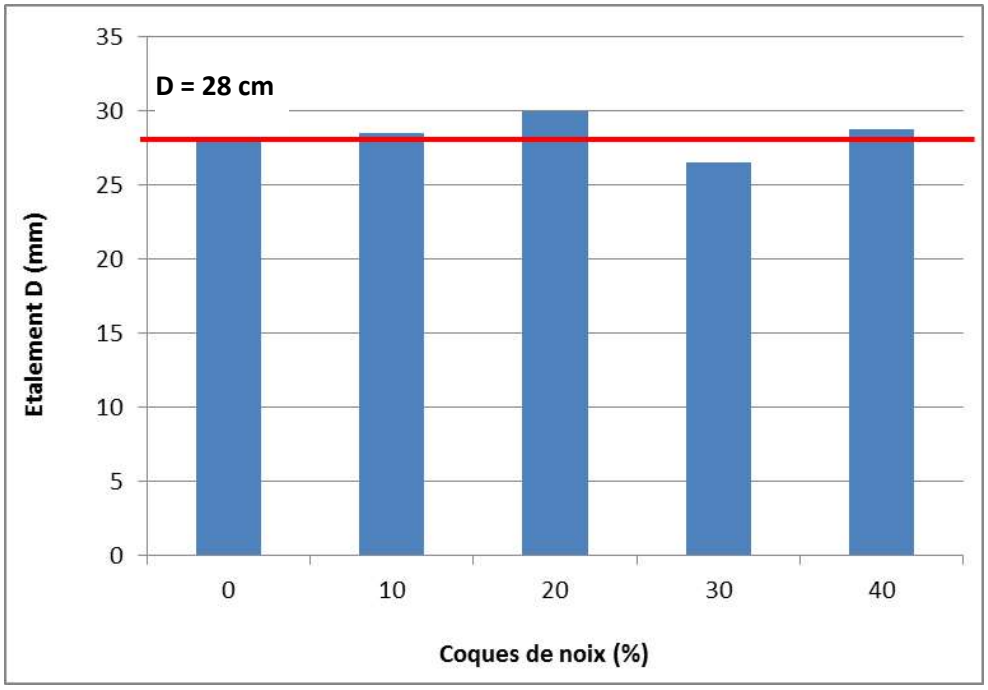


Figure 3.2. Diamètre d'étalement au mini cône pour les différents mélanges.

3.4. CARACTERISATION DES MELANGES A L'ETAT DURCI

3.4.1. Les Résistances mécaniques

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 les essais

de traction et compression. Les trois (03) éprouvettes de chaque mélange sont testées en traction puis en compression afin de déterminer la résistance mécanique du mortier à l'âge de 7 et 28 jours.

3.4.1.1. Résistances à la compression

Les résultats de la variation de la résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de coques de noix sont présentés dans la figure 3.3 suivante.

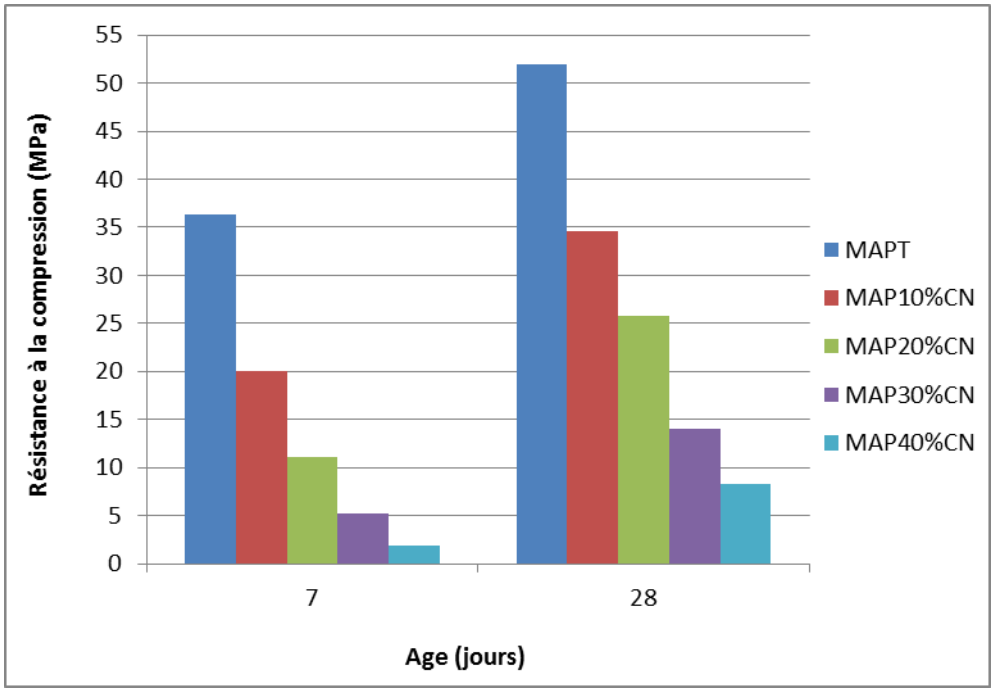


Figure 3.3. Variation de la résistance à la compression des mortiers autoplaçants à base de coques de noix.

On remarque d'après cette figure, une diminution dans les résistances à la compression de tous les mortiers autoplaçants à base de coques de noix par rapport au mortier autoplacant témoin. Tel qu'une diminution de l'ordre 45, 70, 86 et 95% est observée pour les mélanges de 10, 20, 30 et 40% en déchet de coques de noix respectivement à l'âge de 7 jours par rapport au mortier témoin. En outre, à l'âge de 28 jours, la diminution est de l'ordre de 33, 50, 73 et 84% pour les mélanges de 10, 20, 30, 40 et 50% respectivement par rapport au MAPT.

3.4.1.2. Résistances à la traction par flexion

La mesure de la résistance à la traction est importante surtout pour identifier l'adhérence Ciment-Granulats. Les résultats trouvés sont résumés dans la figure 3.4 suivante.

D'après la figure 3.4, On remarque que les résistances à la traction augmentent en fonction de l'âge quel que soit le type du mortier. Ceci est dû au développement de l'hydratation de ciment en fonction du temps.

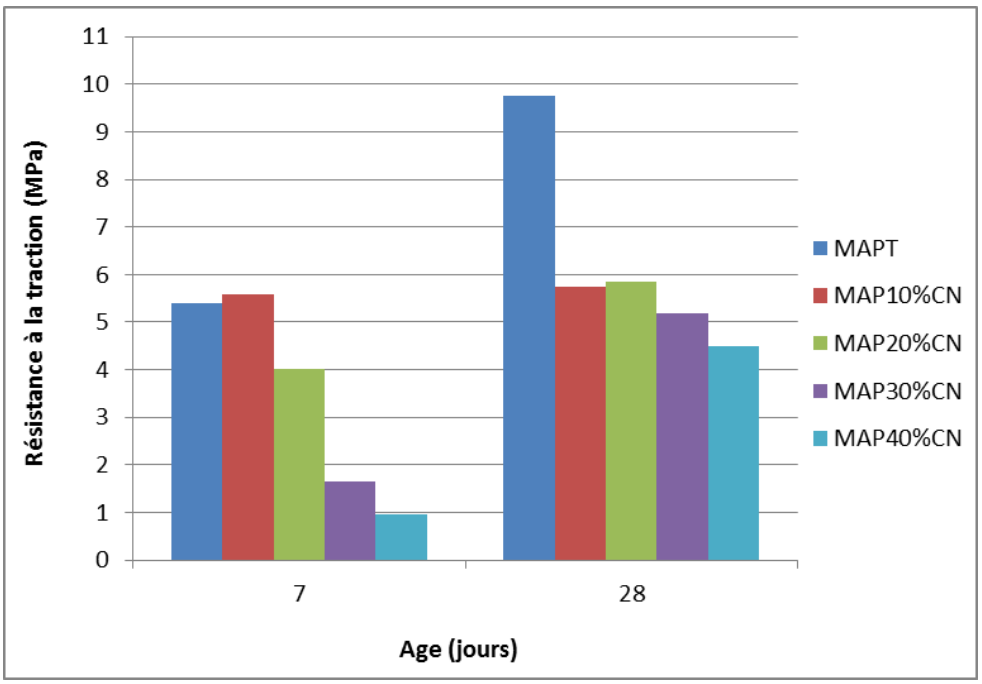


Figure 3.4. Variation de la résistance à la traction par flexion des mortiers autoplaçants à base de coques de noix.

A l'âge de 7 jours, une légère augmentation de l'ordre de 3.5% est observée pour le mélange à base de 10% de coques de noix par rapport au MAPT. Par contre une diminution de l'ordre de 25%, 70% et 82% a été observée pour les mélanges à base de 20, 30 et 40% de coques de noix respectivement par rapport au MAPT.

Du même que la résistance à la compression, on remarque d'après la figure 3.4 une diminution dans les résistances à la traction de tous les mortiers autoplaçants à base de coques de noix par rapport au mortier autoplaçant témoin à l'âge de 28 jours. Tel qu'une diminution de l'ordre 41, 40, 47 et 54% est observée pour les mélanges de 10, 20, 30 et 40% en déchet de coques de noix respectivement à l'âge de 7 jours par rapport au mortier témoin MAPT.

3.4.2. La densité

Les résultats de la densité à l'âge de 28 jours, des différents mélanges à base de déchets végétaux (coques de noix) conservés dans l'eau à 20°C sont résumés dans la figure 3.5 suivante.

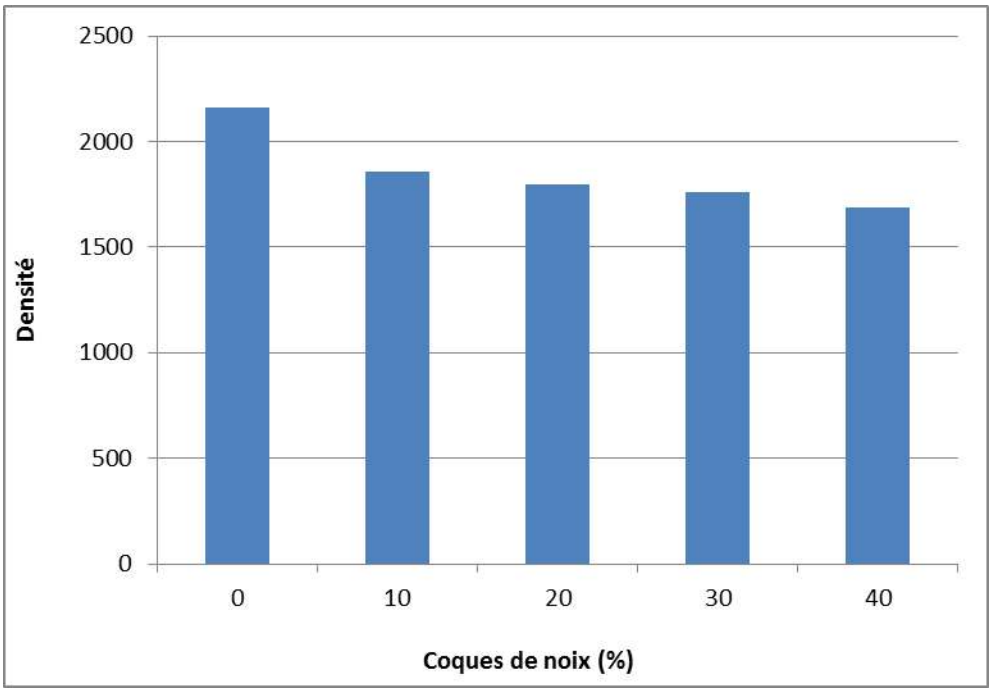


Figure 3.5. Variation de la densité des mortiers autoplaçants à base de coques de noix.

D'après les résultats de la figure 3.5, on remarque que la substitution du sable naturel par les coques de noix, provoque 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. Tel qu'une diminution de l'ordre 14, 17, 19 et 22% est observée pour les mélanges de 10, 20, 30 et 40% en déchet de coques de noix respectivement par rapport au mortier témoin.

3.4.4. L'absorption d'eau par capillarite

La masse d'eau absorbée par unité de surface a été tracée en fonction de la racine carrée du temps, les résultats de l'essai d'absorption d'eau des différents mélanges réalisés sont représentés dans la figure 3.6 suivante.

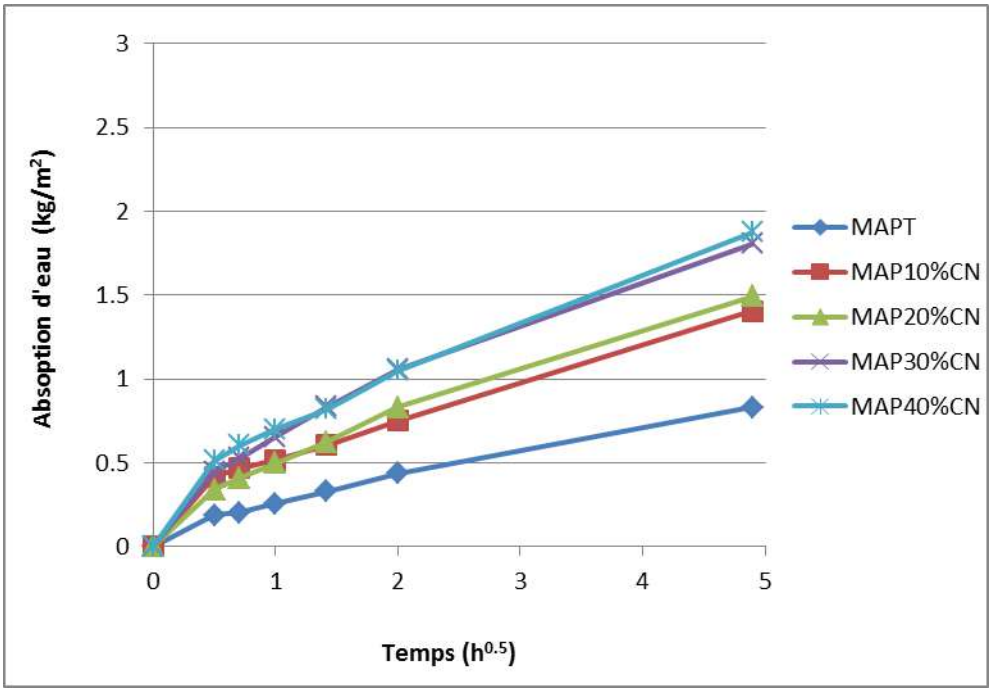


Figure 3.6. Absorption d'eau par capillarité des mortiers autoplaçants à base de coques de noix.

A l'issu de la figure 3.6 on remarque qu'une augmentation remarquable dans le taux d'absorption d'eau de tous les mélanges à base de coques de noix par rapport au mortier autoplaçant témoin. En remarque aussi, que plus en augmentant le taux de substitution du sable par le déchet de coques de noix, plus le taux d'absorption du mortier autoplaçant augmente.

Les mortiers à base de 10 et 20% de noyau d'olive (MAP10%CN) et (MAP20%CN) ont présentés des valeurs très proches dans le taux d'absorption. Du même presque le même taux d'absorption est observé pour le cas des mélanges à base de 30% et 40% en coques de noix.

3.4.5. La conductivité thermique

Les résultats de la conductivité thermique des différents mélanges à base de déchets végétaux (coques de noix) après 28 jours de maturation, sont présentés dans la figure 3.7 suivante.

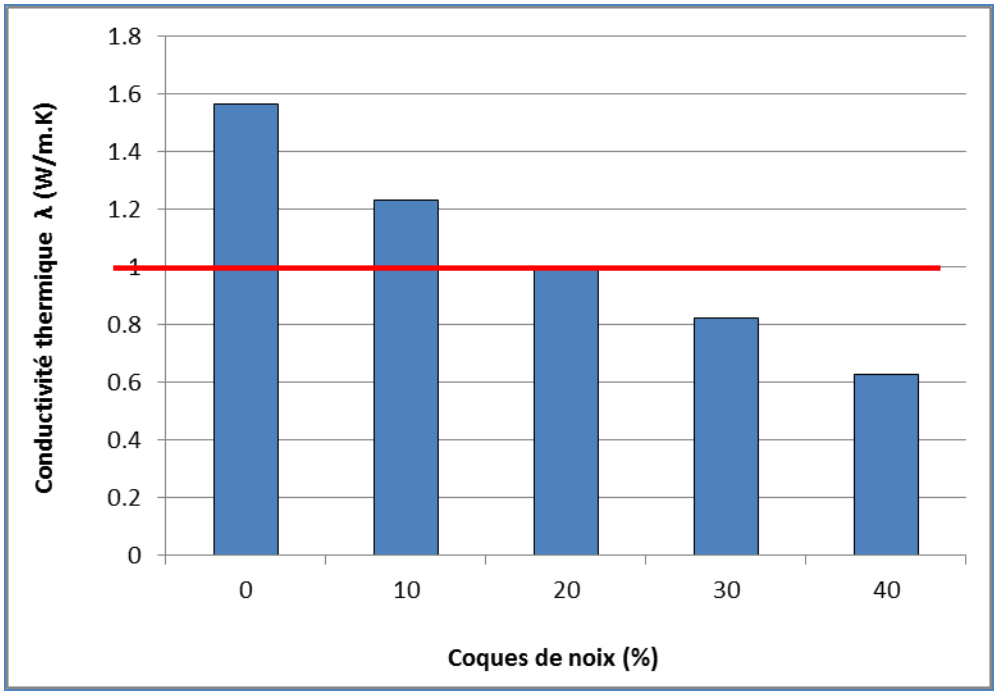


Figure 3.7. La conductivité thermique des mortiers autoplaçants à base de coques de noix.

Les résultats obtenus montrent que la conductivité thermique de tous les mortiers à base de coques de noix diminue par rapport au MAPT. Le taux de diminution est de l'ordre de 21, 36, 47 et 60% par rapport au mortier témoin pour les mélanges à base de 10, 20, 30 et 40% de coques de noix respectivement.

On peut dire aussi d'après les résultats trouvés que, les mortiers autoplacants à base de 20, 30 et 40% de coques de noix et qui présentent des conductivités thermiques (λ) inférieurs à 1 (w/m.K) sont considérés comme matériaux isolants.

3.5. CONCLUSIONS

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

- Quel que soit le taux de substitution du sable par les coques de noix, la fluidité du mortier autoproclamant est diminuée par rapport au mortier témoin. Ce qui traduit par une augmentation dans la demande en superplastifiant de tous les mélanges à base de coques de noix par rapport au MAPT.

- Pour tous les pourcentages de remplacement du sable par les coques de noix, les résistances à la compression et à la traction sont diminuées par rapport au mortier autoplaçant témoin.

- Une augmentation dans le taux d'absorption d'eau est observée pour tous les mélanges à base de coques de noix par rapport au mortier autoplaçant témoins. Ce qui traduit par une diminution dans la compacité des mélages à base de ce déchet végétal.

- Les mortiers autoplaçants à base de déchets végétaux (coques de noix) sont plus légers que le mortier autoplaçant témoin.

- Les déchets de coques de noix diminuent la conductivité thermique du mortier autoplaçant.

- Les mortiers autoplacants à base de 20, 30 et 40% de coques de noix sont considérés comme matériaux isolants grâce à leur conductivité thermique (λ) qu'est inférieur à 1 W/m.K.

Conclusions et Recommandations

Conclusions Générales

L'analyse des études antérieurs et des résultats expérimentaux de l'effet de déchets de coque de noix sur les caractéristiques du mortier peut mener aux quelques conclusions suivantes :

- La maniabilité de mortier est diminue avec l'augmentation de pourcentages de déchets de coque de noix.
- La substitution du sable par les déchets de coque de noix engendre diminution considérable de la densité.
- D'après les travaux antérieurs les performances mécaniques des mortiers sont diminué en fonction d'augmentation de déchets de coque de noix.
- Les études antérieures ont montrés que l'incorporation de déchets de coque de noix à la masse des matériaux cimentaire améliore leurs caractéristiques thermiques.

Finalement, la valorisation et le recyclage de déchets de coque de noix constitue une alternatif économique, environnementale et technologique très importante. L'utilisation de ces types de matériaux est conseillée pour les éléments d'isolation du bâtiment

Référence Bibliographiques

Références bibliographiques

[1] http://www.guidebeton.com/beton-autoplacant

[2] Http://thesis.univ-biskra.dz/1328/6/partieI%20chapitre%2002.pdf

[3] EL BARRAK M., 2005« 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, 228 pages.

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

[5] 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.

[6] « *Bétons Auto-plaçants* », Recommandations Provisoires, Document Scientifiques et Techniques, ISSNencours, Juillet 2000.

[7] BoukendakdjiOthmane, *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] BILLBERG P., "Influence of filler characteristics on SCC rheology andgearlyhydration", Proceedings of 2nd International Symposium on Self-CompactingConcrete,Tokyo, Japon, pp. 285-294, 23-25 octobre 2001.

[9] R.Pleau, D.Beaupré, K.Khayat, B.Bona and P.Lacombe, « *Entrainment de la résistance au gel des bétons autonivelants* », Colloque sur les Bétons Autonivelants, Kamal Khayat, Sherbrooke, Quebec, 1ère Nouvembre 1996.

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

[11] Sedran T., « Les Bétons Autonivelants », bulletin LCPC 196, réf. 3889, pp. 53-60, mars-avril 1995.

[12] Association Française de Génie Civil, « Bétons autoplaçants - Recommandationsprovisoires », Annales du bâtiment et des travaux publics, juin 2000.

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

[14] Yen et al., Flow behaviour of high strength high-performance concrete, cement andconcrete composites, 1999, vol 21, pp 413-424.

[15] KLUG Y., HOLSCHEMACHER K., 2003« Comparison of the hardened properties of Self-Compacting and Normal Vibrated Concrete » 3rd International Symposium on Self-Compacting Concrete, Reykjavik,Iceland, pp. 596-605.

[16] GIBBS J.C. and ZHU W., " Strength of hardened self-compacting concrete ",Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO7), Stockholm, Suède, pp. 199-209, 13-15 septembre 1999.

[17] PINEAUDA., 2007« 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, page 271.

[18] TURCRY P., ROZIERE E.,LOUKILI A.,2005« Influence du volume de pâte et des additions sur le retrait des bretons autoplaçants ». XXIIIème RencontresUniversitaires de Génie-Civil, Grenoble.

[19] ASSIÉ S., 2004 « Durabilité des bétons autoplaçants» thèse de doctorat,Laboratoire Matériaux et Durabilité des Constructions INSA-UPS Génie Civil, Toulouse, France.

[20] UYSAL M.,YILMAZ K., 2011« Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete »,Cement and Concrete Composites J., Vol. 33,pp.771-6.

[21] Wenzhong Zhu, John C. Gibbs, "Use of different limestone and chalk powders inself-compacting concrete", Cement and Concrete Research 35 (2005) 1457– 1462.

[22] OthmaneBoukendakdji, El-HadjKadri , Said Kenai "Effects of granulatedblast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strengthof self-compacting concrete".

[23] GUNEYISI E., GESOGLU M.,2008 « A study on durability properties of high-performance concretes incorporating high replacement levels of slag » Materials and Structures J., Vol. 41, pp. 479–493.

[24] KAPOOR Y., MUNN C., CHARIF K., 2003« Self-Compacting concrete – an economic approach » Proceedings of Seventh International Conference on Concrete in Hot and Aggressive Environments,Manama, Kingdom of Bahrain, pp.509–19.

[25] KHELIFA R.,2002 «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.

[26] BOEL V., AUDENAERT K., DE SCHUTTER G.,2002, « Pore structure of self-compacting concrete », First North American Conference on the Design and Use of Self-Consolidating Concrete, ACBM center, pp. 837-843.

[27] Persson B. "Creep, Shrinkage and Elastic Modulus of Self-Compacting Concrete" Proceedings of the first International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete 1999 in Sweden, pp. 239-250.

[28] ROZIERE E., GRANGER S., TURCRY P., LOUKILI A., 2007« Influence of paste volume on shrinkage cracking and fracture properties of self-compacting concrete », Cement and Concrete Composites J., Vol. 29, pp. 626–636.

[29] Philippe Turcry, « Retrait et Fissuration des BetonsAutoplaçants », Influence dela Formulation. Thèse de l'Ecole Centrale de Nantes et l'Université de Nantes 2004.

[30] Fouad ZAHRANI, Pascal NAQUIN et Armelle AROUND, valorisation des déchets au Maroc, 31/1/2017

[31] GESTION DECHETS CUSSTR VD - PM 09.09.08, http://cusstr.ch/repository/34.pdf

[32] Caractérisation de la longévité des briques brutes et très bien écrasées réutilisées D'employer de bétons et des agrégats, des matériaux et du RILEM concrets (2011). Http ://www.rilem.net/ms.php.

[33] les procède de recyclage, http://technocap021bis.eklablog.com/les-procedes-de-recyclage-a115203926, 29 Mars 2015

[34] Quebaud M., 'Caractérisation des granulats recyclés - Etude de la composition et du Comportement de bétons incluant ces granulats', Thèse de doctorat, Université d'Artois, France, décembre 1996.