

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR UNIVERSITY- ANNABA

UNIVERSITE BADJI MOKHTAR - ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

FACULTE DES SCIENCES DE L'INGENIORAT  
DEPARTEMENT DE GENIE CIVIL

Année : 2024

**Optimisation de la composition d'un BAP:  
effet des fibres végétales sur son comportement**

**Option : Matériaux**

Par :

**DERDOUR DOUNIA**

**Directeur de Thèse:**

BEHIM Mourad

Professeur Université de Badji Mokhtar, Annaba

**Devant Jury:**

**Président:**

ACHOURA Djamel

Professeur Université de Badji Mokhtar, Annaba

**Examineurs:**

ARABI Noureddine

Professeur Université de Badji Mokhtar, Annaba

BELOUETTAR Rdjem

Professeur Université de Badji Mokhtar, Annaba

NAFAA Zahreddine

Professeur Université de 8 Mai 1945, Guelma



# Dédicace

Ce modeste travail est dédié à mes chers parents et à mon adorable famille:

A ma merveilleuse mère **KERKOUB Ouraida**, aucun mot ne pourrait exprimer à sa juste valeur, qui m'a donné une éducation à la hauteur de son amour, et qui a contribué à ma formation pour ce que je suis aujourd'hui t; il n'était pas si simple d'assumer la double tâche de mère et de père. Que cette thèse soit le meilleur cadeau que j'aurai aimé le poser entre ces mains. Chaque ligne de cette thèse, chaque mot et chaque lettre exprime ma reconnaissance, mon profond respect, l'estime et merci d'être ma mère.

À la mémoire de mon père **Said** disparu trop tôt et que je ne doute pas de son amour, ceci est un humble geste de reconnaissance de la part de sa fille qui a toujours prié pour le salut de son âme.

À **Noureddine Hachicha** en particulier pour ces interventions nécessaires et ces faveurs précieuses.

À **Imed Eddine Taoutaou** pour son soutien moral, sa patience et sa compréhension, pour sa présence dans toutes les circonstances de joie et de peine et qui sait toujours comment procurer la joie et le bonheur en moi.

À mon frère **Bilel Derdour**, mes Oncles et tantes maternelles de la famille kerkoub (**tata Fatiha, tata Souad, tata Hayet, tata Yamina, tata fatma, tonton Kherdine, tonton Kamel, tonton Ahcen**), cousin et cousines (**Oussama, Mohamed lamine, Nesrine, Wahiba, Maroua, Hadjer**), Pour leurs encouragements, leurs sentiments et leurs patiences, qui n'ont pas cessé de se manifester tout au long de mes études.

À **Ramdane Tekrane** pour son assistance et tous ces appuis et ces recommandations nécessaires.

Que ma satisfaction à tous ces égards soit pour vous une fierté sans égale.





## *Remerciements*

Il est temps d'exprimer ma gratitude envers toutes les personnes qui ont apporté leur contribution, que ce soit de près ou de loin, à cette réalisation.

Je remercie Dieu le Tout-Puissant d'avoir donné tant de courage et de force pour réaliser ce travail.



Qu'il me soit permis de témoigner mes profonds respects et mes sincères remerciements au Professeur **Mourad Behim** qui a assuré l'encadrement de cette thèse, sa rigueur scientifique et ces conseils judicieux m'ont guidé tout au long de ce parcours,

Je ressens une grande gratitude pour la qualité des multiples conseils qu'il m'a prodigués, de plus, je suis reconnaissante, des connaissances et des expériences de recherche qu'il a su me transmettre et qui, je suis persuadé, que cela me sera bénéfiques dans les années qui suivent merci également pour tout le temps consacré à cette thèse dès sa conception jusqu'à son achèvement.

Je salue les encouragements, conseils et suggestions reçus de la part des professeurs de cette université, spécialement le Professeur **Djamel Achoura** directeur de LMGE laboratoire Matériaux, Géo matériaux et environnement, Université Badji Mokhtar Annaba.

Par ailleurs, je remercie chaleureusement **Mohammed Benzerara** qui m'a apporté son aide et m'avoir appuyé sur la publication de mon article.

Je voudrais exprimer ma gratitude aux membres de du jury de cette thèse  
Pr. **ACHOURA Djamel**, Pr. **ARABI Nouredine**, Pr. **NAFAA Zahreddine** et Pr. **BELOUETTAR Redjem**, pour m'avoir fait l'honneur d'accepter d'évaluer ce travail, et pour leurs nombreuses remarques et suggestions constructives qu'ils n'ont cessées de me prodiguer pour la réussite de ce travail



Un grand merci à toutes mes ex-collègues de travail de la société OHL commençant par mon responsable **Roberto Tejedore Martine, Jorge Paramo de Laplaza, José manuel camacho, javier perez abellan, joaquin viana colina, Domingo Calero, José, serjio...**

Merci à tous pour vos gaités, et vos soutiens.

Je n'oublierai jamais l'appui technique, j'exprime mes remerciements à l'ensemble du personnel du Laboratoire **Khair-Eddine Khoualdi, Djamila Abbaci, Aziza Kherouf**, dans toutes les analyses effectuées au laboratoire LMGE.

Un grand merci à **Kamel Akroum** qui m'a accordé sa confiance, son soutien et qui a grandement facilité mon travail.

Ce travail n'aurait pas pu prendre sa forme sans un bon environnement de travail. J'adresse ma reconnaissance envers l'ensemble d'amis doctorants ;

**Benzerara Mohammed, Amara Hanen, Ouahab Rahim, Derouiche Yakoub, Fadila Hamza, Draghmia Dalel, Kiran Sacia, Dorbani Kamar**

Pour les bons moments passés ensemble.

Je remercie mille fois mes chers parents et ma famille **Kerkoub** pour toutes les peines et sacrifices qui ont toujours été présent lorsque j'en ai eu besoin.



# ***RÉSUMÉ***

---

Le développement du béton à l'échelle industriel a conduit à la découverte des bétons autoplaçants (BAP), qui se caractérisent par une mise en place sous le seul effet de la pesanteur sans recours à aucune vibration même dans le cas des espacements très faibles entre armatures.

Les bétons autoplaçants sont soumis au phénomène de retrait plus que les bétons ordinaires en raison du volume de pâte important qu'ils renferment.

L'incorporation des fibres (non structurales) dans les matériaux à matrice cimentaire est justifiée, justement, par la maîtrise de la fissuration précoce résultant du retrait plastique. C'est dans cette optique que nous avons introduit les fibres dans la composition du BAP.

Les fibres utilisées dans cette étude sont les fibres de polypropylène comme fibre témoin et les fibres végétales de palmier dattier très peu exploitées malgré leur abondance sous forme de déchets, comme fibre d'étude.

Le nombre de palmiers dattiers de différentes espèces est estimé à 18 millions de pieds en Algérie, cultivés sur une superficie de 165 000 hectares, générant plus de 200 mille tonnes de déchets mis en décharge ou brûlés.

Les fibres de palmier dattier sont caractérisées par une résistance à la traction de 80-200 MPa, un module d'Young de 2-10 GPa et un allongement de 2-10 mm. Les fibres végétales en général ont un pouvoir d'absorption d'eau important.

L'objectif de cette étude est la valorisation de la fibre de palmier dattier comme renfort dans les bétons autoplaçants. Il s'agit de remplacer la fibre de polypropylène traditionnellement utilisé.

L'emploi des fibres végétales de palmier dattier a donné des résultats intéressants. Cependant, une question mérite d'être posée concernant la durabilité des BAP avec fibres végétales ? Les fibres végétales ont été utilisées depuis longtemps dans la matrice argileuse et ont montrées un bon comportement à l'abri de l'eau ; qu'en sera-t-il pour la matrice cimentaire ?

---

**Mots clés** : béton autoplaçant (BAP), Formulation, fibres de palmier dattier, fibres synthétiques, ouvrabilité, retrait, résistance en flexion, résistance en compression.

---

# ***ABSTRACT***

---

The development of concrete on an industrial scale led to the discovery of self-compacting concrete (SCC), which is characterized by being placed under the sole effect of gravity without resorting to any vibration even in the case of very small spacings between reinforcements. Self-compacting concrete is subject to the phenomenon of shrinkage more than ordinary concrete due to the large volume of paste it contains.

The incorporation of fibers (non-structural) in cement matrix materials is justified, precisely, by the control of early cracking resulting from plastic shrinkage. It is with this in mind that we introduced fibers into the composition of SCC. The fibers used in this study are polypropylene fibers as a control fiber and date palm plant fibers, which are very little used despite their abundance in the form of waste, as a study fiber.

The number of date palms of different species is estimated at 18 million feet in Algeria, cultivated on an area of 165,000 hectares, generating more than 200 thousand tons of waste land filled or burned. Date palm fibers are characterized by a tensile strength of 80-200 MPa, a Young's modulus of 2-10 GPa and an elongation of 2-10 mm. Plant fibers in general have a significant water absorption power.

The objective of this study is the valorization of date palm fiber as reinforcement in self-compacting concrete. It is a question of replacing the polypropylene fiber traditionally used. The use of date palm plant fibers has given interesting results. However, a question deserves to be asked concerning the sustainability of SCC with plant fibers? Plant fibres have been used for a long time in the clay matrix and have shown good behaviour when protected from water; what will happen to the cement matrix?

---

**Keywords:** self-compacting concrete (SCC), formulation, date palm fibers, synthetic fibers, workability, shrinkage, flexural strength, compressive strength.

---

## ملخص

أدى تطور الخرسانة على نطاق صناعي إلى اكتشاف الخرسانة ذاتية الرص (SCC)، والتي تتميز بوضعها تحت تأثير الجاذبية الأرضية فقط دون اللجوء إلى أي اهتزاز حتى في حالة وجود مسافات صغيرة جدًا بين التسليحات.

تتعرض الخرسانة ذاتية الرص لظاهرة الانكماش أكثر من الخرسانة العادية بسبب الحجم الكبير من المعجون الذي تحتويه.

إن دمج الألياف (غير البنيوية) في مواد مصفوفة الأسمنت مبرر، على وجه التحديد، بالسيطرة على التشقق المبكر الناتج عن الانكماش اللدن. ومن هذا المنطلق قمنا بإدخال الألياف في تركيبة الخرسانة ذاتية الرص.

الألياف المستخدمة في هذه الدراسة هي ألياف البولي بروبيلين كألياف تحكم وألياف نبات النخيل، والتي نادرًا ما تستخدم على الرغم من وفرتها في شكل نفايات، كألياف للدراسة.

تقدر أعداد أشجار النخيل من مختلف الأنواع في الجزائر بحوالي 18 مليون قدم، مزروعة على مساحة 165 ألف هكتار، وتنتج أكثر من 200 ألف طن من النفايات التي يتم دفنها أو حرقها.

تتميز ألياف النخيل بقوة شد تتراوح بين 80-200 ميجا باسكال، ومعامل يونغ يتراوح بين 2-10 جيجا باسكال واستطالة تتراوح بين 2-10 مم. تتمتع الألياف النباتية بشكل عام بقوة امتصاص كبيرة للماء.

الهدف من هذه الدراسة هو تقييم ألياف النخيل كتعزيز في الخرسانة ذاتية الرص. يتعلق الأمر باستبدال ألياف البولي بروبيلين المستخدمة تقليديًا.

أعطى استخدام ألياف نبات النخيل نتائج مثيرة للاهتمام. ومع ذلك، هناك سؤال يستحق الطرح بشأن استدامة SCC مع الألياف النباتية؟ لقد تم استخدام الألياف النباتية لفترة طويلة في مصفوفة الطين وأظهرت سلوكًا جيدًا عند حمايتها من الماء؛ ماذا سيحدث لمصفوفة الأسمنت؟

# *Table des matières*

---

Dédicace	i
Remerciement	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
ملخص	v
Table des matières	vi
Liste des figures	vii
Liste des tableaux	viii
Introduction générale	xi
<b>Chapitre I ETAT DE L'ART SUR LES BETONS AUTOPLAÇANTS SANS FIBRES ET AVEC FIBRES VEGETALES .....</b>	<b>22</b>
I.1 INTRODUCTION .....	25
I.2 LE BAP .....	25
I.2.1 Présentation et spécificités des BAP .....	25
I.2.2 Les composants constitutifs des BAP .....	26
I.2.2.1 Le ciment .....	26
I.2.2.2 Les granulats .....	26
I.2.2.3 L'eau .....	27
I.2.2.4 Les ajouts minéraux .....	27
I.2.2.5 Les adjuvants .....	28
I.2.3 Approches de formulation pour les BAP .....	29
I.2.3.1 Elément essentiels pour la composition des BAP .....	29
I.2.3.2 Approche fondée sur l'optimisation des Mortier .....	30
I.2.3.3 Approche basée sur l'empilement compressible des grains .....	30
I.2.4 Approche pour évaluer les bétons autoplaçants à l'état frais .....	31
I.2.5 Propriétés des BAP à l'état durci .....	32
I.2.5.1 Résistance à la compression .....	32
I.2.5.2 Retrait .....	33
I.2.5.3 Durabilité .....	33
I.3 LES FIBRES .....	34
I.3.1 LES FIBRES VEGETALES .....	35
I.3.2 L'essentiel sur la fibre de palmier dattier .....	37

I.3.2.1	Déscription du palmier dattier .....	37
I.3.2.2	Structure physiques des fibres du palmier: .....	38
I.3.2.3	Structure mécaniques de fibres du palmier .....	39
I.3.2.4	Structure chimiques des fibres du palmier .....	40
I.3.2.5	Les atouts et dommages causés par des fibres végétales .....	41
I.4	LES BÊTONS AUTOPLAÇANTS A BASE DE FIBRES VEGETALES.....	41
I.4.1	Contribution des fibres végétales sur les carcterestiques des BAP Fibrés à l'état frais.....	41
I.4.2	Influence des composés végétaux sur les propriétés des BAPF à l'état Durci et la longévité .....	43
I.4.2.1	Impacte de la résistance mécanique par les fibres végétales.....	43
I.4.2.2	Effet des fibres végétales sur le processus de retrait .....	46
I.4.2.3	Impact des fibres végétales sur la porosité .....	48
I.4.3	Formulation des BAP avec fibres (BAPF).....	49
I.5	Conclusion .....	50
 <b>Chapitre II Matériaux et méthodes expérimentales.....</b>		<b>57</b>
II.1	INTRODUCTION .....	60
II.2	CARCTERISATION DES MATERIAUX .....	60
II.2.1	Renseignements concernant le ciment .....	60
II.2.2	Filler Calcaire .....	61
II.2.3	Adjuvant .....	62
II.2.4	Granulats .....	62
II.2.5	Les fibres synthétiques de polypropylènes.....	64
II.2.6	Fibres provenant de palmier dattier.....	65
II.2.6.1	Measurement du diamètre de la fibre .....	66
II.2.6.2	Structure microscopique des fibres de palmier dattier.....	67
II.2.6.3	Absorption d'eau des fibres .....	67
II.2.6.4	Caractéristiques mécanique de la fibre .....	69
II.3	METHODES EXPERIMENTALES .....	71
II.3.1	Essais réalisés sur béton frais .....	71
II.3.1.1	Etalement au cône d'Abrams .....	71
II.3.1.2	Détermination du temps d'écoulement T <sub>500</sub> (viscosité apparente) .....	72
II.3.1.3	Mobilité en milieux confiné (Essai du L-Box) .....	73
II.3.1.4	Stabilité a la ségrégation .....	74
II.3.1.5	Mesure de la teneur en air occlus.....	75
II.3.1.6	Évaluation de la masse volumique sur béton frais.....	75
II.3.2	Tests effectués sur béton durci .....	76
II.3.2.1	Test de la résistance en compression .....	76
II.3.2.2	Tests de la traction par flexion.....	77

II.3.2.3	Évaluation de l'absence de ségrégation .....	77
II.3.2.4	Essai de retrait .....	78
II.3.2.5	Absorption d'eau capillaire.....	79
II.4	CONCLUSION.....	81

### **Chapitre III OPTIMISATION DE LA COMPOSITION DU BAP EFFET DU DIAMETRE MAXIMUM DE GROS GRANULATS ET DU RAPPORT (G/S)... 83**

III.1	INTRODUCTION .....	86
III.2	FORMULATION ET OPTIMISATION DU BAP SANS FIBRES.....	87
III.2.1	Caractéristiques visées du BAP (pour un béton d'ouvrage).....	87
III.3	PREMIERE PARTIE : Optimisation de la composition du BAP avec rapport gravier-sable (G/S) fixe et égale à 1 et Dmax variable (12 – 16 et 20) mm... 87	
III.3.1	Compositions des BAP.....	87
III.3.2	Résultats de la variation de Dmax sur les propriétés BAPR à son état frais .....	88
III.3.2.1	Étalement au cône d'Abrams.....	88
III.3.2.2	Sur le temps d'écoulement T500 .....	89
III.3.2.3	Concernant la stabilité a la ségrégation .....	90
III.3.2.4	Sur la fréquence de remplissage L-Box .....	91
III.3.3	Effet du Dmax sur les propriétés des BAP à l'état durci (la résistance en compression).....	91
III.3.4	Conclusion de la première partie .....	92
III.4	DEUXIEME PARTIE : Optimisation de la composition des BAP variation du rapport G/S (1 – 1,6 et 2) .....	93
III.4.1	Compositions des BAP.....	93
III.4.2	Résultats sur l'effet du rapport G/S sur les propriétés des BAP à l'état frais.....	94
III.4.2.1	Étalement au cône d'Abrams .....	94
III.4.2.2	Sur le temps d'écoulement T500 .....	95
III.4.2.3	Sur la stabilité au tamis .....	96
III.4.2.4	Sur la fréquence de remplissage la L-Box.....	96
III.4.3	Effet du rapport G/S sur les BAP à l'état durci .....	97
III.4.4	Conclusion de la seconde partie .....	98
III.5	CONCLUSION.....	99

<i>CHAPITRE IV INFLUENCE DU DOSAGE ET DE LA LONGUEUR DES FIBRES DE PALMIER DATTIER SUR LES PROPRIETES DES BAP A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI</i> .....	101
<i>IV.1 INTRODUCTION</i> .....	103
<i>IV.2 ÉLABORATION DES BAP</i> .....	106
<i>IV.3 PREMIERE PARTIE : INFLUENCE DU DOSAGE EN FIBRES SUR LES PROPRIETES DES BAP A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI POUR UNE LONGUEUR DE FIBRES DE 12 mm</i> .....	107
IV.3.1 EFFETS DU DOSAGE EN FIBRES SUR LES CARACTERISTIQUES DES BAP À L'ÉTAT FRAIS .....	107
IV.3.1.1 L'étalement au cône d'Abrams(SF).....	107
IV.3.1.2 Le temps d'écoulement T500 (viscosité apparente) .....	109
IV.3.1.3 La stabilité au tamis .....	110
IV.3.1.4 Le taux de remplissage L-BOX .....	111
IV.3.1.5 La teneur en air occlus .....	112
IV.3.1.6 La masse volumique apparente des bétons à l'état frais .....	113
IV.3.2 EFFET DES FIBRES DE POLYPROPYLENE ET DE PALMIER DATTIER SUR LES PROPRIÉTÉS DES BAP A L'ÉTAT DURCI	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3.2.1 Résistance en compression et la cinétique de durcissement des BAP fibrés.....	115
IV.3.2.2 Analyse des résultats sur la résistance en traction par flexion ....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.3.2.3 Analyse des résultats sur le retrait et la perte de masse .....	123
IV.3.2.4 Analyse des résultats sur l'absorption d'eau capillaire.....	125
<i>IV.4 DEUXIEME PARTIE : INFLUENCE DE LA LONGUEUR ET DU DOSAGE DES FIBRES DE PALMIER DATTIER SUR LES PROPRIETES DES BAP A L'ETAT FRAIS ET A L'ETAT DURCI</i> .....	<b>Erreur ! Signet non défini.</b>
IV.4.1 Effect de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP à l'état frais .....	128
IV.4.1.1 Analyse des résultats sur l'étalement.....	128
IV.4.1.2 Analyse des résultats sur le T500 .....	129
IV.4.1.3 Analyse des résultats sur le taux de remplissage (H2/H1).....	130
IV.4.1.4 Analyse des résultats sur la stabilité a la ségrégation .....	131
IV.3.1.5. Impact de la longueur des fibres de palmier dattier sur la teneur en air occlus .....	132
IV.4.2 Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur les propriétés des BAP à l'état durci.....	135
IV.4.2.1 Analyse des résultats sur la résistance en compression et la cinétique de durcissement des BAP.....	135
IV.4.2.1 Résultats sur la cinétique de durcissement.....	138

IV.4.2.2 Analyse des résultats sur la résistance en traction par flexion.....	142
IV.4.2.3 Analyse des résultats sur le retrait .....	146
IV.4.2.4 Analyse des résultats Absorption d'eau capillaire .....	147
<b>IV.5 CONCLUSION.....</b>	<b>150</b>

## *Liste des figures*

---

Figure I-1. Mesure de l'affaissement d'un béton vibré. ....	26
Figure I-2. Mesure de l'étalement pour un béton autoplaçant. ....	26
Figure I-3. Structure d'une pâte de ciment a) floculée (sans superplastifiant); b) dispersée (avec superplastifiant) (Nathalie Otis 2000). ....	29
Figure I-4. Retrait mesuré sur BAP et BV de même classe de résistance (Benkechkache and Houari 2009). ....	33
Figure I-5. Le lin en plante et en fibres. ....	35
Figure I-6. Le chanvre en Plante et en fibres. ....	36
Figure I-7. Plante et fibres de Diss (El Kala, Algérie) (Walid 2015). ....	36
Figure I-8. L'alfa en fibres et en plante. ....	37
Figure I-9. Le palmier dattier en plante et en fibres. ....	37
Figure I-10. Illustration représentative du palmier. ....	38
Figure I-11. Coupe transversale d'une de palmier dattier vue au MEB (Sbiai 2011). ...	38
Figure I-12. Contribution des fibres sur l'étalement des BAP (fibre de Diss et Fibre de polypropylène) (Walid 2015). ....	42
Figure I-13. Flux du mortier renforcé de fibres de lin (Le Hoang 2013). ....	42
Figure I-14. Impacte des fibres de Diss et de polypropylène sur la résistance en compression des BAP. ....	43
Figure I-15. Impacte des fibres de Diss et d polypropylènes sur la résistance en compression des BAP.). ....	44
Figure I-16. Analyse de la courbe en flexion d'un mélange de pâte de ciment et d'un composite à base de fibres végétales (Leick, S et al. 2010).. ....	45
Figure I-17. Impact du taux de fibrage du lin sur la résistance en flexion des mortiers (Tung, LH et al. 2012). ....	46
Figure I-18. Influence de la taille des fibres de lin sur la résistance en flexion des mortiers (Le Hoang, T. et al. 2012). ....	46
Figure I-19. Illustration de l'interaction des fibres avec la formation des fissures dans un matériau composite (Fritih 2009). ....	47
Figure I-20. Impact des fibres (métalliques) sur le retrait d'un BAP. ....	48
Figure I-21. Porosité ouverte. (Walid 2015). ....	49
FIGURE II- 1. Diagrammes granulométriques des granulats. ....	64
Figure II- 2. Les Polypropylènes. ....	64
Figure II- 3. Méthodes d'élaboration des fibres de Palmier Dattier (Derdour, Behim et al. 2023). ....	66
Figure II- 4. Analyse du diamètre des fibres de palmier dattier au microscope optique. ....	66
Figure II- 5. Mesure du diamètre de la fibre de palmier en utilisant le microscope optique. ....	67
Figure II- 6. Observation au microscope électronique à balayage de fibre de palmiers. ....	67

Figure II- 7. Évaluation de l'absorption d'eau. ....	68
Figure II- 8. Absorption d'eau par les fibres de palmier dattier. ....	69
Figure II- 9. Équipement de chargement employé pour l'expérimentation de traction de fibres palmiers dattiers. ....	70
Figure II- 10. Courbe de traction de fibre de palmiers dattiers. ....	70
Figure II- 11. Essai d'étalement au cône d'Abrams (NF-EN-206-9 2010). ....	71
Figure II- 12. Aspects des BAP observable lors de l'essai d'étalement. ....	72
Figure II- 13. La boîte en pour l'essai du pouvoir de remplissage des bétons autoplaçants (NF-EN-12350-10 2010). ....	73
Figure II- 14. Essais du pouvoir de remplissage (la boîte en L). ....	73
Figure II- 15. Essais de stabilité à la ségrégation (NF-EN-12350-11 2010). ....	74
Figure II- 16. Évaluation de la quantité d'air occlus dans le béton à l'aide du manomètre. ....	75
Figure II- 17. Mesure de la masse volumique réelle. ....	75
Figure II- 18. Presses de compression hydrauliques ....	76
Figure II- 19. Préservation des échantillons de compression, de traction par flexion et d'absorption d'eau par capillarité. ....	76
Figure II- 20. Presses hydrauliques de traction/flexion. ....	77
Figure II- 21. Phénomène de ségrégation dans le béton (Bensebti Salah Eddine 2008). ....	77
Figure II- 22. Etalonnage de l'appareil. ....	78
Figure II- 23. Mesure du retrait. ....	78
Figure II- 24. Conservations des éprouvettes pour essais de retrait. ....	78
Figure II- 25. Conservation dans les dessiccateurs (remplit de Silica-gel). ....	79
Figure II- 26. Principe fondamental de l'essai d'absorption d'eau capillaire. ....	79
Figure II- 27. Dispositif de l'essai d'absorption d'eau capillaire. ....	80
Figure III- 1. Effet du D max sur l'étalement des BAP. ....	88
Figure III- 2. Effet du Dmax sur le temps d'écoulement le T500 des BAP. ....	89
Figure III- 3. Impact du Dmax sur la stabilité a la ségrégation des BAP. ....	90
Figure III- 4. Contribution du Dmax sur le taux de remplissage. ....	91
Figure III- 5. Effet du D max sur la résistance en compression. ....	92
Figure III- 6. Le ressuage et la ségrégation semblent être visibles lors de l'essai d'étalement sur le BAP2 avec ( $G/S = 2$ et $D_{max} = 16\text{mm}$ ). ....	93
Figure III- 7. Blocage des granulats au niveau des barres de la boîte en L du BAP2 avec ( $G/S = 2$ et $D_{max} = 16\text{mm}$ ). ....	93
Figure III- 8. Effet du rapport G/S sur l'étalement des BAP. ....	94
Figure III- 9. Effet du rapport G/S sur le temps d'écoulement. ....	95
Figure III- 10. Contribution du G/S sur la stabilité a la ségrégation des BAP. ....	96
Figure III- 11. Effet du rapport G/S sur la fréquence de de remplissage des BAP. ....	97
Figure III- 12. Effet du rapport G/S sur la résistance en compression des BAP. ....	98
Figure IV- 1. BAP R. ....	104
Figure IV- 2. BAP P12. ....	104
Figure IV- 3. BAP D12. ....	104
Figure IV- 4. Mise en place des moules. ....	106

Figure IV- 5. L'impact du dosage en fibres sur l'étalement des BAP.....	108
Figure IV- 6. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le temps d'écoulement.....	109
Figure IV- 7. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la stabilité au tamis. ....	110
Figure IV- 8. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur le taux de remplissage.....	111
Figure IV- 9. Essai du L-BOX pour un dosage en fibre de 1200 g/m <sup>3</sup> .....	112
Figure IV- 10. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la teneur en air occlus. ....	113
Figure IV- 11. Effet du dosage en fibres de longueur de 12 mm sur masse volumique apparente des BAP. ....	114
Figure IV- 12. Effet du dosage en fibres de longueur de 12 mm sur masse volumique apparente des BAP. ....	115
Figure IV- 13. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en compression.....	116
Figure IV- 14. Effet du taux en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.....	117
Figure IV- 15. Effet du taux en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.....	117
Figure IV- 16. Effet du taux en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.....	118
Figure IV- 17. Effet du dosage en fibres (12 mm) relative a la résistance en traction par flexion. ....	119
Figure IV- 18. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 2 jours.....	120
Figure IV- 19. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 7 jours.....	120
Figure IV- 20. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 14 jours.....	121
Figure IV- 21. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 28 jours.....	121
Figure IV- 22. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 90 jours.....	122
Figure IV- 23. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 365 jours.....	122
Figure IV- 24. Impact du dosage en fibres sur le retrait.....	123
Figure IV- 25. Effet du taux en fibres sur la perte de masse des BAP. ....	124
Figure IV- 26. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP. ....	125
Figure IV- 27. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP à t = 24 heure. ....	126
Figure IV- 28. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 600 g/m <sup>3</sup> . ....	127
Figure IV- 29. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 900 g/m <sup>3</sup> . ....	127
Figure IV- 30. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 1200 g/m <sup>3</sup> . ....	128
Figure IV- 31. Effet de la taille des fibres de palmier dattier sur l'étalement.....	129
Figure IV- 32. Impact de longueur en fibres de palmier dattier sur le T500 (temps d'écoulement).....	130
Figure IV- 33. Effect de la longueur des fibres de palmier dattier sur le pouvoir de remplissage (H2/H1). ....	131
Figure IV- 34. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la stabilité à la ségrégation.....	132
Figure IV- 35. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la teneur en air occlus.....	133

Figure IV- 36. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la masse volumique apparente. ....	134
Figure IV- 37. Effet de la longueur des fibres de palmier dattier sur la masse volumique apparente. ....	135
Figure IV- 38. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression. ....	136
Figure IV- 39. Influence de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression. ....	137
Figure IV- 40. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression. ....	137
Figure IV- 41. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression (1200gr/m <sup>3</sup> ). ....	138
Figure IV- 42. Effet du dosage et de la longueur des fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement des BAP. ....	138
Figure IV- 43. Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	139
Figure IV- 44. Impact de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	139
Figure IV- 45. Impact de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	140
Figure IV- 46. Impact du dosage en fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	141
Figure IV- 47. Impact du dosage en fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	141
Figure IV- 48. Impact du dosage et de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP. ....	142
Figure IV- 49. Impact du dosage et de la longueur de fibres sur la résistance en flexion. ....	143
Figure IV- 50. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 2 jours. ....	144
Figure IV- 51. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 7 jours. ....	144
Figure IV- 52. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 14 jours. ....	145
Figure IV- 53. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 28 jours. ....	145
Figure IV- 54. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion 90 jours. ....	145
Figure IV- 55. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 365 jours. ....	147
Figure IV- 56. Impact de longueur de fibres sur le retrait des BAP fibrés. ....	148
Figure IV- 57. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP. ....	148
Figure IV- 58. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 600 g/m <sup>3</sup> . ....	149
Figure IV- 59. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 900 g/m <sup>3</sup> . ....	149
Figure IV- 60. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 1200 g/m <sup>3</sup> . ....	149

# Liste des tableaux

---

Tableau I-1. Principaux essais réalisés sur le BAP à l'état frais. ....	31
Tableau I-2. Classification des fibres Examiné par (Carmaro 2005). ....	34
Tableau I-3. Capacité des fibres végétales à absorber l'eau.....	39
Tableau I-4. Spécificités de quelques types de fibres. ....	39
Tableau I-5. Les composants chimiques de quelques fibres (Saad 2013). ....	40
Tableau II- 1. Caractéristiques chimique du ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud 2023). ....	61
Tableau II- 2. Composition minéralogique du clinker et composition du Ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud 2023). ....	61
Tableau II- 3. Caractéristiques physiques du ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud 2023). ....	61
Tableau II- 4. Analyses chimiques des fillers calcaire (Laboratoire-SNC-BEXCAR BENBRAHIM 2022). ....	62
Tableau II- 5. Caractéristiques physiques des fillers calcaire.....	62
Tableau II- 6. Les propriétés physiques et chimiques du plastifiant (Plastifiant viscocrete-3045 2021). ....	62
Tableau II- 7. Propriétés des granulats employés dans cette étude.. ....	63
Tableau II- 8. Étude technique des fibres de polypropylène employer dans cette étude (Sika fibre Fiche technique 2020). ....	65
Tableau II- 9. Analyse chimiques des fibres de palmiers dattiers (Brundtland 1988). ....	65
Tableau II- 10. Propriétés des fibres de palmier dattier.....	71
Tableau III- 1. Compositions du BAPR avec G/S = 1 et Dmax variable. ....	88
Tableau III- 2. Compositions des BAP avec Dmax = 16 et G/S variable. ....	94
Tableau IV- 1. Désignation de BAP.....	103
Tableau IV- 2. Les compositions des BAP d'études fibré. ....	104
Tableau IV- 3. Les composants des BAP fibrés.....	105
Tableau IV- 4. Compositions des BAP avec fibre de polypropylènes et de palmier dattier avec un dosage de (600, 900, 1200) gr/m3 et (12, 20,30) ....	105
Tableau IV- 5. Mesure optimale de l'autoplaçance en fonction du type et du dosage de fibres. ....	150

# **INTRODUCTION GÉNÉRALE**

## INTRODUCTION GÉNÉRALE

Le développement du béton à l'échelle industriel a conduit à la découverte des bétons autoplaçants (BAP), qui se caractérisent par une mise en place sous le seul effet de la pesanteur sans recours à aucune vibration même dans le cas des espacements très faibles entre armatures.

A cet effet, pour pouvoir répondre à cette propriété d'écoulement, la composition d'un BAP doit être soigneusement mise au point afin d'aboutir à un béton autoplaçant caractérisé par une grande fluidité et une stabilité pendant et après le coulage. Pour satisfaire cette exigence un certain nombre de critères sont recommandés notamment la limitation de la dimension maximale des granulats ( $D_{max}$ ), la réduction du volume des gros granulats en respectant une valeur optimale du rapport gravier/sable (G/S) et l'emploi d'un volume de pâte conséquent.

Les bétons autoplaçants sont soumis au phénomène de retrait plus que les bétons ordinaires en raison du volume de pâte important qu'ils renferment.

L'utilisation de fibres dans le béton permet de conférer une meilleure résistance à la propagation de la fissuration, de réduire la fragilité du matériau, d'améliorer les résistances à la traction, à la flexion et aux chocs ainsi que l'amélioration de la ductilité (Fokam, C et al. 2020) (Le Roy 1996).

L'incorporation des fibres (non structurales) dans les matériaux à matrice cimentaire est justifiée, justement, par la maîtrise de la fissuration précoce résultant du retrait plastique. C'est dans cette optique que nous avons introduit les fibres dans la composition du BAP.

Les fibres utilisées dans cette étude sont les fibres de polypropylène comme fibre témoin et les fibres végétales de palmier dattier très peu exploitées malgré leur abondance sous forme de déchets, comme fibre d'étude.

Les fibres végétales sont disponibles localement, renouvelables, moins polluantes (Sellami, A et al. 2013; Boutarfa 2018) et nécessitent peu d'énergie pour leur transformation par rapport aux fibres synthétiques (Baley 2005; Biskri, Benzerara et al. 2022). Le renforcement des mortiers et bétons par des fibres remonte au début du 19<sup>ème</sup> siècle (Brandt 2008) et l'utilisation des fibres végétales dans ces matériaux remonte aux années soixante-dix du XIX<sup>ème</sup> siècle, lorsque les premiers travaux visaient à remplacer la fibre d'amiante dans les éléments préfabriqués (Aziz, MA et al. 1981). Depuis, beaucoup d'études ont été menées sur l'utilisation des fibres végétales dans la

matrice cimentaire (Agopyan, V et al. 2005; Tonoli, G et al. 2010). Ces travaux s'inscrivent dans le contexte du développement durable et sont encouragés par le rapport Brundtland (Brundtland 1988) sur la préservation des ressources naturelles non renouvelables. Les fibres naturelles les plus étudiées, dans le but de remplacer les fibres synthétiques dans les bétons et mortiers sont le lin (lin) (Joshi, Drzal et al. 2004; Dittenber and GangaRao 2012), bambou (Sudin and Swamy 2006), noix de coco (Ghavami, Toledo Filho et al. 1999; Savastano, Jr et al. 1999) et les fibres de chanvre (Ghosn, Cherkawi et al. 2020). D'autres fibres naturelles ont également été étudiées, notamment la paille, le sisal, le jute, la bagasse...etc. (Daniel, Ahmad et al. 2002; Mehrzad, Taban et al. 2022).

En Algérie, les études sur l'utilisation des fibres végétales dans les bétons et mortiers sont récentes. Ces travaux concernant les fibres végétales disponibles en Algérie telles que le Diss (Sellami, A et al. 2013; Boutarfa 2018; Benzerara, Guihéneuf et al. 2021), l'Alfa (Kriker, A et al. 2005; Boutarfa 2018; Messas, Achoura et al. 2022) et le palmier dattier (Boutarfa 2018; Benzerara, Guihéneuf et al. 2021; Ziane, Khelifa et al. 2021).

Le nombre de palmiers dattiers de différentes espèces est estimé à 18 millions de pieds en Algérie, cultivés sur une superficie de 165 000 hectares (Benzerara, Guihéneuf et al. 2021), générant plus de 200 tonnes de déchets mis en décharge ou brûlés (Benzerara, Guihéneuf et al. 2021; Ziane, Khelifa et al. 2021).

Les fibres de palmier dattier sont caractérisées par une résistance à la traction de 80-200 MPa, un module d'Young de 2-10 GPa et un allongement de 2-10 mm (Okamura, H et al. 1995; Boutarfa 2018; Fokam, C et al. 2020; Ziane, Khelifa et al. 2021). Les fibres végétales en général ont un pouvoir d'absorption d'eau important.

L'objectif de cette étude est la valorisation de la fibre de palmier dattier comme renfort dans les bétons autoplaçants. Il s'agit de remplacer la fibre de polypropylène traditionnellement utilisé.

A cet effet le travail est structuré en une introduction générale, quatre chapitres et une conclusion générale

**Le chapitre 1 :** Traite de l'état de l'art et il est divisé en trois parties :

- La première partie Traite des généralités et des notions sur le béton autoplaçant (BAP) : Constituants, méthodes de formulation et propriétés.
- La seconde partie comporte des notions sur les fibres végétales et plus en particulier les fibres de palmier dattier.

- La troisième partie concerne les bétons autoplaçants fibrés: l'influence des fibres sur le béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci.

**Le chapitre 2 :** Dans ce chapitre nous présentons les caractéristiques des constituants entrant dans la composition des bétons autoplaçants (Granulats, ciment, additions minérales, adjuvants, eau et fibres), sur lesquelles s'appuie notre étude.

Nous avons aussi développé dans ce chapitre, les protocoles expérimentaux, comportant les essais de caractérisation des BAP à l'état frais, notamment par l'étalement au cône d'Abrams, le temps d'écoulement la boîte en L et la stabilité au tamis ainsi que la teneur en air occlus et la masse volumique apparente.

Des essais mécaniques et physiques ont été réalisés sur le béton à l'état durci aux échéances fixées préalablement (essais de compression, de traction par flexion, de retrait et d'absorption d'eau capillaire).

### **Le chapitre 3**

Dans ce chapitre nous présentons la méthode de formulation et les compositions des BAP non fibrés, ainsi que les résultats préliminaires obtenus, à l'état frais, à l'état durci.

Ce chapitre est composé de deux parties :

- **La première partie** consiste à formuler et optimiser la composition d'un BAP de référence sans fibre en optimisant la grosseur du  $D_{max}$  et de rapport gravier/sable (G/S).

Le béton autoplaçant de référence sans fibres (BAPR) sert uniquement d'approche pour formuler les bétons fibrés.

- **La deuxième partie** comprend l'introduction des fibres de polypropylène (P) comme fibre témoin et les fibres de Palmier Dattier (D) comme fibre d'étude dans la composition optimisée du BAP de référence avec trois dosages (600 – 900 et 1200 (g/m<sup>3</sup>) et une seule longueur de 12 mm pour les deux fibres

### **Le chapitre 4**

Ce chapitre comprend la présentation, l'exploitation et l'explication des effets de l'introduction des fibres végétales de palmier dattier sur les propriétés des bétons autoplaçants.

Ce chapitre est structuré en deux parties :

- **Première partie** : Synthèse des résultats obtenus sur l'effet du dosage en fibres végétales et synthétiques de longueur fixe égale à 12 mm sur les propriétés des BAP à l'état frais et à l'état durci

- **Deuxième partie** : les résultats obtenus sur l'effet de la longueur et du dosage des fibres végétales sur les propriétés des BAP, à l'état frais et à l'état durci.

**CHAPITRE I**

**ETAT DE L'ART SUR LES BETONS  
AUTOPLAÇANTS SANS FIBRES ET AVEC  
FIBRES VEGETALES**

## **I.1 INTRODUCTION**

Ce chapitre est consacré à une synthèse bibliographique sur les bétons autoplaçants, les bétons autoplaçants renforcés avec des fibres végétales

Le chapitre I est structuré en trois sections :

- La première section se focalise sur le BAP, sa composition, sa spécificité, sa formulation, les méthodes de classification et ses principales caractéristiques par rapport au béton ordinaire ou vibré.

- La deuxième partie comprend une présentation globale des différentes variétés des fibres végétales et en particulier les fibres provenant du palmier dattier.

- Au cours de la troisième partie de cette section, nous abordons l'utilisation des fibres végétales sur BAP l'état frais et durci.

## **I.2 Le BAP**

### **I.2.1. Présentation et spécificités des BAP**

Le BAP est un matériau qui s'installe grâce à son propre poids sans vibration. Cette proposition a été initialement avancée par des chercheurs de l'université de Tōkyō en 1988 par (Okamura, H et al. 2003), dans le but de réduire les actions liées à la vibration.

Les bétons autoplaçants « BAP » sont donc différents des bétons vibrés, grâce leur très grande fluidité à tel point que pour mesurer leur ouvrabilité, on ne mesure pas d'affaissement comme pour les bétons vibrés mais on mesure un étalement. Cette propriété leur permet de se mettre en place à travers des structures fortement ferrillées tout en restant à la fois stable et homogène (Sedran, T et al. 1999) (Turcry, P et al. 2003).



Figure I-1. **Mesure de l'affaissement d'un béton ordinaire.**



Figure I-2. **Mesure de l'étalement pour un BAP.**

## **I.2.2. Les composants des BAP**

Le BAP est un matériau composite similaire au béton classique, composé presque des mêmes composants que le béton vibré : de granulats (artificiels ou recyclés ou naturels), de ciment, d'eau, d'addition et de superplastifiant.

### ***I.2.2.1. Le ciment***

Le ciment est un liant hydraulique finement moulu et ajouté à l'eau, formant ainsi une pâte qui se tient et durcit, tout en préservant sa solidité et sa stabilité même dans l'eau.

L'emploi du ciment dans le BAP obéit aux mêmes exigences en termes de classe de résistance et des caractéristiques chimiques et physiques que ceux généralement utilisés pour le béton classique.

Le ciment employé dans la fabrication d'un béton autoplaçant doit satisfaire à la norme Algérienne (NA-16002 2007).

### ***I.2.2.2. Les granulats***

Les granulats se composent d'une combinaison de graviers, sables, et de gravillons, qu'ils soient naturel concassés.

Il est possible d'obtenir des granulats d'origine alluvionnaire en exploitant les gisements de sables et de graviers (sédiments déposés par les eaux), qu'elles soient

géologiques ou marines, produits du concassage de roches massives ou de recyclage des produits de déconstruction (issues de béton). Les roches mères varient en fonction des gisements en ce qui concerne leurs natures, leurs formes et leurs caractéristiques, ainsi que les techniques de fabrication.

Les matériaux granulaires employés pour fabriquer du béton ordinaire sont également utilisés pour la fabrication des bétons autoplaçants.

### ***1.2.2.3. L'eau***

L'eau assure deux fonctions importantes dans le béton : il permet l'humidification du ciment et assure la maniabilité du béton par le mouillage de tous les composants. L'eau peut influencer plusieurs propriétés du béton selon les composés et leurs concentrations. C'est pourquoi l'eau doit satisfaire les exigences définies par la norme Algérienne (NA-1966 2009 ), relative à l'eau de gâchage pour béton.

Plusieurs types d'eau peuvent être utilisées pour la fabrication du béton, en particulier les eaux de provenance souterraine (nappe phréatique), les eaux de surface et les eaux provenant de rejets industriels.

Quoi qu'il en soit, l'eau de gâchage du béton doit être analysée et doit satisfaire aux exigences normalisées définies dans la norme (NA-1966 2009 ).

Les eaux de mer peuvent être utilisées uniquement pour la fabrication du béton non armé.

### ***1.2.2.4. Les ajouts minéraux***

Les ajouts au béton sont établis selon la norme européenne (EN-206-01 2004) : une addition est une substance minérale fine et qui peut être ajoutée aux ciments et aux bétons avec l'objectif d'améliorer certaines caractéristiques, ou pour attribuer des caractéristiques spécifiques.

Deux catégories d'additions existent :

- Les ajouts inertes (type I) : Filler calcaire
  - ajouts réactifs (type II)
- ✓ Ayant une apparence pouzzolanique: les fumées de silice, les cendres volantes, les pouzzolanes naturelles,...etc.

- ✓ Ayant un caractère hydraulique dissimulé: laitier granulé de haut fourneau

L'emploi des additions présente plusieurs avantages observés par plusieurs auteurs (Olivier 1993), (Yahia, A et al. 2005) (Zhang, WF et al. 2000) (Ali Boucetta, T et al. 2015), et notamment :

- Améliorent la compacité par effet de remplissage
- Accélèrent le durcissement du ciment par effet de germination hétérogène
- Améliorent la résistance en compression par effet chimique
- Certaines additions peuvent améliorer la maniabilité du béton si leur demande en eau est plus faible que celle du ciment.
- Réduisent le coût du béton
- Réduisent l'exothermie des bétons.

Les additifs les plus couramment employés dans le BAP sont les cendres volantes et le laitier (Sedran, T et al. 1999) et le filler calcaire (Walid 2015),

#### ***1.2.2.5. Les adjuvants***

Afin de concevoir un BAP ayant une très grande fluidité l'utilisation de superplastifiant est nécessaire. Les superplastifiants garantissent la bonne fluidité des BAP tout en maintenant la quantité d'eau équivalente voire inférieure à celle d'un béton classique.

En dispersant les grains du ciment, les superplastifiants s'adsorbent sur la surface des particules fines du ciment, ce qui facilite davantage la défloculation et assure une bonne fluidité.

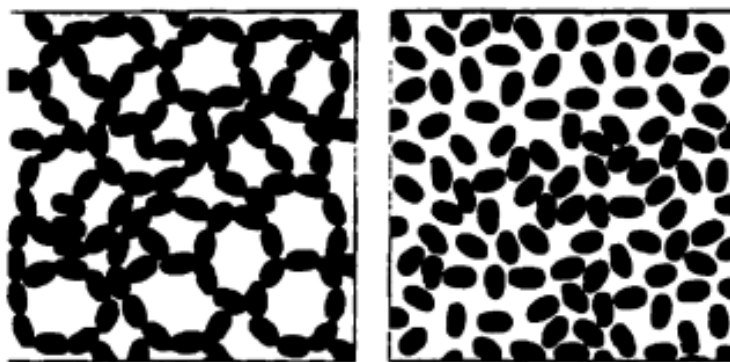


Figure I-3. Structure d'une pâte de ciment a) floculée (sans superplastifiant); b) dispersée (avec superplastifiant) (Nathalie Otis 2000).

### **I.2.3. Approches de formulation pour les BAP**

#### ***I.2.3.1. Eléments essentiels pour la composition des BAP***

La structure essentielle d'un BAP repose sur la réduction du seuil de cisaillement en maintenant une viscosité suffisante, en favorisant le déplacement du matériau et en réduisant les risques potentiels de ressuage ou de ségrégation.

Les composants tels que le sable, le ciment et l'eau employés dans les BAP sont presque identiques à ceux des BO. Les divergences résident dans les points suivants :

- L'emploi d'une addition afin d'augmenter le volume de pâte tout en maintenant la même qualité de ciment.
- Afin de réduire les frictions inter granulaires il est nécessaire de minimiser le diamètre des gros granulats.
- L'emploi d'un superplastifiant.

D'autres critères peuvent être prescrits selon les caractéristiques visés du BAP et ses utilisations.

L'association Française de Génie Civil (AFGC 2010) préconise les paramètres quantitatifs suivants pour aiguiller une bonne formulation de BAP :

- La quantité de gros granulats (G) est réduite par rapport à la quantité de sable (S), de cette façon que le rapport G/S soit proche de 1.
- La quantité de pâte doit être comprise entre 330 à 400 l/m<sup>3</sup>.
- La quantité de ciment utilisée varie de 300 à 350 kg/m<sup>3</sup>.
- La quantité varie entre 120 et 200 (kg/m<sup>3</sup>) pour les additions.
- La mesure du dosage en superplastifiant est réalisée de façon expérimentale jusqu'à dosage à saturation.

Diverses approches ont été développées pour la formulation des BAP. Le concept du béton autoplaçant est basé sur des expériences. Nous présenterons ci-après quelques méthodes de formulation des BAP.

### ***I.2.3.2. Approche fondée sur l'optimisation des Mortier***

Appelée aussi méthode Japonaise proposée par (Okamura, H et al. 1995) s'appuie sur les points suivants :

- La quantité des gros granulats est établie à (50 %) du volume solide.
- La quantité de sable doit constituer 40 % du volume du mortier
- La quantité de superplastifiant doit être optimale.
- Le rapport Eau/Liant (E/L) doit être aussi faible que possible.

Il est nécessaire que la proportion (E/L) et le dosage optimal en superplastifiant (dosage à saturation) doivent être combinés de manière à obtenir une grande ouvrabilité et en même temps une faible viscosité. L'optimisation du dosage en superplastifiant et du rapport E/L sont réalisés de façon expérimentale sur mortier dans le but d'aboutir à une pâte qui satisfait les critères d'autoplaçance.

### ***I.2.3.3. Approche basée sur l'empilement compressible des grains***

Proposé par le LCPC (laboratoire Centrale des Ponts et Chaussées – France), cette méthode se base sur le modèle d'empilement compressible des grains (De Larrard, F et al. 1999). La base de cette méthode repose sur l'évaluation de la compacité potentielle ( $\gamma$ ) d'un mélange de grains, qui est définie comme la compacité maximale qu'on pourrait obtenir, en supposant de façon idéale l'organisation des différents grains. En pratique, les grains sont entassés de façon indéterminée.

En fournissant les données conformément à un cahier des charges du BAP ainsi que les valeurs des coefficients de compacité des granulats obtenus grâce au modèle d'empilement compressible, dans le logiciel Béton lab Pro3. (De Larrard, F et al. 1999), ont obtenu une formulation de BAP projetée.

## **I.2.4. Approches pour évaluer les bétons autoplaçants à l'état frais**

Le béton autoplaçant possède une particularité différente de celle du béton classique à l'état frais, en raison de son caractère très fluide. A cet effet, l'ouvrabilité et la stabilité constituent des propriétés essentielles qui doivent être vérifiés avant la validation de la composition d'un BAP.

Il existe une multitude d'essais permettant la qualification d'un BAP, Nous présenterons de manière succincte le principe et les valeurs limites standardisées. Les essais employés dans ce travail seront présentés en détail dans le chapitre II.

Les principaux essais normalisés permettant de qualifier un BAP sont résumés dans le (Tableau I-1).

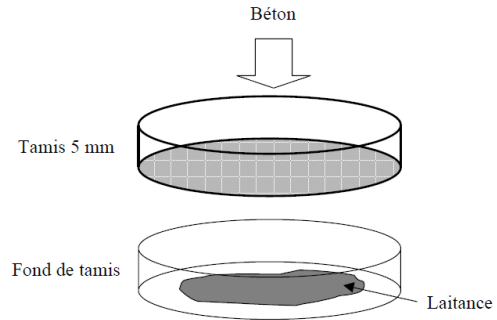
Table I-1. Principaux essais réalisés sur le BAP à l'état frais.

Essai	Valeurs normalisées	Dispositif
<p><b>Etalement au cône d'Abrams, mm</b>  <b>et</b>  <b>T<sub>500</sub>, secondes</b>  <b>(EN-12350-08 2010)</b></p>	<p>SF1 : 550 - 660                      SF2 : 660 - 750                      SF3 : 750 - 850</p> <p>VS1 ≤ 2                      VS2 ≥ 2</p>	
<p><b>l'entonnoir en forme V, secondes</b>  <b>(EN-12350-09 2010)</b></p>	<p>VF1 &lt; 9                      9 ≥ VF2 ≤ 25</p>	
<p><b>Taux de remplissage dans la boîte en L, %</b>  <b>(EN-12350-10 2010)</b></p>	<p>PL1 ≥ 0.8                      PL2 ≥ 0.8</p>	

**Stabilité au tamis, %.**  
(EN-12350-11 2010)

$$SR1 \leq 20$$

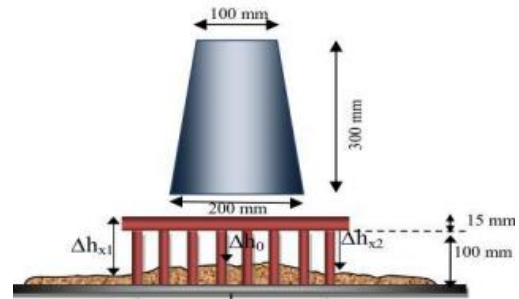
$$SR2 \leq 15$$



**Étalement J- Ring,**  
**mm.**  
(EN-12350-12 2010)

$$PJ1 \leq 10$$

$$PJ2 \leq 10$$



## I.2.5. Propriétés des BAP à l'état durci

### I.2.5.1. Résistance à la compression

En général, les BAP ont une résistance en compression similaire, voire légèrement supérieure à celle des BV pour un même rapport (eau /Liant) selon plusieurs auteurs (Assié 2004), (Domone 2007) et (Klug, Y. et al. 2003).

### I.2.5.2. Retrait

Les BAP sont beaucoup plus sensibles aux phénomènes de retrait que les BO, en raison du volume de pâte élevée qu'ils contiennent, ce qui a été montré par plusieurs auteurs (Benkechkache, G et al. 2010), (Bensalem, S et al. 2014), (Hanasaki, N et al. 2010), et (El-Fodil 2009).

Il a été montré par (Benkechkache, G et al. 2010) que le retrait d'un BAP est plus élevé que celui d'un BV de la même classe de résistance. (Figure I-4) (Benkechkache and Houari 2009).

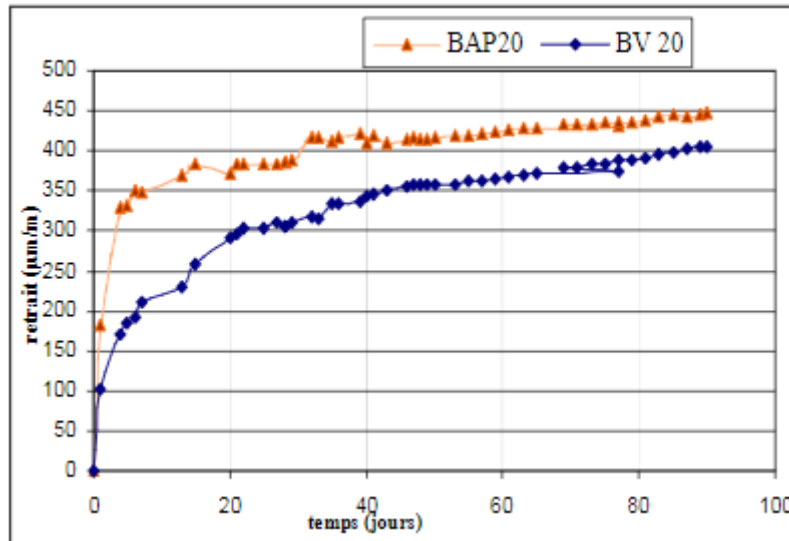


Figure I-4. **Retrait mesuré sur BAP et BV de même classe de résistance (Benkechkache and Houari 2009).**

### ***I.2.5.3. Durabilité***

De nombreux travaux réalisés par (Belaidi, A et al. 2016), (Sideris, KK et al. 2013), et (Bensalem, S et al. 2014) sur la durabilité des BAP ont montré que les BAP ont une relative meilleure durabilité que les BO en raison de l'utilisation de fines, cela entraîne une réduction de la porosité par effet de remplissage, en particulier.

Les caractéristiques de transfert sont également impactées par la réduction de la porosité. (Siad 2010).

## **I.3 LES FIBRES**

Il est justifié d'intégrer des fibres (fibres non structurales) dans les matériaux à matrice cimentaire afin de maîtriser la fissuration causée par le retrait plastique et d'améliorer certaines propriétés mécaniques, telles que la résistance en flexion et la ductilité (Boghossian, E et al. 2008), (Wang, X et al. 2012), , (Heidarzadeh, A et al. 2016) (Toledo, F et al. 2005), (Barluenga, G et al. 2007), et (Sabry, W et al. 2013).

Les substances fibreuses sont extrêmement diversifiées, Il s'agit de matériaux avec des formes géométriques allongées de différentes nature, des dimensions variés, de diamètre relativement faible par rapport à la longueur. Elles présentent des propriétés mécaniques et physiques différentes.

Le (Tableau I-2) présente une typologie des fibres (Carmaro 2005).

Table I-2. **Classification des fibres Examiné par (Carmaro 2005).**

Eléments de classification	Catégories de fibres
Origine	Naturelle - Animale - Végétale Artificielle - Synthétique - Métallique
Dimensions	- Macro ou micro fibre - Elancement
Caractéristiques mécanique	- Résistance à la traction - Module d'élasticité
Caractéristiques physiques	- Masse volumique - Coefficient d'absorption d'eau

Actuellement, on retrouve des fibres métalliques, de polypropylène et de verre qui sont les plus couramment employées dans la fabrication des bétons. (Matthieu 2022).

### I.3.1. Les fibres végétales

Les fibres végétales étaient largement utilisées dans les matériaux à matrice argileuse. Depuis quelques années leurs applications se sont élargies aux matériaux à matrice cimentaire. Grâce aux différents atouts qu'elles présentent: elles sont disponibles localement en grandes quantités et variétés, renouvelables et économiques (Ramesh, M et al. 2017) et demandent peu d'énergie pour leur fabrication en comparaison avec les textiles artificiels (Baley 2005), (Fokam, C et al. 2020) et (Achour, A et al. 2017) et aussi en raison de leurs propriétés mécaniques.

Les principales fibres végétales actuellement étudiées :

- **La fibre en lin :** (Figures I-5) est une plante exploitée essentiellement en Inde et en Amérique du nord. La tige de lin peut mesurer entre 0,6 et 1,20 mètre de haut et 1 à 3 mm de diamètre. (Morvan, C et al. 2003). Elle est ultra résistante, sa résistance en traction peut atteindre 1335 MPa (Magniont 2010). La fibre de lin a de nombreuses applications spécifiquement dans le béton.



Figure I-5. Le lin en Plante et en fibres.

- **La fibre de chanvre :** (Figure I-6) est une plante qui est généralement répandue en Europe, en Chine et au Canada (Magniont 2010), dispose d'une hauteur de 1-3 m (Hamzaoui, R et al. 2014). Le chanvre est exploité dans diverses applications à titre d'exemple le renforcement des bétons, la confection du papier ; etc. Cette plante appelée « La chènevotte » est utilisée pour fabriquer des granulats. La résistance à la traction de la fibre de chanvre est assez élevée, de l'ordre de 600 à 1100 MPa (Magniont 2010), ce qui en fait une ses qualités principales.



Figure I-6. Le chanvre en Plante et en fibres.

- **Fibre en Diss :** (Figure I-7) scientifiquement appelée « ampéloidesmos mauritanicus » représente une végétation qu'on trouve beaucoup plus dans le bassin méditerranéen en particulier les montagnes en Grèce, en Espagne, et l'Afrique-du-Nord (Sellami, A et al. 2013).



Figure I-7. **Plante et fibres de Diss (El Kala, Algérie)** (Walid 2015).

- **La fibre d'Alfa** (Figure I-8) : la fibre d'Alfa est une plante qui occupe une grande surface en Algérie, estimée à 4 million d'hectares (Rogge 2010). La plante d'Alfa résiste au froid et ne demande pas beaucoup d'eau pour sa culture. On peut trouver cette plante dans des régions chaudes et sèches. L'Alfa se présente sous forme de tiges (Rogge 2010).



Figure I-8. **L'alfa en fibres et en plante.**

- **Fibre de palmier dattier** : (Figure I-9) ou bien (phoenixdactylifera) fait partie des arbres les plus répandus. Le palmier dattier s'étend de l'Afrique du Nord au Moyen-Orient (Kriker, A et al. 2005).



Figure I-9. **Palmier dattier en plante et en fibres.**

### **I.3.2. L'essentiel sur la Fibre de palmier Dattier**

#### ***I.3.2.1. Description du palmier dattier***

Il s'agit d'un palmier de grande taille, mesurant entre 15 et 30 mètres de hauteur, constitué d'un tronc, portant des palmes à feuillées. Les feuilles sont pennées, longues de 4 à 7 mètres (Figures I-10).

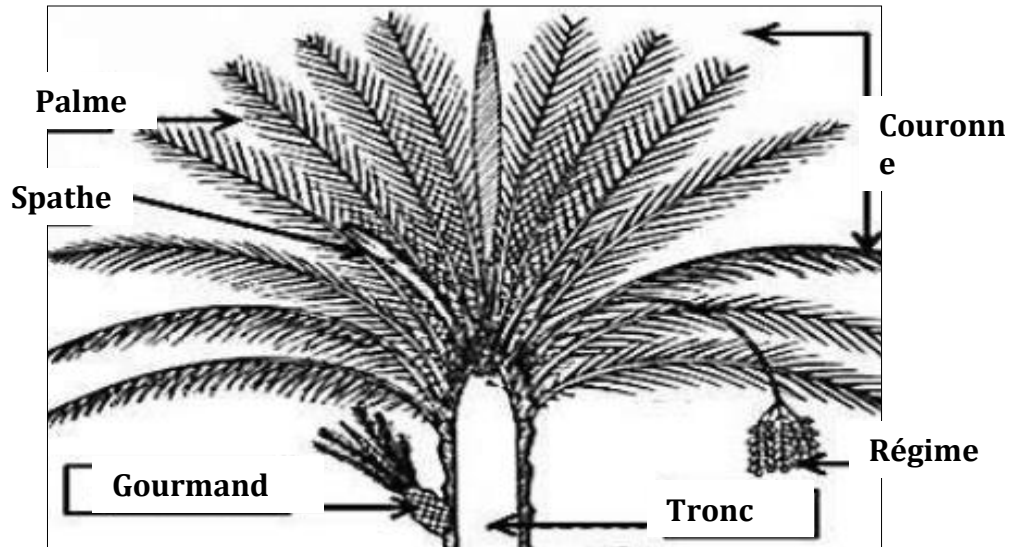


Figure I-10. **Illustration représentative du palmier.**

Le palmier dattier contient quatre principales variétés de fibres en fonction de leur localisation dans le palmier, on peut identifier les fibres de surface, les fibres de tige, les fibres de bois du tronc et les fibres de feuilles.

Divers éléments constitutifs de ces plantes sont abandonnés comme déchets après la récolte du fruit (les dattes). Une faible partie de ces déchets trouve des voies de valorisation, telles que l'artisanat (El-Mously 1997).

#### ***I.3.2.2. Structure physiques des fibres du palmier:***

Les fibres de palmier dattier se distinguent par leur capacité exceptionnelle à absorber l'eau. Effectivement, la microscopie électronique à balayage (MEB) a été utilisée pour étudier la section transversale de la fibre de palmier dattier montre une structure très poreuse (Figure I-11) (Sbiai 2011).

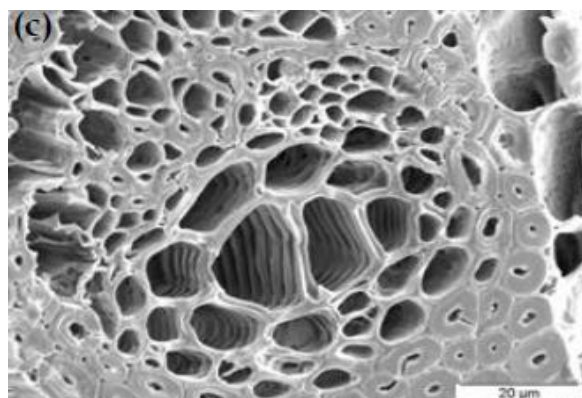


Figure I-11. Coupe transversale d'une de palmier dattier vue au MEB (Sbiai 2011).

Le (Tableau I-3) présente quelques données bibliographiques à titre indicatif sur le pouvoir d'absorption d'eau de fibres végétales. La dispersion des résultats sur la mesure du pouvoir d'absorption d'eau est élevée en relation avec les conditions de croissance des fibres et leur position dans l'arbre.

Table I-3. Capacité des fibres végétales à absorber l'eau.

Fibre	Capacité d'absorption d'eau, %	Référence
Chanvre	158 – 178	(Magniont 2010)
Lin	136 – 152	(Magniont 2010)
Jute	281	(Ramakrishna, G et al. 2005)
Sissal	110	(Savastano, Jr et al. 1999)
Diss	88	(Walid 2015)
Palmier dattier	96 – 202	(Kriker 2005)

### I.3.2.3. Structure mécaniques de fibres du palmier

La résistance en traction des fibres de palmier dattier est intéressante, cependant leur module d'élasticité est plutôt modéré (Kriker, A et al. 2005). Selon la position de la fibre dans le palmier, les fibres ont une résistance en traction qui varie entre 116 à 208 MPa (Abdel-Rahman, HH et al. 1988). Alors que les fibres du cœur ont une résistance en traction à peu près la moitié de celle qui se trouve en surface. De cette façon, les fibres de surface possèdent une capacité de résistance en traction la plus élevée, selon (Kriker, A et al. 2005).

Pour faire une comparaison, le (Tableau I-4) illustre les caractéristiques mécaniques de certaines fibres.

Table I-4. **Spécificités de quelques types de fibres.**

<b>Fibre</b>	<b>Résistance à la traction, MPa</b>	<b>Module d'élasticité, GPa</b>	<b>Allongement à la rupture, %</b>	<b>Référence</b>
<b>Lin</b>	943	51.9	2.4	(Magniont 2010)
<b>Verre</b>	2000 - 3500	80	2 – 3.5	(Magniont 2010)
<b>Polypropylène</b>	450	5	18	(Magniont 2010)
<b>Chanvre</b>	690	30 – 60	1.6	(Dhakar, H et al. 2007)
<b>Diss</b>	100	6 -7	-	(Walid 2015)
<b>Palmier Dattier</b>	300	5,5	8 – 12	(Kriker 2005)

#### ***I.3.2.4. Structure chimiques des fibres du palmier***

Comme les fibres végétales en général, les fibres de palmier sont constituées de trois éléments essentiels: la lignine, la cellulose, l'hémicellulose et autres éléments minoritaires (pectine et cire....) (Matthieu 2022).

- La cellulose est un élément radical qu'on rencontre dans l'ensemble des fibres végétales. Cette substance est un polymère naturel composé de glucose.
- Les hémicelluloses sont une classe de polysaccharides. Elles sont fortement jointes aux micro-fibrilles de cellulose, enveloppant la cellulose. Les hémicelluloses ont un pouvoir élevé d'absorption d'eau.
- Les lignines sont des composés polymères d'hydrocarbures complexes qui donnent de la résistance aux fibres.

Le (Tableau I-5) présente les caractéristiques chimiques de certaines fibres. (Tioua, T et al. 2018), (Saad 2013), et (Merzoud, M et al. 2008).

Table I-5. **Les composants de quelques fibres (Saad 2013).**

<b>Fibre</b>	<b>Cellulose</b>	<b>Hémicellulose</b>	<b>Lignine</b>
<b>Abaca</b>	<b>61 - 64</b>	<b>21</b>	<b>12</b>
<b>Ananas</b>	<b>80 - 81</b>	<b>15.5</b>	<b>8.3</b>
<b>Bagasse</b>	<b>32 - 48</b>	<b>21</b>	<b>20 - 24</b>
<b>Bambou</b>	<b>26 - 43</b>	<b>15 - 26</b>	<b>21 - 31</b>
<b>Chanvre</b>	<b>79 - 92</b>	<b>18 - 22</b>	<b>5 - 10</b>
<b>Jute</b>	<b>51 - 84</b>	<b>12 - 20</b>	<b>9</b>
<b>Sissal</b>	<b>43 - 78</b>	<b>11.5</b>	<b>8</b>
<b>Diss (2)</b>	<b>30 - 40</b>	<b>11</b>	<b>16</b>
<b>Palmier dattier (3)</b>	<b>41 - 45</b>	<b>6 - 10</b>	<b>30 - 40</b>

#### ***1.3.2.5. Les atouts et dommages causés par des fibres végétales***

Les fibres naturelles ont de nombreux bénéfices, dont le plus intéressant est leur pouvoir de renouvellement, qui s'inscrit dans le concept du développement durable par la préservation des ressources naturelles.

On peut citer aussi leur coût de production nécessitant peu d'énergie pour leur production par rapport à des fibres conventionnelles (Vidil 2019).

Les fibres végétales ont aussi des inconvénients, notamment l'hétérogénéité qualitative, si les fibres végétales peuvent être découpées selon la longueur désirée, les autres dimensions (largeur ou diamètre et épaisseur) sont des grandeurs variables pour une même fibre.

La mise en place d'un procédé industriel est nécessaire pour produire des fibres de qualité (Lumingkewas 2015).

## **I.4 LES BÊTONS AUTOPLAÇANTS A BASE DE FIBRES VEGETALES**

### **I.4.1. Contribution des fibres végétales sur les caractéristiques des BAP Fibré à l'état frais**

L'avantage majeur d'un BAP est sa fluidité, or il est connu que l'introduction des fibres végétales dans le béton et dans la même logique le BAP entraîne une perte d'ouvrabilité en raison de leur caractère hydrophile et de l'encombrement

supplémentaire qu'elles engendrent dans la structure granulaire pouvant entraîner un blocage des gros granulats.

La modification des caractéristiques à l'état frais des BAP résulte de divers facteurs tels que, la taille, le volume, l'orientation et la répartition des fibres inclus dans le béton (Sahmaran, M et al. 2007).

Laifa (Walid 2015) montre dans son travail de thèse que l'introduction des fibres entraîne une perte de l'étalement qui s'accroît avec le dosage aussi bien pour le Diss que le polypropylène.

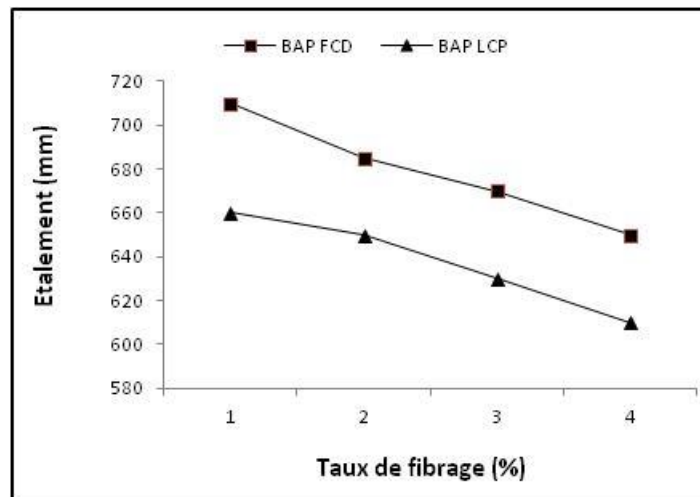


Figure I-12. Contribution des fibres sur l'étalement des BAP (fibre de Diss et Fibre de polypropylène) (Walid 2015).

Selon (Le Hoang 2013) les temps d'écoulement ont été répertoriés en utilisant des mélanges de sable, de ciment et de fibres de lin, il a remarqué que cette durée augmentait en fonction de l'augmentation de la quantité de fibres (Figure 13), à tel point qu'il n'était plus possible de mettre en œuvre le mortier de façon correcte conformément à la norme (NF-P18-452 1988). Le même constat a été observé par (Chafei 2014), (Chafei, S et al. 2012).

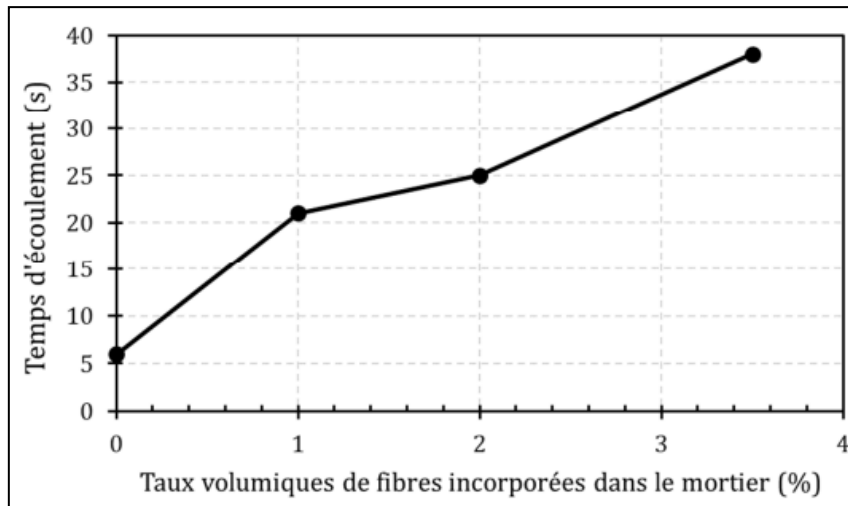


Figure I-13. Flux du mortier renforcé de fibres de lin (Le Hoang 2013).

#### **I.4.2. Influence des composés végétaux sur les propriétés des BAPF à l'état Durci et la durabilité**

L'emploi des fibres végétales dans les bétons autoplaçants offre de nombreux avantages, notamment en accroissant la résistance à la traction par flexion, en réduisant l'ouverture des fissures et l'apport au béton durci et une meilleure ténacité (Ferrara, L et al. 2012).

##### ***I.4.2.1. Impacte et évolution de résistance mécanique par les fibres végétales***

Les fibres employées dans les BAP provoquent une légère diminution des résistances en compression, Ceci a été révélé par (Walid., L et al. 2014). L'ajout des fibres altèrent la compacité du matériau et provoquent la création d'une porosité supplémentaire, particulier à l'interface entre fibre-matrice cimentaire, Cela est en accord avec les résultats trouvés par (El Hilali 2009).

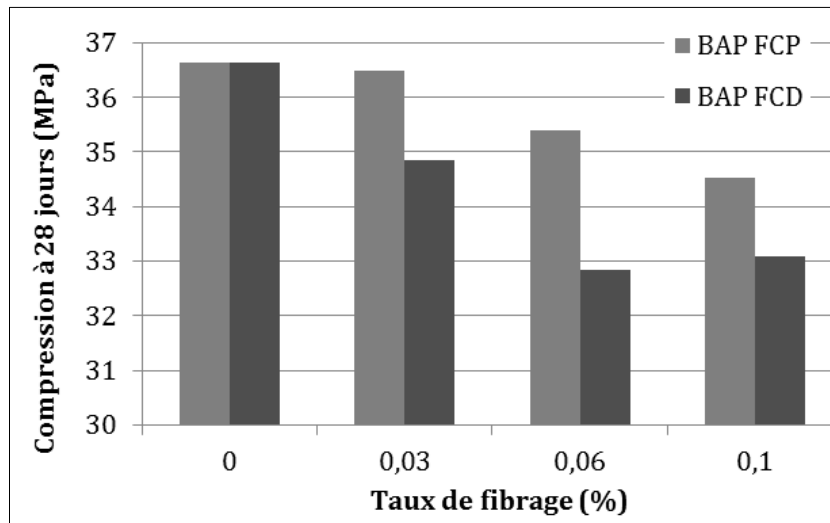


Figure I-14. **Impacte des fibres de Diss et de polypropylène sur la résistance en compression des BAP.**

En revanche, il a été noté une augmentation de la résistance en traction par flexion (Ardanuy, M et al. 2015), (Andrade, S et al. 2010), et (Ahmed 2013).

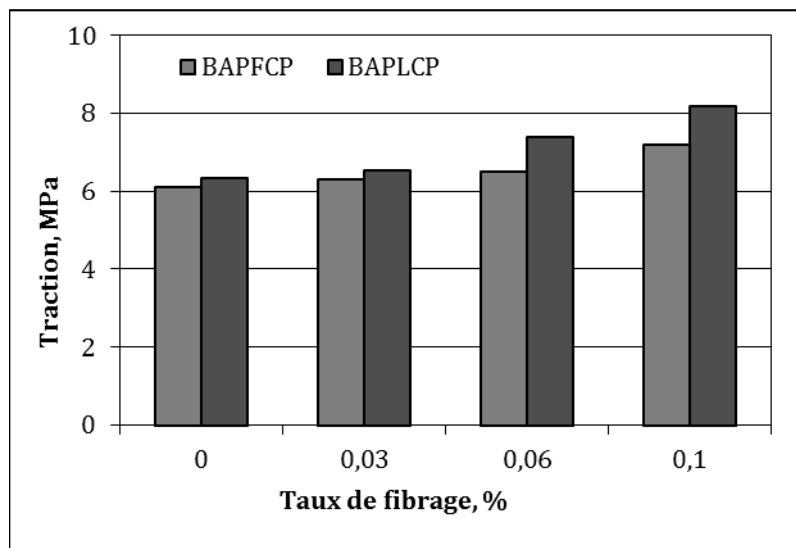


Figure I-15. **Impacte des fibres de Diss et d polypropylènes sur la résistance en compression des BAP.**

Walid (Walid 2015) a exposé la manière dont l'amélioration des résistance du BAP fibré avec du Diss et en comparaison avec la fibre de polypropylène : il a noté que la surface rigoureuse du Diss assuré une meilleure adhérence à la matrice cimentaire comparativement au fibres d polypropylènes.

Selon les recherches menées sur les produits fabriqués à partir de fibres végétales brutes, il est conclu qu'un changement du comportement mécanique du composite. Le ciment sans fibres a un comportement élastique linéaire fragile en flexion, alors que le matériau fibré a un comportement ductile et présente une résistance non négligeable post – rupture (Aziz, MA et al. 1981).

La (Figure I-16) illustre la flexion d'une pâte de ciment et d'une matrice renforcée par des fibres de chanvre.

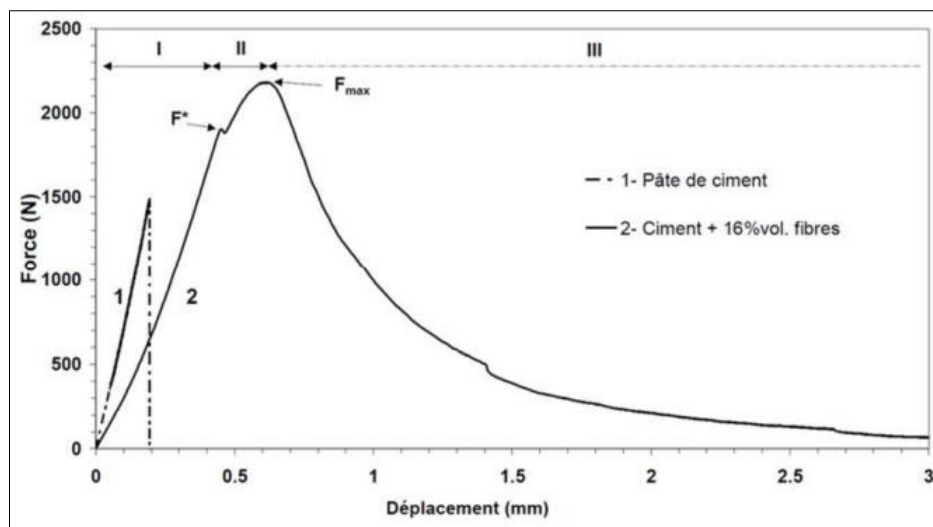


Figure I-16. **Analyse de la courbe en flexion d'un mélange de pâte de ciment et d'un composite à base de fibres végétales (Leick, S et al. 2010).**

(03) Trois zones distinctes sont identifiées par l'auteur (Leick, S et al. 2010) dans le fonctionnement du matériau composite bio fibré:

- La première étape présente un comportement similaire à celui de la pâte de ciment seule.
- Phase II : La matrice présente une première fissure suite à des efforts de ( $F^*$ ), ensuite, les forces sont transmises aux fibres qui reçoivent les efforts. Selon (Sedan, D et al. 2008), on limite également la diffusion de la fissure grâce à un effet de pontage entre les fibres.
- Au cours de la phase III : La charge diminue graduellement dès  $F_{max}$ , contrairement à la pâte de ciment qui se brise brusquement.

L'auteur relate cette étape à une rupture graduelle des connexions entre les fibres et la matrice, puis elles sont dévêtues des fibres. En incorporant des fibres végétales, on observe une légère modification de la charge d'apparition de la première fissure, qui est principalement liée aux caractéristiques de la matrice, en particulier sa déformation ultime. Toutefois, dès l'apparition de l'ouverture initiale, Les fibres sont utilisées pour limiter sa propagation (Aziz, MA et al. 1981).

Tous les auteurs constatent l'évolution d'une matrice fragile vers un composite fibré ductile. Cependant, cette évolution du comportement ne se traduit pas toujours par une augmentation de la résistance en flexion (Kriker 2005).

Les qualités du composite sont principalement influencées par le dosage et de la longueur des fibres (Figure I-17). Dans son étude, Le Hoang a examiné comment les fibres de lin peuvent être utilisées pour renforcer les mortiers de ciment (Tung, LH et al. 2012).

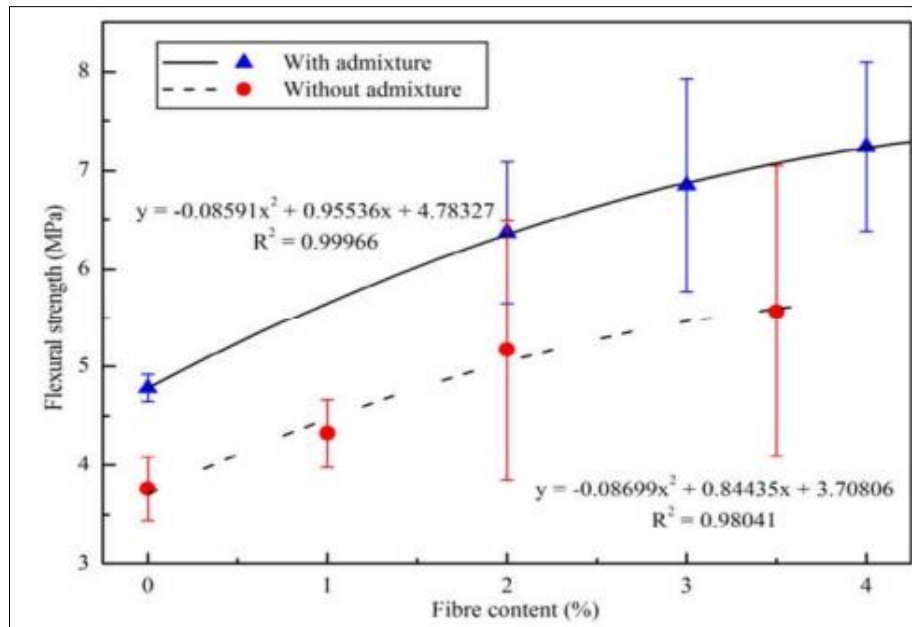


Figure I-17. **Impact du taux de fibrage du lin sur la résistance en flexion des mortiers (Tung, LH et al. 2012).**

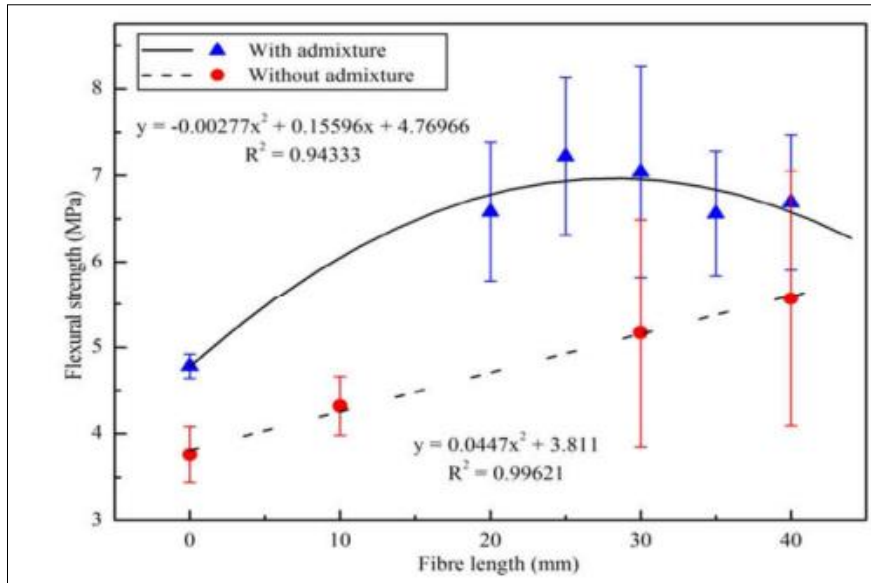


Figure I-18. **Influence de la taille des fibres de lin sur la résistance en flexion des mortiers (Le Hoang, T. et al. 2012).**

#### ***1.4.2.2. Effet des fibres végétales sur le processus de retrait***

Le béton autoplaçant se caractérise par une quantité importante de pâte avec une limitation de la quantité et les dimensions en gros granulats (AFGC 2010). Ceci rend le BAP plus sensible au retrait (Le Roy 1996) et par conséquent à la fissuration. En effet certaines sources bibliographiques (Gram, H-E et al. 1999) et (Turcry, Ph et al. 2006) rapportent que le retrait des BAP dès le plus jeune âge revêt une importance supérieure à celle des bétons classiques. Les fibres végétales ont pour principale fonction de restreindre la propagation de la fissuration. (Kriker, A et al. 2005).

(Fritih 2009) Explique le mécanisme de fissuration comme suit : trois phases distinctes sont mentionnés dans la (Figure I-19), La première phase consiste à observer la formation de microfissures qui commencent à se développer très tôt, en général, dans des endroits où la résistance mécanique est plus faible, tels que l'interface entre les granulats et la matrice (auréoles de transition).

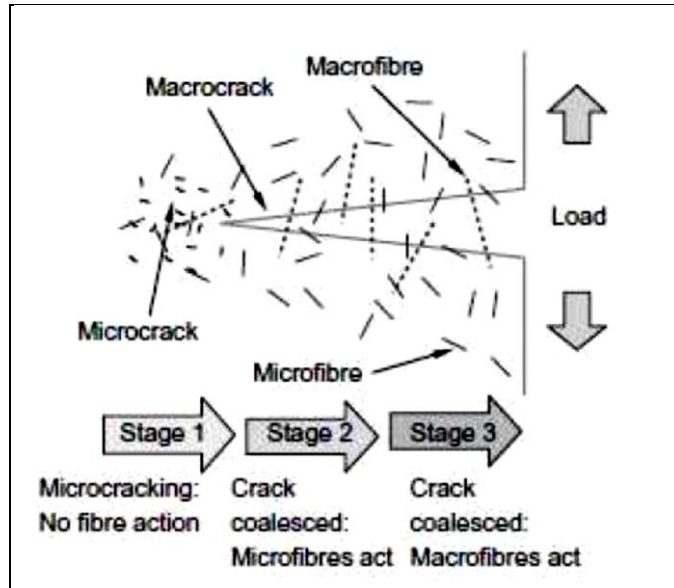


Figure I-19. **Illustration de l'interaction des fibres avec la formation des fissures dans un matériau composite (Fritih 2009).**

Ces fissures ont une taille proche du diamètre des granulats, tandis que leur largeur est proche du micron. Pendant cette étape, les fibres ne sont pas actives. La deuxième étape correspond à la formation des microfissures qui se connectent mutuellement. À ce stade, les fibres sont soumises à des contraintes qui permettent de restreindre la propagation des fissures. On observe ensuite la propagation d'une microfissure (phase 3) qui divise l'éprouvette en deux blocs, ce qui entraîne la destruction de l'éprouvette. (Fritih 2009).

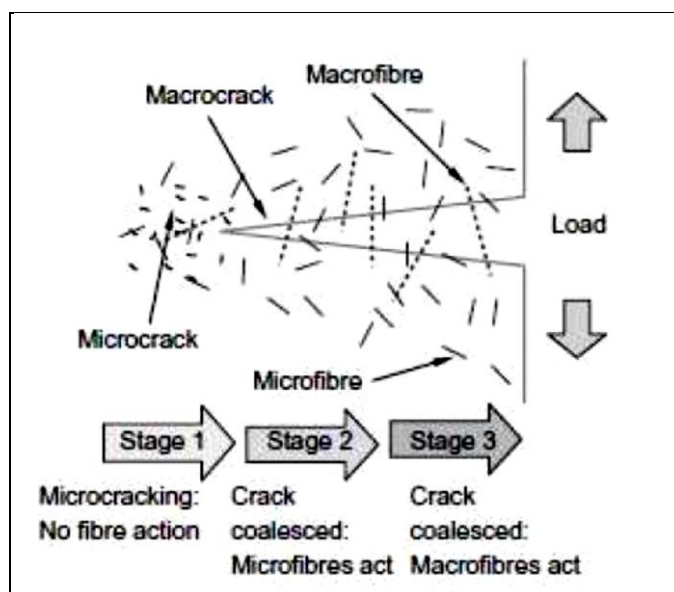


Figure I-20. **Illustration de l'interaction des fibres avec la formation des fissures dans un matériau composite (Fritih 2009).**

Effectivement, (Tioua, T et al. 2018) a présenté que l'incorporation de fibres (de palmier dattier) dans le BAP réduit considérablement le retrait plastique. Ceci est également impacté par la taille des fibres.

Plusieurs recherches (Corinaldesi, v et al. 2011) ont montré une réduction significative de la fissuration causée par le retrait plastique En introduisant les fibres. En outre, le retrait de séchage diminue lorsque le taux en fibres est plus élevé.

L'évolution du retrait est illustrée dans la (Figure I-20) de deux BAP de même classe de résistance, le premier BAP20 n'est pas fibré alors que le BAPF20 est fibré. Il est clairement établi que le BAPF20 a un retrait plus faible que celui du BAP20 (Benkechkache, G et al. 2011).

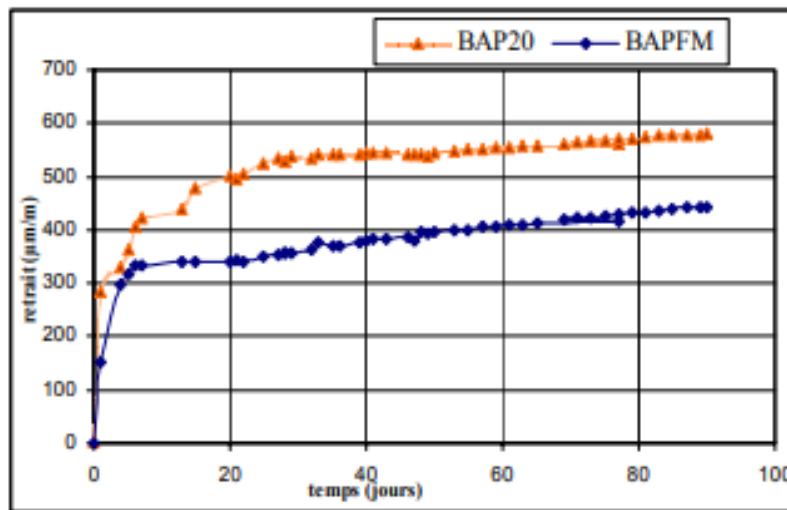


Figure I-21. Impact des fibres (métalliques) sur le retrait d'un BAP.

#### ***1.4.2.3. Impact des fibres végétales sur la porosité***

La porosité ouverte obtenue par Laifa (Walid 2015) sur trois types de BAP, le premier est un BAPT (sans fibres), Le second est composé de fibres de polypropylène tandis que le troisième est composé de fibres de Diss, et exposée dans la (Figure I-21) qui révèle que la porosité ouverte augmente de manière assez faible avec l'introduction des fibres de polypropylène et de Diss.

D'après l'auteur mentionné précédemment, l'incorporation de fibres est recommandée dans le BAP et entraîne la création d'une porosité supplémentaire, en particulier à l'interface fibre-matrice cimentaire. Les fibres contribuent à la création des pores capillaires à l'interface fibre-matrice cimentaire en particulier.

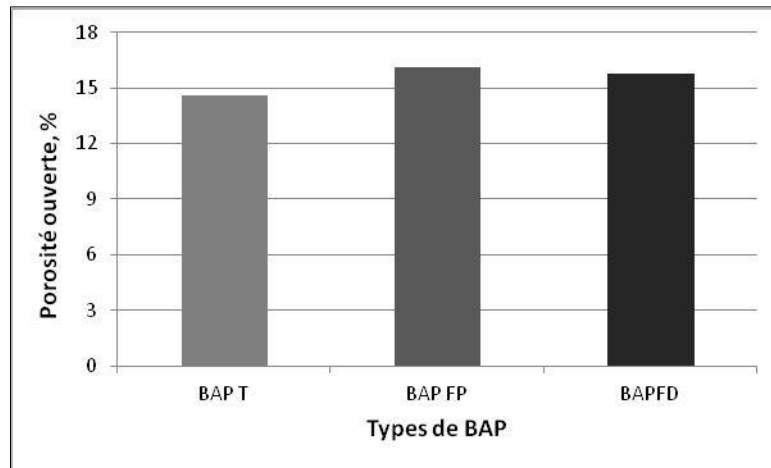


Figure I-22. Porosité ouverte. (Walid 2015).

#### I.4.3. Formulation des BAP a base de fibres

Les fibres ont un effet semblable à celui des gros granulats dans le BAP. Ils introduisent un risque de blocage supplémentaire en relation avec la taille des granulats et leur dimension. Le fait d'incorporer directement des fibres dans une formulation de BAP pose des problèmes liés à sa maniabilité (Khayat, KH et al. 2008).

Les BAPF ont une formulation différente des BAP sans fibres afin de garantir leurs propriétés souhaitées, notamment à l'état frais (Khayat, KH et al. 2008).

Lors du malaxage et de la mise en place, lorsque les fibres interagissent avec les grosses particules du mélange, cela diminue leur capacité de déplacement et de la mise en place. De cette manière, il est essentiel de prendre en compte la granulométrie et la dimension maximale des gros granulats dans les bétons contenant des fibres. (Dallaire 1994).

En fonction du type et du dosage en fibres, le rapport sable/gros granulats (S/G) est ajusté jusqu'à ce que la maniabilité soit maximale (Laplante 1993), selon leur

rapport, il est nécessaire d'enlever un volume des gros granulats équivalent à celui des fibres incorporées pour effectuer un dosage connu en sable, Étant donné que les deux éléments ont un impact équivalent sur la fluidité du béton.

Il est recommandé que le volume du mortier (toutes les particules inférieures à 5 mm) soit d'environ 70% (Tattersall, T et al. 1991). L'(ACI 2002) a suggéré aussi que pour avoir une meilleure ouvrabilité du béton, il serait nécessaire d'adapter un volume de pâte supplémentaire dans le mélange. Donc, le rapport G/S est ajusté d'une manière progressive. Des recommandations similaires ont été présentées par (Grünewald and Steffen 2004).

## **I.5 Conclusion**

Nous avons détaillé des notions sur les BAP, il est essentiel que ce genre de béton soit parfaitement fluide à l'état frais, sans avoir tendance à la ségrégation. Afin de satisfaire ces deux paramètres contradictoires, il est nécessaire que la quantité de pâte soit supérieure à celle des BO des bétons vibrés, pour qu'à la fois, assurer une déformation optimale et faciliter la dispersion des granulats sans risque de ségrégation.

Nous avons ensuite examiné en détail les diverses fibres employées dans le domaine de la construction, en mettant l'accent sur les fibres végétales, notamment la fibre de palmier dattier, que nous avons utilisé dans cette recherche grâce à ses propriétés.

L'intérêt principal de ce chapitre était de contribuer à l'enrichissement de nos connaissances d'après les travaux réalisés sur le thème, ce qui nous permis de mieux cadrer notre travail de thèse

Le chapitre suivant mettra en évidence le plan expérimental et la caractérisation des matériaux utilisés.

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES Chapitre I***

---

- Abdel-Rahman, HH, et al. (1988). "Physical, mechanical and durability characteristics of date palm frond stalks as reinforcement in structural concrete." *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* **10**(3): 175-181.
- Achour, A, et al. (2017). "Properties of cementitious mortars reinforced with natural fibers." *Journal of adhesion science and Technology* **31**(17): 1938-1962.
- ACI, C. (2002). "544, 2002. State of the Art Report on Fiber Reinforced Concrete Reported (ACI 544.1 R-96 Reapproved 2002)." *ACI Structural Journal* **96**: 66.
- AFGC (2010). "Association française de Génie Civil. Recommandations provisoires pour l'emploi des Bétons Autoplaçants." 64
- Agopyan, V, et al. (2005). "Developments on vegetable fibre–cement based materials in São Paulo, Brazil: an overview." *Cement and Concrete Composites* **27**(5): 527-536.
- Ahmed, S. A. (2013). "Properties and mesostructural characteristics of linen fiber reinforced self-compacting concrete in slender columns." *Ain Shams Engineering Journal* **4**(2): 155-161.
- Ali Boucetta, T, et al. (2015). "Valorisation du laitier granulé et de la poudre de verre dans les bétons autoplaçants (BAP)." 64
- Anastasiou, E, et al. (2014). "Behavior of self compacting concrete containing ladle furnace slag and steel fiber reinforcement." *Materials & Design* **59**: 454-460.
- Andrade, S, et al. (2010). "Physical and mechanical properties of durable sisal fiber–cement composites." *Construction and Building Materials* **24**(5): 777-785.
- Ardanuy, M, et al. (2015). "Cellulosic fiber reinforced cement-based composites: A review of recent research." *Construction and Building Materials* **79**: 115-128.
- Assié, S. (2004). *Durabilité des bétons auto-plaçants (Thèse de doctorat)*, Toulouse, INSA.
- Aziz, MA, et al. (1981). "Prospects for natural fibre reinforced concretes in construction." *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete* **3**(2): 123-132.
- Bahloul, O, et al. (2009). *Utilisation des fibres végétales dans le renforcement de mortiers de ciment (cas de l'alfa)*. 1st International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries, ENSET Oran.
- Baley, C. (2005). *Fibres naturelles de renfort pour matériaux composites*, Ed. Techniques Ingénieur.
- Barluenga, G, et al. (2007). "Cracking control of concretes modified with short AR-glass fibers at early age. Experimental results on standard concrete and SCC." *Cement and Concrete Research* **37**(12): 1624-1638.
- Belaidi, A, et al. (2016). "Effects of experimental ternary cements on fresh and hardened properties of self-compacting concretes." *Journal of adhesion science and Technology* **30**(3): 247-261.
- Benkechkache, G, et al. (2010). *étude expérimentale du retrait et du fluage des bétons autoplaçants à base des matériaux locaux*. Annales du Bâtiment et des Travaux Publics, Editions ESKA.
- Benkechkache, G, et al. (2011). "Deferred behaviour of the self compacting concretes based local materials."

- Benkechkache, G. and H. Houari (2009). "COMPARAISON DES RETRAITS ET FLUAGES DES BETONS AUTOPLACANTS ET DES BETONS ORDINAIRES VIBRES." *Sciences & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur*: 9-16.
- Bensalem, S, et al. (2014). "Elaboration and characterization of self-compacting concrete based on local by-products." *International Journal of Engineering, Science and Technology* **6**(1): 98-105.
- Boghossian, E, et al. (2008). "Use of flax fibres to reduce plastic shrinkage cracking in concrete." *Cement and Concrete Composites* **30**(10): 929-937.
- Carmaro, L. (2005). *Fibres et fils à usage technique*, Ed. Techniques Ingénieur.
- Chafei, S, et al. (2012). Influence du traitement des fibres de lin sur la rhéologie et les performances d'un mortier-analyse de la durabilité. FRENCH INTERNATIONAL SYMPOSIUM.
- Chafei, S. (2014). Influence de différents traitements sur les comportements rhéologique et mécanique d'un composite cimentaire mortier-fibres de lin, Caen.
- Corinaldesi, v, et al. (2011). "Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions." *Cement and Concrete Composites* **33**(5): 596-601.
- Dallaire, E. (1994). Etude du comportement a la flexion et a la compression de betons a haute performance renforces de fibres d'acier, Université de Sherbrooke.
- De Larrard, F, et al. (1999). Une nouvelle approche de la formulation des bétons. *Annales du BTP*.
- Dhakal, H, et al. (2007). "Effect of water absorption on the mechanical properties of hemp fibre reinforced unsaturated polyester composites." *Composites Science and Technology* **67**(7-8): 1674-1683.
- Domone, P. (2007). "A review of the hardened mechanical properties of self-compacting concrete." *Cement and Concrete Composites* **29**(1): 1-12.
- Dreux, G. and J. Festa (2007). *Nouveau guide du béton*, 8ème édition, troisième tirage, Eyrolles.
- El-Fodil, A. (2009). Elaboration d'un béton autoplaçant à base de fillers calcaires.
- El-Mously, H. (1997). "Rediscovery of local raw materials: new opportunities for developing countries." *Industry and Environment* **20**(1): 19-20.
- El Hilali, A. (2009). Etude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP): influence des fines calcaires et des fibres végétales, Cergy-Pontoise.
- EN-206-01 (2004). "pré-norme européenne expérimentale, (2004), normalisation européenne réalisé par le TC 104 du Comité Européen de Normalisation (CEN).".
- EN-12350-08 (2010). Essai pour béton frais - Partie 8 : béton autoplaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams, Eur. Stand. AFNOR.
- EN-12350-09 (2010). "Essai pour béton frais - Partie 9 : béton auto-plaçant -essai à la viscosité apparente - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V.".
- EN-12350-10 (2010). Essai pour béton frais - Partie 10 : béton autoplaçant - Essai à la boîte en L, Eur. Stand. AFNOR..
- EN-12350-11 (2010). Essai pour béton frais - Partie 11 : béton autoplaçant - Essai de stabilité au tamis, Eur. Stand. AFNOR.
- EN-12350-12 (2010). "Essai pour béton frais - Partie 12 : béton auto-plaçant - Essai d'écoulement à l'anneau.".

- Ferrara, L, et al. (2012). "A comprehensive methodology to test the performance of steel fibre reinforced self-compacting concrete (SFR-SCC)." *Construction and Building Materials* **37**: 406-424.
- Fokam, C, et al. (2020). "Cement Mortar Reinforced with Palm Nuts Natural Fibers: Study of the Mechanical Properties." *Revue des Composites et des Matériaux Avancés* **30**(1).
- Fritih, Y. (2009). Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplaçant armé, Toulouse, INSA.
- Gram, H-E, et al. (1999). Properties of SCC-especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance. Proceedings of the 1st international RILEM symposium on self-compacting concrete. Stockholm: RILEM Publications SARL.
- Grünewald and Steffen (2004). "Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete."
- Hamzaoui, R, et al. (2014). "Microstructure and mechanical performance of modified mortar using hemp fibres and carbon nanotubes." *Materials & Design* (1980-2015) **56**: 60-68.
- Hamzaoui R., G., S., Mecheri, B., Eshtiaghi, A.M. and Bennabi, A. (2014). "Microstructure and mechanical performance of modified mortar using hemp fibres and carbon nanotubes." *Materials & Design* **56**: 60-68.
- Hanasaki, N, et al. (2010). "An estimation of global virtual water flow and sources of water withdrawal for major crops and livestock products using a global hydrological model." *Journal of Hydrology* **384**(3-4): 232-244.
- Heidarzadeh, A, et al. (2016). "A comparative study of microstructure and mechanical properties between friction stir welded single and double phase brass alloys." *Materials Science and Engineering: A* **649**: 349-358.
- Khayat, KH, et al. (2008). Effect of fiber type on workability and mechanical properties of SCC. Proceedings of the Third North American conference on the Design and Use of Self-consolidating Concrete SCC Chicago.
- Klug, Y., et al. (2003). "Material properties of hardened self-compacting concrete. on Performance of Construction Materials in the new Millennium. Cairo, Egypt, February 18-20, 2003: 85-94." International Conference.
- Kriker, A, et al. (2005). "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate." *Cement and Concrete Composites* **27**(5): 554-564.
- Kriker, A. (2005). Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec, Alger, Ecole Nationale Polytechnique.

- Kriker, A., Debicki, G., Bali, A., Khenfer, M.M., Chabannet, M. (2005). "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate, ." *Cem. Concr. Compos.*, 27(5), pp. 554–64.
- Laplante, P. (1993). Propriétés mécaniques des bétons durcissants: analyse comparée des bétons classiques et à très hautes performances, Marne-la-vallée, ENPC.
- Le Hoang, T., et al. (2012). "Mechanical and microstructural characterization of flax fibrereinforced cement composite." *Proceedings of the 11th Japan Korea*
- Le Hoang, T. (2013). Etude de caractérisation du comportement de composites cimentaires incorporant des fibres courtes de lin, Caen France.
- Le Roy, R. (1996). "Deformations instantanees et differees des betons ahautes performances, Etudes et Recherches des LPC." LCPC, Paris, OA 22.
- Leick, S, et al. (2010). "Deformation of liquid-filled calcium alginate capsules in a spinning drop apparatus." *Physical Chemistry Chemical Physics* 12(12): 2950-2958.
- Li, Z., X. Wang, et al. (2006). "Properties of hemp fibre reinforced concrete composites." *Composites Part A: applied science and manufacturing* 37(3): 497-505.
- Lumingkewas, R. H. (2015). Development of materials for construction with low environmental Impact made with low content of cement and with natural fibers, Lorient.
- Magniont, C. (2010). Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agroressources, Toulouse 3.
- Magniont, C. (2010). Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un écomatériau de construction à base d'agro-ressources. Doctoral thesis., INSA, Toulouse, France.
- Matthieu, M. S. (2022). Potentiel des fibres végétales courtes dans l'amélioration du comportement mécanique des mortiers, INSA de Toulouse.
- Merzoud, M, et al. (2008). "Elaboration de composite cimentaire à base de diss «Ampelodesma Mauritanica»." *Afrique science: Revue internationale des sciences et technologie* 4(2).
- Morvan, C, et al. (2003). "Building flax fibres: more than one brick in the walls." *Plant physiology and biochemistry* 41(11-12): 935-944.
- NA-1966 (2009 ). Norme Algérienne Eau de gâchage pour bétons spécifications d'échantillonnage, d'essais et d'évaluation de l'aptitude a l'emploi, y compris les eaux de processus de l'industrie du béton, telle que l'eau de gâchage pour béton.
- NA-16002 (2007). "Béton - Spécification, performances, production et conformité ".
- Nathalie Otis (2000). influence de divers superplastifiants sur le ressuage et l'interface pâte/granulat dans les matériaux cimentaires. Doctorat Es-Sciences, Université de Sherbrooke
- NF-P18-452 (1988). "Bétons mesures du temps d'écoulement des bétons et des mortiers au maniabilimetre, association française de normalisation, paris-la défense."
- Okamura, H, et al. (2003). "Self-compacting concrete." *journal of advanced concrete technology* 1(1): 5-15.
- Okamura, H, et al. (1995). "Mix design for self-compacting concrete." *Concrete library of JSCE* 25(6): 107-120.
- Olivier, D. (1993). "Insulation and air sealing: current and emerging trends in European masonry buildings."

- Ramakrishna, G, et al. (2005). "Impact strength of a few natural fibre reinforced cement mortar slabs: a comparative study." *Cement and Concrete Composites* **27**(5): 547-553.
- Ramesh, M, et al. (2017). "Plant fibre based bio-composites: Sustainable and renewable green materials." *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **79**: 558-584.
- Rogge, E. (2010). "Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa (Esparto grass) en vue d'applications textiles." Rapport de recherche dans le cadre du programme Erasmus, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs Sud-Alsace, Mulhouse, France: 1-84.
- Saad, H. (2013). Développement de bio-composites à base de fibres végétales et de colles écologiques, Pau.
- Sabry, W, et al. (2013). "Role of Islam in the management of psychiatric disorders." *Indian journal of psychiatry* **55**(Suppl 2): S205.
- Sahmaran, M, et al. (2007). "Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash." *Construction and Building Materials* **21**(1): 150-156.
- Savastano, Jr, et al. (1999). "Plant fibre reinforced cement components for roofing." *Construction and Building Materials* **13**(8): 433-438.
- Sbiai, A. (2011). Matériaux composites à matrice époxyde chargée par des fibres de palmier dattier: effet de l'oxydation au tempo sur les fibres, Lyon, INSA.
- Sedan, D, et al. (2008). "Mechanical properties of hemp fibre reinforced cement: Influence of the fibre/matrix interaction." *Journal of the European Ceramic Society* **28**(1): 183-192.
- Sedran, T, et al. (1999). Rhéologie et rhéométrie des bétons. Application aux bétons autonivelants, Marne-la-vallée, ENPC.
- Sellami, A, et al. (2013). "Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.073>." *Constr, Build, Mater.* **1117-24**(47).
- Siad, H. (2010). "Influence of natural pozzolan on the behavior of self-compacting concrete under sulphuric and hydrochloric acid attacks, comparative study."
- Sideris, KK, et al. (2013). "Residual mechanical characteristics and spalling resistance of fiber reinforced self-compacting concretes exposed to elevated temperatures." *Construction and Building Materials* **41**: 296-302.
- Tattersall, T, et al. (1991). *Workability and quality control of concrete*, CRC Press.
- Tioua, T, et al. (2018). "R-068 Retrait et fissuration au jeune age de béton autoplaçant renforcés des fibres de palmier dattier en environnement saharien chaud et sec." NoMaD 2018.
- Toledo, F, et al. (2005). "Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres." *Cement and Concrete Composites* **27**(5): 537-546.
- Tonoli, G, et al. (2010). "Eucalyptus pulp fibres as alternative reinforcement to engineered cement-based composites." *Industrial crops and products* **31**(2): 225-232.
- Tung, LH, et al. (2012). Mechanical and microstructural characterization of flax fibre-reinforced cement composite. Proceedings of the 11th Japan-Korea-France-Canada Joint Seminar on Geoenvironmental Engineering.
- Turcry, P, et al. (2003). "Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants: Influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques." *Revue française de génie civil* **7**(4): 425-450.

- Turcry, Ph, et al. (2006). "Evaluation of Plastic shrinkage Cracking of self compacting concrete." *Materials Journal* **103**(4): 272-280.
- Vidil, L. (2019). "Etude de matériaux naturels 2D–Potentialités d'utilisation comme renfort de matériaux composites." Université des Antilles, Pointe-à-Pitre.
- Walid, L. (2015). Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants, Université Badji Mokhtar.
- Walid., L, et al. (2014). "Caractérisation d'un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène et de diss. Characterization of a Self-Compacting Concrete with Addition of Crystallized Slag and Reinforced with Polypropylene and Diss Fibers." *Revue des Sciences et de la Technologie Synthèse N27N.A*(29): 31.
- Wang, X, et al. (2012). "Cell wall structure and formation of maturing fibres of moso bamboo (*Phyllostachys pubescens*) increase buckling resistance." *Journal of the Royal Society Interface* **9**(70): 988-996.
- Yahia, A, et al. (2005). "Rheological properties of highly flowable mortar containing limestone filler-effect of powder content and W/C ratio." *Cement and Concrete Research* **35**(3): 532-539.
- Zhang, WF, et al. (2000). "Raman scattering study on anatase TiO<sub>2</sub> nanocrystals." *Journal of Physics D: Applied Physics* **33**(8): 912.

## **Chapitre II**

### **Matériaux et méthode expérimentales**

## II.1 INTRODUCTION

Dans ce chapitre, nous présentons les propriétés des éléments qui font partie de la composition des bétons autoplaçants, (ciment, Granulats, additions, eau minérales, adjuvants, et fibres), sur lesquelles s'appuie notre étude.

Ce travail a été réalisé dans le laboratoire Matériaux Géo-matériaux et environnement (LMGE) de l'université Badji Mokhtar-Annaba. Nous avons aussi développé dans ce chapitre, les protocoles expérimentaux, afin de faciliter une interprétation et une meilleure utilisation des résultats, en intégrant des expériences de caractérisation des BAP à l'état frais, en particulier en termes d'étalement (cône d'Abrams), de T500, de boîte en L et de stabilité au tamis, de même que la concentration en air oclut et de la densité réelle.

On a également soumis le béton a à des tests mécaniques et physiques à l'état durci d'après des délais préétablis (tests de compression, de traction par flexion, de retrait et d'absorption d'eau capillaire).

## II.2 CARCTERISATION DES MATERIAUX

### II.2.1. Renseignements concernant le ciment

Nous avons employé un ciment portland composé CPJ (CEM II/A de classe 42,5), produit à partir d'une combinaison finement broyée de clinker (70 à 80%) avec du laitier granulé (15 à 25%) ainsi que du gypse (4 à 6 %); conformément à la réglementation algérienne (NA-442 2005), produit par l'usine de ciment de HDJAR ESSOUD – SKIKDA. Les (Tableaux II-1, II-2 et II-3) ci-dessous présentent la composition chimique et minéralogique ainsi que les caractéristiques physiques de notre ciment.

Table II- 1. **Caractéristiques chimique du ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjjarEssoud 2023).**

Oxydes	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	CaO libre	Cl <sup>-</sup>
<b>En(%)</b>	61.22	4.91	20.55	3.54	1.11	0.72	0.11	2.11	0.80	0.01

Table II- 2. **Composition minéralogique du clinker et composition du Ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud 2023).**

Clinker				Ciment			
C <sub>3</sub> S	C <sub>2</sub> S	C <sub>3</sub> A	C <sub>4</sub> AF	Clinker	laitier granulé	Calcaire	gypse
62.36	13.73	8.74	10.76	74.3	18.2	0	5.34

Table II- 3. **Caractéristiques physiques du ciment (Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud 2023).**

Désignation	Valeurs	Unités
Résistance à 2jrs	16.78	MPa
Résistance à 28jrs	49.29	MPa
Classe de résistance	42.5	MPa
Densité apparente	1320	kg/m <sup>3</sup>
Densité absolue	3200	kg/m <sup>3</sup>
Surface spécifique Blaine	3476	cm <sup>2</sup> /g
Consistance normale	26.22	%
Début de prise	169	minute
Fin de prise	274	minute

### II.2.2. Le Filler Calcaire

Le filler calcaire de type Bexcar 10N est utilisé dans cette étude en tant qu'addition. Provenant de la région d'El-KHROUB, caractérisé par une couleur blanche intense, principalement constitué de carbonate de calcium avec une concentration de (CaCO<sub>3</sub>) supérieure à 97 %. de finesse Blaine égale à 5561 (cm<sup>2</sup>/gr), de densité absolue égale à 2,7 (g/cm<sup>3</sup>).

Les caractéristiques chimiques et physiques du fillers calcaire sont regroupées aux (Tableaux II-4 et II-5).

Table II- 4. **Analyses chimiques des fillers calcaire (Laboratoire-SNC-BEXCAR BENBRAHIM 2022).**

Éléments	CaCO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
Content (%)	≥98	0.16	0.18	0.13

Table II- 5. **Caractéristiques physiques des fillers calcaire.**

<b>Désignation</b>	<b>Valeurs</b>	<b>unités</b>
<b>Densité absolue</b>	2700	kg/m <sup>3</sup>
<b>Densité apparente</b>	790.1	kg/m <sup>3</sup>
<b>Teneur en fines (f) sur le tamis 0.08 mm</b>	4.3	%
<b>Spécifique Surface Blaine</b>	5561	cm <sup>2</sup> /gr

### II.2.3. Adjuvant

L'adjuvant utilisé est un plastifiant réducteur d'eau de type Viscocrete 3045 (Plastifiant viscocrete-3045 2021), fourni par Sika El Djazair, qui se présente sous la forme d'un liquide marron. L'intervalle d'utilisation conseillé s'étend de (0,25 à 2,5) % du poids du ciment. Les propriétés physiques et chimiques sont indiquées au (Tableau II-6).

Table II- 6. **Les propriétés physiques et chimiques du plastifiant (Plastifiant viscocrete-3045 2021).**

<b>Densité</b>	1.11±0.02
<b>PH</b>	5±1
<b>Teneur en ions Cl</b>	≤0.1%
<b>Teneur en ions Na<sub>2</sub>O</b>	36.04±1.8%
<b>Extrait sec</b>	36,4 ± 1,8 (%)

### II.2.4. Granulats

Pour pouvoir faire le bon choix des granulats, Il fallait en déterminer les caractéristiques à l'aide de diverses Études en laboratoire. Les propriétés physiques, mécaniques et l'analyse granulométrique des granulats On les a déterminées au laboratoire « Matériaux, Géo matériaux et Environnement, LMGE ». Nous avons employé deux types de sable dans cette étude, à savoir un sable roulé siliceux et fin, qui est issu de la région d'Ouargla et qui présente un module de finesse de 2.56, ainsi que du sable concassé de roche calcaire plus grossier que les sables de dune, il est issu de la carrière ENGOF EL GHEDIR, localisée dans la région de Skikda et présente un module de finesse de 3.09.

Trois fragments concassés de gravier (3/8, 8/16 et 16/20) provenant de roche calcaire de la même carrière que celle du sable concassé. Le (Tableau II-7) présente les caractéristiques des granulats.

**Table II- 7. Propriétés des granulats employés dans cette étude.**

Caractéristique	Unité	sable siliceux	Sable de carrière	Gravier 3 / 8	Gravier 8 / 16	Gravier 16/20
d/D	/	0/2	0/4	3/8	8/16	16/25
$\rho_{app}$ (NF-EN-1097-03 1998)	kg/m <sup>3</sup>	1620	1690	1450	1590	1410
$\rho_{abs}$ (NF-EN-1097-03 1998)	kg/m <sup>3</sup>	2590	2790	2700	2680	2700
Coefficient d'absorption (NF-EN-1097-06 2014)	%	1.62	1.98	1.38	1.28	0.76
Mf (XP-P18-540 1997)	%	1.89	3.09	/	/	/
Equivalent de sable (NF-EN-933-08 2012)	%	89.7	88	/	/	/
Propreté du gravier (NF-P18-591 1990)	%	/	/	1.06	0.40	2.05
Teneur en fines (f) sur le tamis de 63 $\mu$ m	%	3.4	10	0.7	0.2	0.2
Los Angeles (NF-P18-573 1990)	%	/	/	20	20	20
Micro Deval (NF-EN-1097-01 2011)	%	/	/	9.29	9.29	10
Coefficient d'aplatissement (NF-EN-933-03 2012)	%	/	/	6	5	3

Selon les résultats d'analyse mentionnés dans le (Tableau II-7), tous les granulats ont des performances bien adapter et selon les recommandations, pour être utiliser au préalable pour confectionner nos BAP.

L'essai de granulométrie a été réalisé selon la norme (NF-EN-933-01 2012). La granulométrie des graviers est représentée par des courbes granulométriques serrées. En revanche, la taille des deux sables est plus étendue. Les données granulométriques sont représentées sur la (Figure II-1).

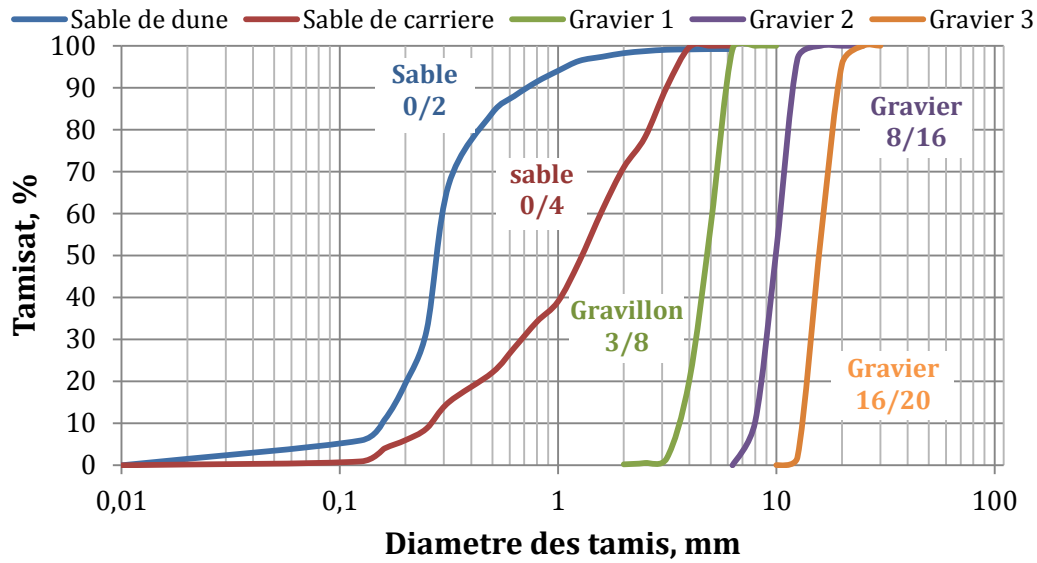


Figure II- 1. Diagrammes granulométriques des granulats.

### II.2.5. Les fibres synthétiques de polypropylène

Nous avons employés les fibres de polypropylène (Figure II-2) en tant que fibres de témoin dans les BAP. Elles sont fournies par Sika (Sika fibre 2020). Trois dosages ont été utilisés (600, 900 et 1200)  $\text{gr/m}^3$ , et une seule longueur de 12 mm, la seule longueur disponible. Ce matériau s'est développé de plus en plus dans le secteur du textile. Les caractéristiques principales de ces fibres sont présentées dans le (Tableau II-8).



Figure II- 2. Fibres de Polypropylènes.

Table II- 8. Étude technique des fibres de polypropylène employer dans cette étude (Sika fibre 2020).

Désignations	Unités	Valeurs
<b>Couleur</b>	-	Blanche
<b>Diamètre</b>	µm	25 (±10%)
<b>Longueur</b>	mm	12 (±10%)
<b>Densité</b>	g/cm <sup>3</sup>	0.91
<b>Résistance en traction</b>	N/mm <sup>2</sup>	300-400
<b>Résistance à l'Alcalinité</b>	%	100
<b>Point de fusion</b>	°C	160-170
<b>Nombre de fibres par kg</b>	-	120×10 <sup>6</sup>
<b>Allongement à la Rupture</b>	%	≥ 120
<b>Module d'élasticité</b>	GPa	1,1 – 1,3

### II.2.6. Fibres provenant de palmier dattier

Les fibres brutes de palmier dattier proviennent du Sud de l'Algérie, spécifiquement dans la région d'Ouargla. Il s'agit de fibres de surface d'un aspect tissé naturellement, créées par le regroupement de trois plaques de treillis.

Les différents éléments qui composent les fibres de Palmier Dattier comprennent l'hémicellulose, la cellulose, la lignine et les cendres, dont les proportions sont indiquées dans le (Tableau II-9).

Table II- 9. Analyse chimiques des fibres de palmiers dattiers (Brundtland 1988).

Compositions	Cellulose	Hémicelluloses	Lignine	Cendre
<b>Proportions (%)</b>	32 – 35,8	24,4 – 28,1	26,7 – 28,7	7

Les fibres de palmier dattier ont été préparées en « laboratoire Matériaux, Géo matériaux et Environnement, LMGE ». Le schéma de transformation des plaques en fibres consiste à extraire des plaques du tronc de palmiers, ces plaques ont été défibrées et séparées en fils, ensuite découpées en longueur désirées (Figure II-3).

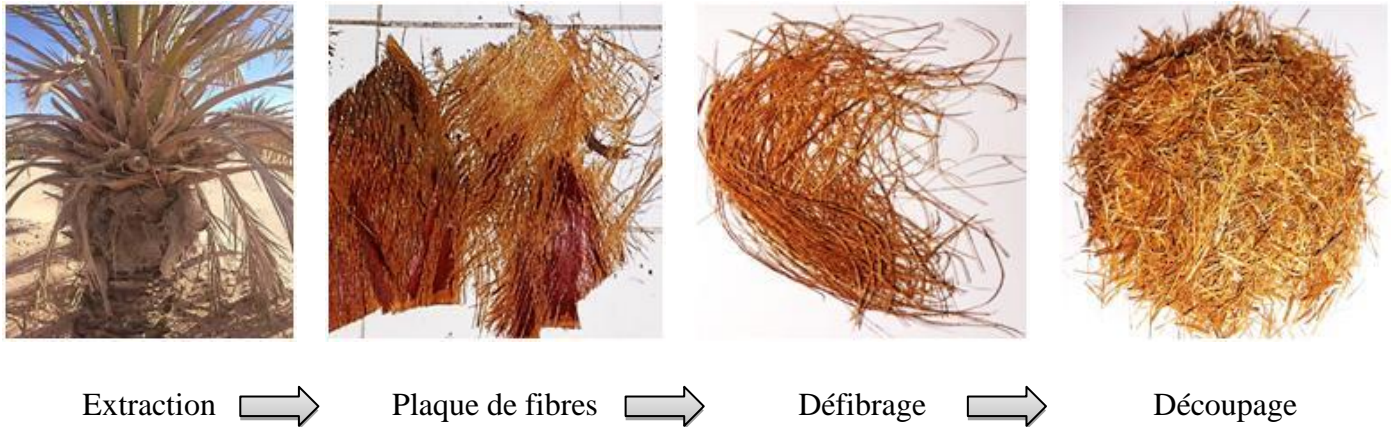


Figure II- 3. **Méthodes d'élaboration des fibres de palmier dattier (Derdour, Behim et al. 2023).**

Nous avons employé trois longueurs (1,2, 2 et 3) Cm de fibres de palmier dattier, de même trois dosages (600, 900 et 1200) gr/m<sup>3</sup>.

#### **II.2.6.1. Mesure du diamètre de la fibre**

Les fibres de palmier Dattier ont été mesurées en utilisant un microscope optique pour évaluer leur diamètre (Figure II-4), au laboratoire du département de métallurgie de l'université d'Annaba.

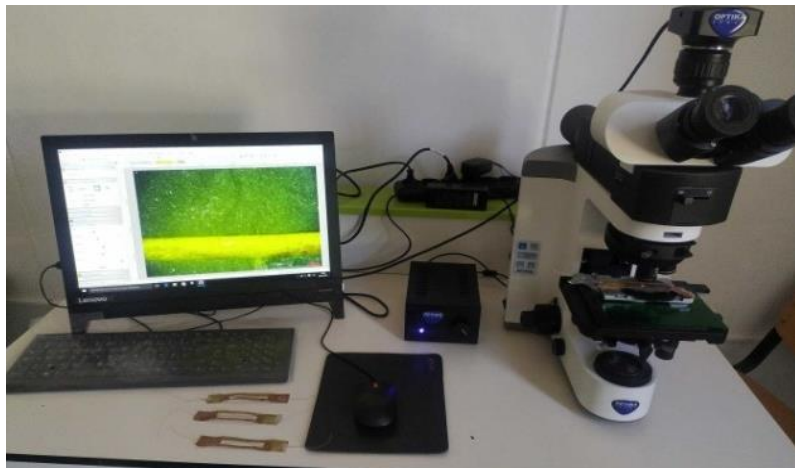


Figure II- 4. **Analyse microscopique du diamètre des fibres de palmier dattier (microscope optique).**

Grâce à cette analyse microscopique, nous avons pu observer que les fibres du palmier dattier ne présentent pas un diamètre uniforme mais variable de 0,4 à 0,6 (mm) et une même fibre peut avoir une variation de diamètre de 0,46 à 0,50 mm (Figure II-5).

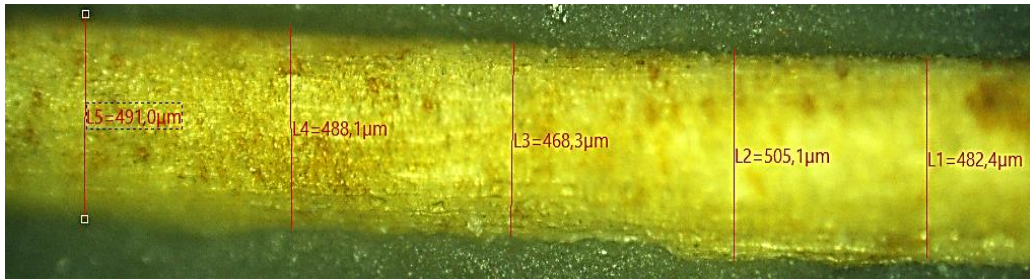
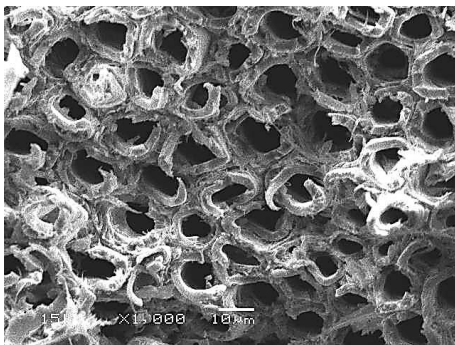


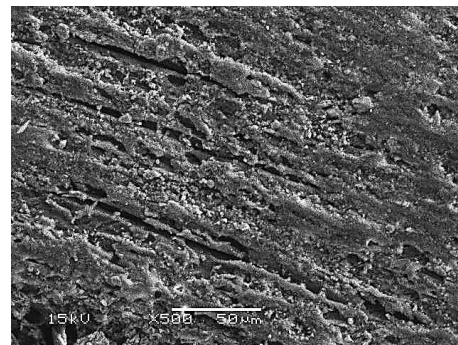
Figure II- 5. **Mesure du diamètre de la fibre de palmier en utilisant un le microscope optique.**

### II.2.6.2. *Structure microscopique des fibres de palmier dattier*

On a effectué l'observation de la fibre de palmier dattier à l'aide d'un microscope électronique à balayage (MEB), réalisée au LMDC de l'INSA de Toulouse. La structure de la fibre de palmier dattier est constituée d'un ensemble de microfibrilles ayant une forme tubulaire, avec un diamètre de 10  $\mu\text{m}$  (Figure 6-a), caractérisée par une grande porosité, ce qui explique sa grande capacité d'absorption d'eau. L'état de surface extérieur de la fibre est défini par une rugosité (Figure II-6-b), cela permettrait Afin d'assurer une adhésion plus forte à la matrice cimentaire, contrairement aux fibres de polypropylène qui présentent une surface est très lisse.



(a) Coupe transversale



(b) surface extérieure

Figure II- 6. **Observation au microscope électronique à balayage de la fibre de palmiers.**

### II.2.6.3. *Absorption d'eau des fibres*

L'expérience d'absorption d'eau présentée par la (Figure II-7), aide à déterminer la nature hydrophobe des fibres. On a effectué la mesure du coefficient d'absorption d'eau des fibres de palmier dattier en utilisant une méthode basée sur plusieurs protocoles proposés par de nombreux auteurs : (Sellami, A et al. 2013) ; (Boutarfa 2018) ; (Kriker 2005) ; (Tioua 2017) et (Magniont 2010).

- **Procédure opératoire :**

On a séché six (06) échantillons de fibre de 3 (g) de chacun, à l'étuve à 60°C jusqu'à ce que la masse se stabilise avant d'être immergés sous l'eau à la température ambiante. Les échantillons sont retirés de l'eau à 5, 15, 30, 60 (min) et 2, 4, 6 et 24 (heures).

Les fibres ont été superficiellement essuyées à l'aide d'un papier absorbant afin d'éliminer l'eau adsorbée entre les fibres et à leurs surfaces, ensuite pesées. Les pesées ont été réalisées à l'aide d'une balance avec une précision de 0,01g.

On détermine alors le coefficient d'absorption d'eau des fibres en utilisant l'expression (1):

$$A = \frac{M_h - M_s}{M_h} \times 100 \% \quad (1)$$

A – absorption d'eau, (%)

$M_h$  – Masse humide, (g)

$M_s$  – Masse sèche, (g)



Figure II- 7. **Évaluation de l'absorption d'eau.**

Les résultats concernant la cinétique d'absorption d'eau par les fibres de palmier dattier sont présentés sur la (Figure II-8).

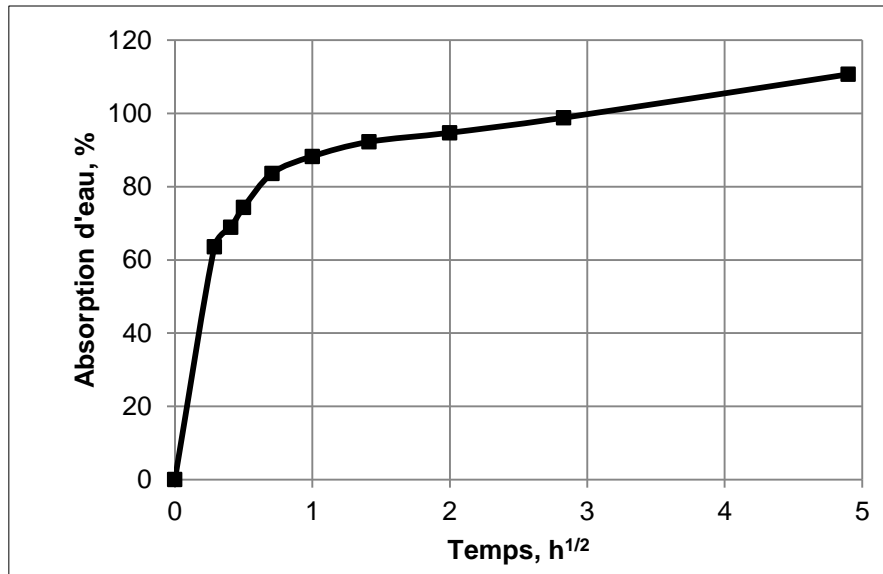


Figure II- 8. Absorption d'eau par les fibres de palmier dattier.

Il existe deux phases principales d'absorption d'eau dans les fibres: la première est rapide et correspond au remplissage des pores les plus gros. Après 5 minutes d'immersion totale sous l'eau, on note un coefficient d'absorption de 63.58 %. La deuxième phase d'absorption est plus lente, correspond aux remplissages des plus petits pores.

Après 24 heures de conservation des fibres de palmier dattier sous l'eau, le coefficient d'absorption d'eau est de 110,67%. Toutefois, la saturation totale n'avait pas été atteinte, les fibres ont été maintenues sous l'eau à 48, 72 et 96 heures correspondant respectivement à des coefficients d'absorption d'eau de 115.14%, 121.53%, 126.29%.

Cette importante absorption d'eau des fibres de palmier dattier est due à leur structure poreuse comme il est indiqué sur la photo MEB de la (Figure II-6.a).

#### **II.2.6.4. Caractéristiques mécaniques de la fibre**

On a réalisé une expérience de traction directe sur les fibres de palmier dattier avec une longueur entre mords de 60 mm, réalisée au sein du département de métallurgie de l'université d'Annaba, en utilisant une presse de traction, avec une capacité maximale de 20 KN (Figure II-9).

L'essai de traction direct réalisé sur des fibres de Palmier Dattier a donné une courbe 'contrainte – déformation' présentée par la (Figure II-10).

La fibre de Palmier Dattier possède une résistance à la traction importante d'environ (94.74) MPa ainsi qu'un module d'élasticité de (2.05) GPa.



Figure II- 9. Dispositif de chargement utilisé pour l'essai de traction de fibres palmiers dattiers.

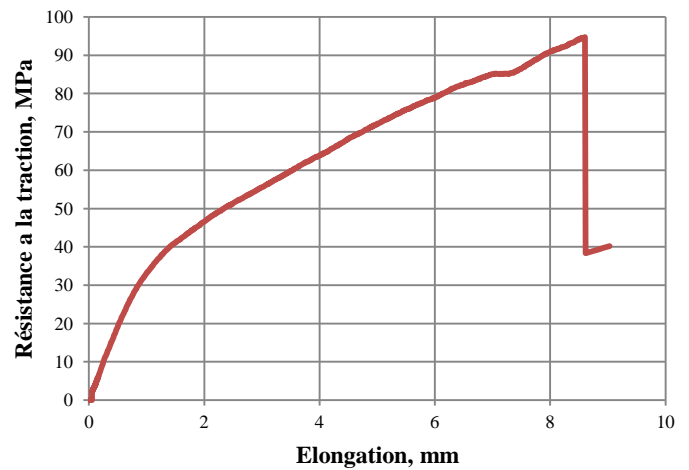


Figure II- 10. Courbe de traction de fibre de palmiers dattiers.

Le tableau II-10 expose les caractéristiques physiques et mécaniques ainsi que La structure chimique des fibres de palmier dattier.

Table II- 10. Caractéristiques des fibres de palmier dattier.

Caractéristiques	Unité	Valeurs
Diamètre	mm	0.40 - 0.60
densité Absolue	$g/cm^3$	1.58
densité apparente	$g/cm^3$	0.28
Taux d'humidité (TH)	%	9.95
Absorption d'eau après 5 min	%	45 - 65
Absorption jusqu'à 24 heures	%	110.67
Résistance à la traction	MPa	94,74
Elongation	%	14,33

### II.3 METHODES EXPERIMENTALES

Nous présentons dans cette partie les modes opératoires réalisés pour caractériser les bétons d'étude.

#### II.3.1. Essais réalisés sur béton frais

##### II.3.1.1. *Etalement au cône d'Abrams*

La technique de mesure de l'étalement au cône d'Abrams est utilisée pour évaluer la fluidité des BAP en milieu non confiné (essai d'étalement) telle que décrite dans la norme (EN-12350-08 2010). Cet essai met en évidence la fluidité et la rapidité d'écoulement du béton autoplaçant lorsqu'il n'y a pas d'obstacles.

Ainsi, le béton est donc introduit dans le cône qui est placé sur une plaque d'étalement, avec une surface propre et humide, puis, on évalue le diamètre moyen de la galette obtenue sur deux diamètres orthogonaux, qui devrait être entre 550 à 850 mm.

Différentes classes d'étalement de BAP sont définies en fonction du diamètre de la galette selon la norme (EN-206-09 2010).

- Classe SF1 : étalement de galette allant de 550 à 650mm.
- Classe SF2 : étalement de galette allant de 660 à 750mm.
- Classe SF3 : étalement de galette allant de 760 à 850mm.

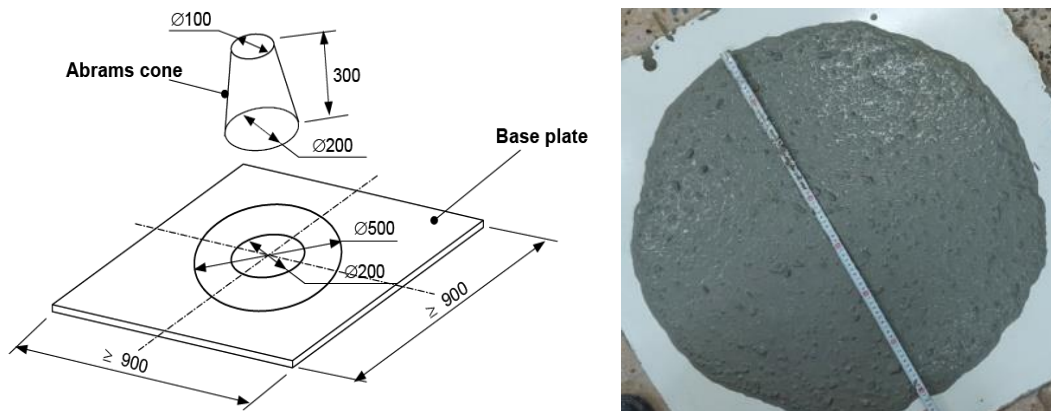
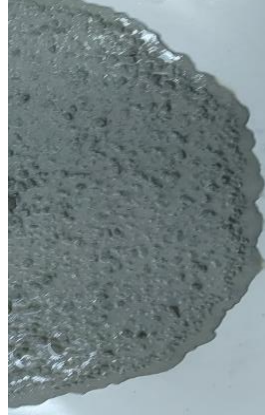


Figure II- 11. Essai d'étalement au cône d'Abrams (EN-206-09 2010).

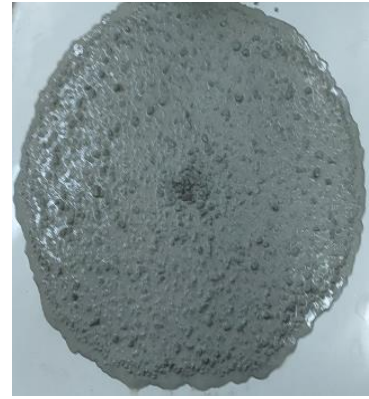
Le BAP doit présenter un aspect homogène (Figure II-12.a) avec une absence totale de ressuage au bord de la galette (Figure II-12.b) et aucun signe de ségrégation ou d'amoncellement de gros granulats au centre. (Figure II-12.c).



a) Homogène



b) Ressuage



c) Ségrégation

Figure II- 12. Aspects des BAP observable lors de l'essai d'étalement.

### II.3.1.2. Détermination du temps d'écoulement T500 (viscosité apparente)

L'essai consiste à évaluer le temps nécessaire que mettra la galette du BAP pour atteindre un diamètre de 500 mm, conformément à la norme. (EN-12350-08 2010). Le temps mesuré en seconde donne une indication sur la viscosité apparente du matériau.

La norme (EN-206-09 2010) définit deux classes de viscosité apparente :

- VS1 < 2
- VS2 ≥ 2

Cet essai permet également de mesurer la viscosité plastique ( $\mu$ ) en se basant sur le modèle de (SEDRAN T 1999), en utilisant la formule (2) ci-dessous:

$$\mu = \frac{\rho}{1000} (0.0268SF - 2.39)T500 \quad (2)$$

$\mu$  : Viscosité plastique du matériau exprimée en (PaS).

$\rho$  : Masse volumique du béton exprimée en (Kg/m<sup>3</sup>).

SF : Etalement du béton exprimée en (mm).

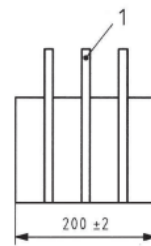
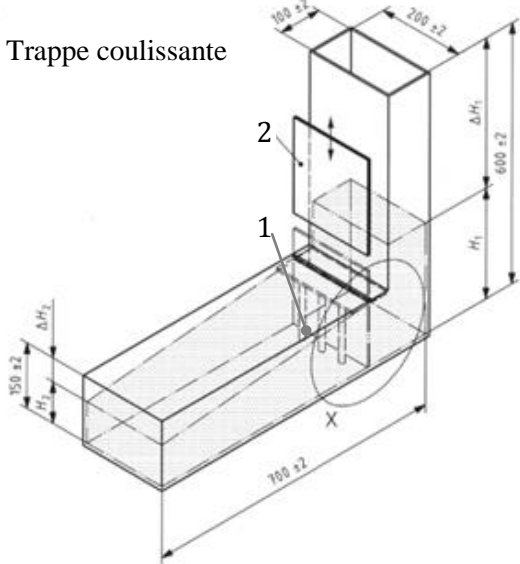
T500 : La durée nécessaire pour que la galette atteigne un diamètre de 500 mm exprimée en (seconde).

**II.3.1.3. Mobilité en milieux confiné (Essai du L-Box)**

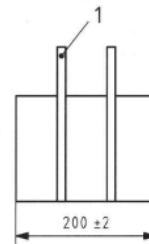
C'est la capacité du béton à s'écouler à l'intérieur d'une zone confinée et son aptitude à traverser une zone étroitement renforcée, l'objectif de l'expérience consiste à remplir la partie verticale de la boîte en une seule opération, le béton s'écoule à travers les barres de la boîte. La norme (EN-12350-10 2010) stipule que le rapport de hauteur  $H_2/H_1$  doit dépasser 0.8.

1. Barres d'acier

2. Trappe coulissante



Espace entre trois barres ( $41 \pm 1$ ) mm



Espace entre deux barres ( $59 \pm 1$ ) mm

Figure II- 13. La boîte en pour l'essai du pouvoir de remplissage des bétons autoplaçants (EN-12350-10 2010).



Figure II- 14. **Essais du pouvoir de remplissage (la boîte en L).**

#### **II.3.1.4. Stabilité a la ségrégation**

L'essai a pour objectif d'évaluer le risque de ségrégation du BAP, Il est essentiel de maintenir sa stabilité et son uniformité pendant et après le coulage. Afin d'accomplir cela, un échantillon de 10 litres de béton est placé au repos pendant 15 minutes, puis une quantité de  $(4,8 \pm 0,2)$  (kg) est déversée sur un tamis de maille de taille de 5 mm. La hauteur de déversement du BAP doit être de  $50 \text{ cm} \pm 5$  (cm) et doit être laissée au repos pendant 2 minutes, puis la masse de la laitance traversant le tamis doit être pesée.

On calcule ainsi le pourcentage de laitance (SR) :

$$SR = \frac{\text{Masse de laitance}}{\text{Masse de l'échantillon}} * 100\% \quad (3)$$

On distingue deux classes de stabilité décrit dans la norme (EN-206-09 2010):

- SR1 Taux de laitance  $\leq 20$  %.
- SR2 Taux  $\leq 15$  %.

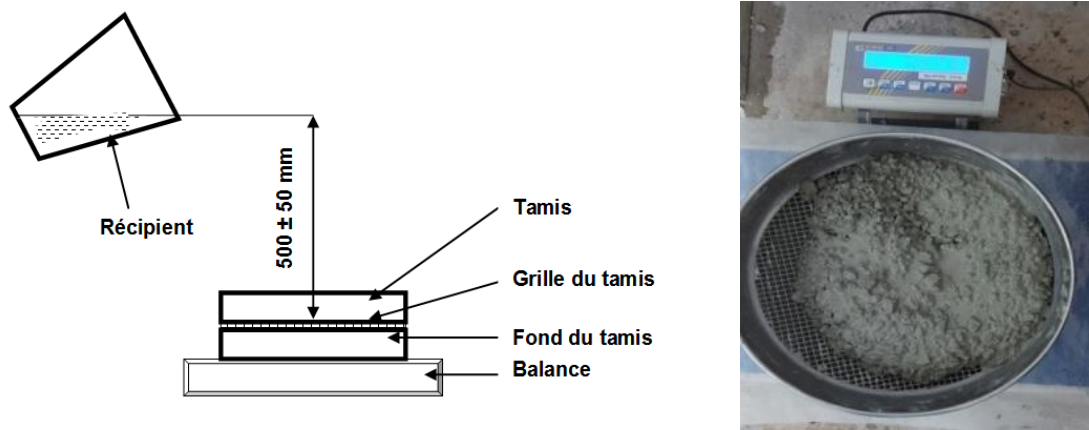


Figure II- 15. Essais de stabilité à la ségrégation (EN-12350-11 2010).

### II.3.1.5. *Mesure de la teneur en air occlus*

L'essai à l'aéromètre sur les BAP a été réalisé conformément à la norme. (EN-12350-07 2019). Cette essai permet d'estimer la teneur en air occlus emprisonné dans le béton à l'état frais. L'essai consiste à prélever un échantillon de béton frais et de le placer dans la cuve de l'aéromètre à béton avec une contenance de 8 litres.

La cuve de l'aéromètre est couverte ensuite avec un couvercle rigide et étanche muni d'une montre gradué. Par la suite, une pression est exercée sur l'échantillon à l'aide d'une pompe à air placée sur le couvercle. En raison de cette pression, le niveau d'eau diminue proportionnellement au volume des vides d'air.



Figure II- 16. Évaluation de la quantité d'air occlus dans le béton à l'aide du manomètre.

### ***II.3.1.6. Évaluation de la masse volumique sur le béton frais.***

Les mesures de la masse volumique apparente ont été réalisées selon la norme (EN-12350-06 2012). L'essai a été réalisé avant la mesure du volume d'air occlus grâce à la cuve de l'aéromètre de 8 litres de contenance. La masse volumique apparente du béton peut être déduite en utilisant les masses de la cuve vide et remplie de béton qui sera déterminé en ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).



Figure II- 17. **Mesure de la masse volumique réelle.**

### **II.3.2. Tests effectués sur béton durci**

Des tests mécaniques ont été effectués sur les BAP à l'état durci, ainsi que des mesures de retrait et d'absorption d'eau par capillarité.

#### ***II.3.2.1. Test de la résistance en compression***

Les essais de compression ont été effectués à l'aide d'une presse hydraulique d'une capacité maximale de 2000 KN (Figure II-18), sur des éprouvettes cubiques de 10x10x10 ( $\text{cm}^3$ ). Les échantillons ont été maintenus à la température ambiante dans l'eau (Figure II-19), et testées aux échéances de 2, 7, 14, 28, 90 et 365 jours, La moyenne des résultats obtenus en compression est de trois résultats par échéance. La compression est effectuée en respectant la norme (EN-12390-03 2019).



Figure II- 18. **Presses de compression hydrauliques.**



Figure II- 19. **Préservation des échantillons de compression, de traction par flexion et d'absorption d'eau par capillarité.**

### ***II.3.2.2. Tests de la traction par flexion***

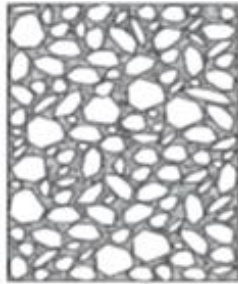
On a évalué la résistance en traction par flexion selon la norme (EN-12390-05 2019). Après démoulage les éprouvettes prismatiques de dimensions  $7 \times 7 \times 28$  (cm<sup>3</sup>) sont conservées dans l'eau à la température ambiante (Figure 20), et testées en traction par flexion trois points à 2, 7, 14, 28, 90 et 365 jours avec une presse hydraulique dont la capacité maximale est de 150 KN (Figure II-20). Le résultat de chaque essai en flexion correspond à la moyenne de trois valeurs pour chaque échéance.



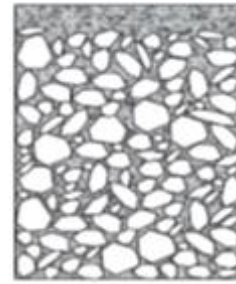
Figure II- 20. **Presses hydrauliques de traction/flexion.**

### II.3.2.3. *Évaluation de l'absence de ségrégation*

Il est également possible de vérifier l'absence de ségrégation dans un béton de manière générale en sciant des éprouvettes cylindriques de dimensions 11x22 cm Il est possible d'observer la répartition des granulats sur la hauteur de l'éprouvette sciée en suivant leur axe de symétrie en fonction du sens du coulage (Figure II-21).



Répartition régulière des particules granulaires dans le béton



Répartition irrégulière des granulats dans le béton (Ségrégation)

Figure II- 21. **Phénomène de ségrégation dans le béton (Bensebti Salah Eddine 2008).**

### II.3.2.4. *Essai de retrait*

Le processus expérimental de retrait a été effectué selon la norme (NF-P15-433 1994 ). Le dispositif de mesure du retrait est présenté par les (Figures II-22 et II-23). Les échantillons utilisés sont des prismes de dimensions 7x7x28 (cm<sup>3</sup>) équipés de plots métalliques à leurs extrémités disposés dans le moule de l'éprouvette avant de faire couler le Béton. Après 24 heures, les éprouvettes sont retirées et réservées dans une armoire où la température reste constante de  $(20 \pm 2)$  (°C) et l'humidité relative varie entre (50 et 65 %) (Figure II-24). Les mesures de retrait sont effectuées sur trois éprouvettes pour chaque BAP et à des échéances de 1, 2, 3, 7, 14, 28, 50, 90 et 265 (jours).



Figure II- 22. Etalonnage de l'appareil.



Figure II- 23. Mesure du retrait.



Figure II- 24. Conservations des éprouvettes pour essais de retrait.

### II.3.2.5. Absorption d'eau capillaire

L'essai a été réalisé selon la procédure (AFPC-AFREM 1997), donnée par la (Figures II-26). Les éprouvettes utilisées sont moulées, de forme cylindrique et de dimensions (11x5) cm ayant été soumis à une cure sous l'eau d'une durée de 28 jours, et à une température de  $(20 \pm 2)$  (°C).

Le pré-conditionnement des échantillons se fait de la manière suivante :

- Les échantillons subissent un séchage à une température de  $(80 \pm 2)$ °C dans une étuve ventilée, jusqu'à ce que la disparité de masse entre deux pesées réalisées pendant une période de 24 heures soit inférieure à (0,1)%. Une fois que la masse est stabilisée, les éprouvettes sont stockées dans un dessiccateur garni de Silica-gel pour permettre le retour à la température ambiante sans absorber l'humidité de l'air (Figure II-25).



Figure II- 25. **Conservation dans les dessiccateurs (remplit de Silica-gel).**

- La surface latérale des disques, est préalablement recouverte d'une feuille d'aluminium autocollant ou de résine étanche. Les échantillons sont plongés dans l'eau du récipient jusqu'à ce qu'ils atteignent une hauteur maximale de 3 mm (illustrations II-26 et II-27).

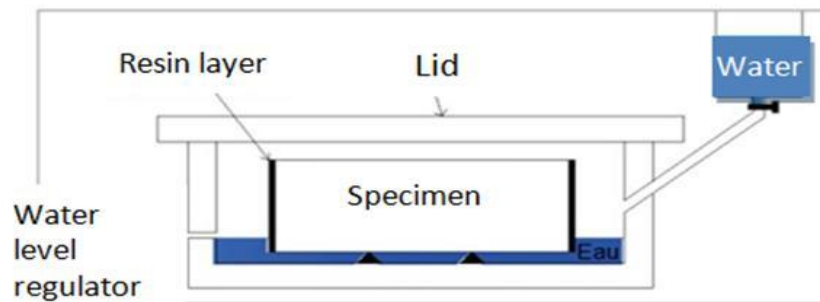


Figure II- 26. **Principe fondamental de l'essai d'absorption d'eau capillaire.**



Figure II- 27. **Dispositif de l'essai d'absorption d'eau capillaire.**

Les éprouvettes sont retirées du récipient à chaque échéance, puis essuyées avec une éponge humide pour éliminer la pellicule d'eau qui se trouve sur la surface, elles

sont mesurées ensuite, puis réintroduites dans le récipient. Les échéances des mesures sont: 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8 et 24 heures.

Le coefficient d'absorption d'eau capillaire est déterminé selon la relation (4)

$$Ca_t = \frac{M_t - M_0}{A} (\text{kg/m}^2) \quad (4)$$

$Ca_t$  : Coefficient d'absorption d'eau ( $\text{kg/m}^2$ ).

$M_t$  : Masse de l'échantillon humide (kg).

$M_0$  : Masse de l'échantillon sec (kg).

$A$  : Surface de l'éprouvette au contact avec l'eau ( $\text{m}^2$ ).

## II.4 CONCLUSION

Dans ce chapitre, nous avons identifié et défini les matériaux employés dans cette étude, qui ont été élaborés, ce qui constitue une étape indispensable afin de vérifier leurs conformités.

Nous avons pu noter les points suivants :

- Une analyse granulométrie qui présente un squelette granulaire continu.
- Grâce à l'observation au MEB, nous avons pu identifier la structure microporeuse des fibres de palmier dattier, ce qui explique leur capacité à absorber l'eau. En comparaison avec les fibres de polypropylène, les propriétés mécaniques des fibres de palmier dattier sont intéressantes.
- La caractérisation des BAP à l'état frais fibrés ou non permet de vérifier leur caractère autoplaçant. Il est important de déterminer certaines propriétés mécaniques les plus recherchées, telles que les résistances mécaniques, le retrait et la fissuration.

Le chapitre suivant présente les formulations élaborées des BAP pour déterminer la composition optimale, avec des critères bien déterminés.

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES chapitre II***

---

- AFPC-AFREM (1997). Méthodes recommandées pour la mesure des grandeurs associées à la durabilité, Compte-rendu des journées techniques AFPC-AFREM « Durabilité des bétons » Toulouse.
- Bensebti Salah Eddine (2008). Formulation et propriétés des bétons autoplaçants à base de matériaux locaux. thèse de doctorat, université Mentouri-Constantine.
- Boutarfa, M., Belouettar, R., Makradi, A. (2018). "Comparative Study of Cement Mortar Reinforced with Vegetable Fibers Alfa, Date Palm and Diss: Mechanical Properties and Shrinkage." J. Mater. Environ. Sci. **9-2304-14**.
- Brundtland, G. H., Khalid, M., others. Notre avenir à tous, Editions du Fleuve, Montréal, QC, CA. (1988).
- Derdour, D., M. Behim, et al. (2023). "Effect of date palm and polypropylene fibers on the characteristics of self-compacting concretes: comparative study." Frattura ed Integrità Strutturale **17(64)**: 31-50.
- Kriker, A., Debicki, G., Bali, A., Khenfer, M.M., Chabannet, M. (2005). "Mechanical properties of date palm fibres and concrete reinforced with date palm fibres in hot-dry climate, ." Cem. Concr. Compos., *27(5)*, pp. 554-64.
- Laboratoire-SCHS-Cimenterie-HadjarEssoud (2023). Fiche-technique-CEMII/A42.5, Ciment portland compose CPJ-CEMII/A 42.5.
- Laboratoire-SNC-BEXCAR BENBRAHIM (2022). Fiche-technique-Filler Calcaire 10N. S. B. B. E. ASSOCIES.
- Magniont, C. (2010). Contribution à la formulation et à la caractérisation d'un éco-matériau de construction à base d'agro-ressources. Doctoral thesis., INSA, Toulouse, France.
- NA-442 (2005). Ciment, composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants.
- NF-EN-206-9 (2010). La norme béton autoplaçant règles complémentaires pour le béton autoplaçant. Norme française homologuée.
- NF-EN-933-01 (2012). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats – Détermination de la granularité – Analyse granulométrique par tamisage
- NF-EN-933-03 (2012). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - partie 3: détermination de la forme des granulats- coefficient d'aplatissement.
- NF-EN-933-08 (2012). Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats - Partie 8 : évaluation des fines - Équivalent de sable, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-1097-01 (2011). Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - Partie 1 : détermination de la résistance à l'usure (micro-Deval), Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-1097-03 (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 Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-1097-06 (2014). 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. norme française homologuée par décision du directeur Général d'AFNOR.

- NF-EN-12350-06 (2012). Essai pour béton frais - Partie 6 : masse volumique, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-12350-07 (2019). Essai pour béton frais - Partie 7 : teneur en air - Méthode de la compressibilité, Eur. Stand. AFNOR. .
- NF-EN-12350-08 (2010). Essai pour béton frais - Partie 8 : béton autoplaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-12350-10 (2010). Essai pour béton frais - Partie 10 : béton autoplaçant - Essai à la boîte en L, Eur. Stand. AFNOR..
- NF-EN-12350-11 (2010). Essai pour béton frais - Partie 11 : béton autoplaçant - Essai de stabilité au tamis, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-12390-03 (2019). Essai pour béton durci Partie 3: Résistance à la compression des éprouvettes, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-EN-12390-05 (2019). Essai pour béton durci, partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvette, Eur. Stand. AFNOR.
- NF-P15-433 (1994 ). Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement.
- P18-573 (1990). Granulats - Essai de Los Angeles, Eur. Stand. AFNOR.
- P18-591 (1990). Granulats-Détermination de la propreté superficielle.
- Plastifiant viscocrete-3045. (2021). "<https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/w/sika-viscocrete-3045.pdf>." Retrieved Decembre 2021.
- Sedran T (1999). Rhéologie et Rhéométrie des bétons : application aux bétons autonivelants, Thèse de Doctorat l'ENPC., France.
- Sellami, A., Merzoud, M., Amziane, S. (2013). "Improvement of mechanical properties of green concrete by treatment of the vegetals fibers, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.05.073>." Constr, Build, Mater. **1117–24**(47).
- Sika fibre Fiche technique. (2020). "[https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/g/sikafiber\\_-12-34.pdf](https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/g/sikafiber_-12-34.pdf). ." Fibre de polypropylène Retrieved 12-34.
- Tioua, T., Kriker, A., Barluenga, G., Palomar, I. (2017). "Influence of date palm fiber and shrinkage reducing admixture on self-compacting concrete performance at early age in hot-dry environment, <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.229>." Constr. Build. Mater., **154**, pp. 721–33, Doi.
- XP-P18-540 (1997). Granulats - Définitions, conformité, spécifications, Eur. Stand. AFNOR.

**Chapitre III**  
**Optimisation de la composition du BAP effet**  
**du diamètre maximum de gros granulats et du**  
**rapport (G/S).**

### III.1 INTRODUCTION

Nous abordons dans ce chapitre la méthode de formulation et les différentes compositions des BAP non fibrés, ainsi que les résultats préliminaires obtenus, à l'état frais, à l'état durci.

Il existe plusieurs méthodes et recommandations pour la composition des BAP, dont le rapport gravier/sable (G/S) est habituellement proche de (1) et le diamètre des gros granulats ( $D_{max}$ ) est limité à 16 (20) mm. Ces limites sont justifiées par la nécessité de réduire les risques de blocage engendrés par les frottements intergranulaires, ce qui se traduirait par une perte notable de l'écoulement du BAP. Un autre paramètre pourrait aussi contribuer à la limitation de ces frottements, il s'agit d'augmenter le volume de pâte par l'emploi d'addition tout en gardant le dosage en ciment équivalent à celui du béton classique.

Il y a deux parties dans ce chapitre :

- **Dans un premier temps**, il est nécessaire de concevoir et d'améliorer la structure d'un BAP. en termes de diamètre maximal des gros granulats ( $D_{max}$ ) parmi trois valeurs 12, 16 et 20 (mm), et cela dans le but d'optimiser le diamètre du gros granulats, tout en satisfaisant les paramètres d'autoplaçance optimums, tout en préservant les propriétés mécaniques du BAP. La composition choisie sera utilisée comme fondement pour la deuxième partie.
- **La partie suivante** inclut une amélioration de la formulation d'un BAP, en termes de rapport G/S parmi trois valeurs ( $G/S=1$ ,  $G/S=1.4$  et  $G/S=1.6$ ), à partir du diamètre idéal obtenu dans la première section.

Les deux parties visent à établir une composition de BAP idéale en ce qui concerne le diamètre maximum des gros granulats et le rapport (G/S). La deuxième partie donnera lieu à la formulation de BAP avec l'emploi de fibres de palmier dattier et des fibres synthétiques de polypropylène.

## **III.2 FORMULATION ET OPTIMISATION DU BAP SANS FIBRES**

La méthode japonaise développée par (Okamura, H et al. 1995) a été utilisée pour la formulation du (BAPR), mais avec des ajustements selon les paramètres fixés préalablement en termes de rapport G/S et de diamètre du granulat.

Nous rappelons les principaux critères sur lesquels repose cette méthode :

- La quantité de ciment est déterminée en se conformant aux critères de résistance.
- La quantité de gravillon est limitée à 50% du volume du solide.
- Le volume de sable est de 40% du mortier.
- On établit les quantités d'eau et de superplastifiant en effectuant des essais expérimentaux sur BAP à l'état frais.

### **III.2.1 Caractéristiques visées du BAP (pour un béton d'ouvrage)**

- **A l'état frais :**
  - Etalement : 55 et 85 (cm), ce domaine d'étalement couvre le coulage vertical et horizontal (Walraven 2003).
- **A l'état durci :**
  - Classe de résistance pour un béton d'ouvrage de 25/30 MPa (EN-206-01 2004).

## **III.3 PREMIERE PARTIE : Optimisation de la composition du BAP avec rapport gravier-sable (G/S) fixe et égale à 1 et Dmax variable (12 – 16 et 20) mm**

### **III.3.1 Compositions des BAP**

- Diamètre maximum des gros granulats (Dmax) : 12, 16 et 20 mm.
- La proportion de gravier/sable (G/S) est de 1

Avant de mettre en place les formulations, nous avons établi les paramètres suivants:

- Dosage en ciment à 350 Kg/m<sup>3</sup> ;
- Dosage en adjuvant est effectuée de façon expérimentale. pour atteindre l'étalement visé SF (550 -850) mm (EN-12350-09 2010).

Après avoir effectué plusieurs corrections les compositions retenues sont données au (Tableau III-1).

Table III- 1. **Compositions du BAPR avec G/S = 1 et Dmax variable.**

Désignation	Unité	BAP12	BAP16	BAP20
		G/S =1		
		Dmax = 12	Dmax = 16	Dmax = 20
Ciment	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350
Sable de dune		474.7	474.7	474.7
Sable de carrière		358.2	358.2	358.2
Gravillon 3/8		341.78	171.7	103.27
Gravier 8/12		490.13	-	-
Gravier 8/16		-	659.32	222.8
Gravier 16/20		-	-	498.33
Eau		182	182	182
FC		174	174	174
SP	%	0.95	0.95	0.95

BAP12 – BAP formulé avec un Dmax de 12mm

BAP16 – BAP formulé avec un Dmax de 16mm

BAP20 – BAP formulé avec un Dmax de 20mm

### III.3.2 Résultats de la variation de Dmax sur les propriétés BAPR à son état frais

#### III.3.2.1 Étalement au cône d'Abrams

La (Figure III-1) présente les résultats obtenus concernant l'étalement des BAP12, BAP16 et BAP20.

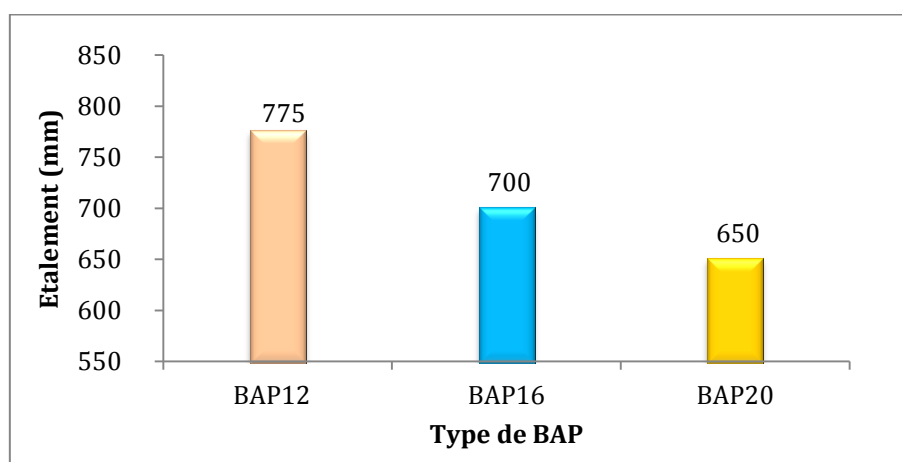


Figure III- 1. **Effet du D max sur l'étalement des BAP.**

La norme (EN-206-09 2010) a établi trois classes d'étalement :

- La classe SF1 : de 550 à 650mm.
- La classe SF2 : de 660 à 750mm.

- La classe SF3 : de 760 à 850 mm.

L'augmentation du Dmax entraîne une diminution de l'étalement conséquente, à tel point que le BAP20 a été déclassé de la classe SF2 à la classe SF1 ce qui a pour conséquence une limitation de domaine d'application (valable uniquement pour le coulage vertical) (Walraven 2003). Ces résultats peuvent être expliqués par l'augmentation des frottements intergranulaires (Ozawa, 1991) résultant de l'encombrement, ce qui gêne l'écoulement du BAP et limite ainsi son étalement, c'est la raison pour laquelle toutes les approches de formulation limitent la taille des gros granulats.

### III.3.2.2 Sur la durée d'écoulement T500

Les conclusions tirées du temps d'écoulement T500 sur les, BAP12, BAP16 et BAP20 sont présentés sur la (Figure III-2).

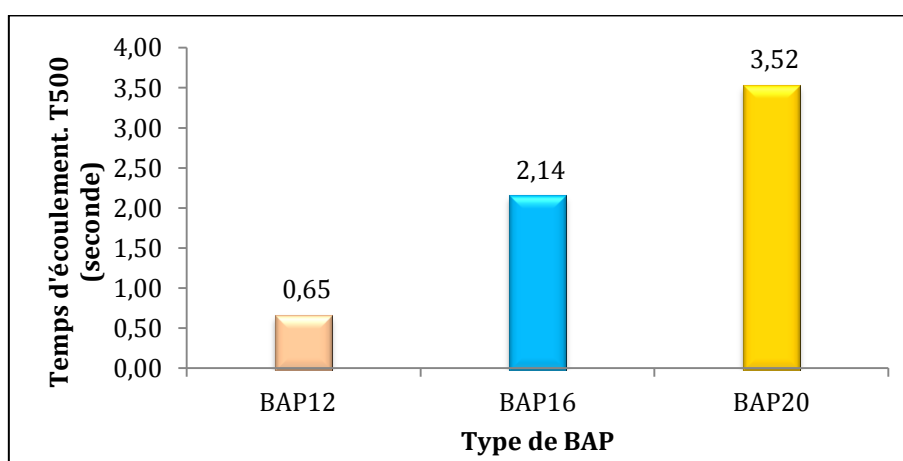


Figure III- 2. Effet du Dmax sur le temps d'écoulement le T500 des BAP.

La durée requise pour que le béton atteigne un diamètre de 500 mm (EN-12350-09 2010), présente une indication de la viscosité du BAP. La norme (EN-12350-09 2010), définit deux classes de viscosité apparente :

- VS1 < 2 secondes
- VS2 ≥ 2 secondes

On sait que les granulats influent sur l'ouvrabilité par leur volume et par leurs dimensions en relation avec le volume de pâte dans le BAP (El Barrak 2005).

Le même résultat obtenu sur l'étalement est constaté aussi sur le temps d'écoulement T500, dans le sens où on note une augmentation du temps d'écoulement qui s'accroît proportionnellement avec l'augmentation du diamètre des granulats. Les études ont montré que la viscosité apparente minimale des BAP était obtenue par des compacités granulaires élevées (Khayat, KH et al. 2000), (Aïssoun 2011), (De Larrard, F et al. 1999), (Wellner, Köhler et al. 2007). Or, avec l'augmentation de Dmax, le volume des vides intergranulaires augmente aussi, ce qui nécessitait l'optimisation du volume de pâte.

Les BAP12 et BAP20 ont été déclassés de la première classe (VS1) à la deuxième classe (VS2), ce qui a un impact sur leur domaine d'utilisation en relation avec la position (verticale ou horizontale) de coulage (Walraven 2003).

### III.3.2.3 Sur la stabilité à la ségrégation

Les observations effectuées sur la stabilité au tamis des BAP12, BAP16 et BAP20 sont illustrées dans la figure (Figure III-3)

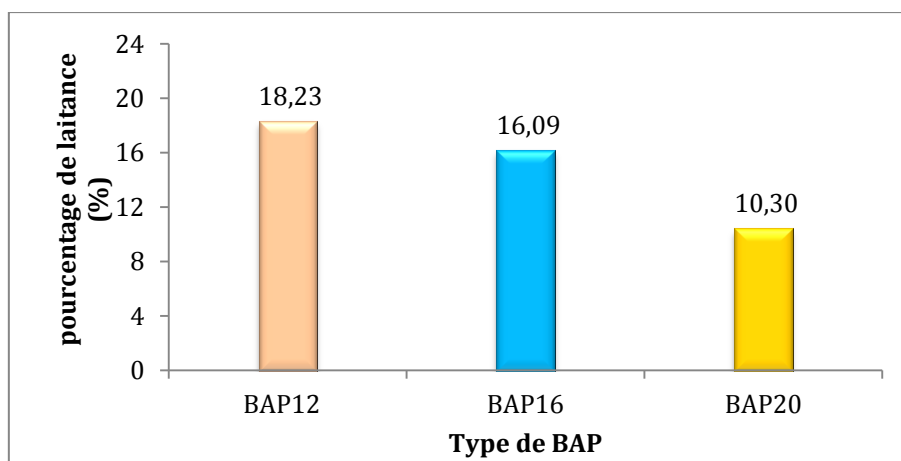


Figure III- 3. Impact du Dmax sur la stabilité à la ségrégation des BAP.

Selon la norme (EN-206-09 2010) il existe deux catégories de stabilité au tamis :

- Taux de laitance SR1  $\leq$  20 %.
- Taux de laitance SR2  $\leq$  15 %.

Selon les résultats obtenus, il est observé une baisse de la quantité de laitance lorsque le diamètre des granulats augmente de manière significative pour le BAP20, qui reste cependant dans le domaine des valeurs préconisées par la norme (EN-206-09 2010).

#### III.3.2.4 Sur le taux de remplissage (L-Box)

Les résultats obtenus sur le taux de remplissage des BAP12, BAP16 et BAP20 sont exposés dans la (Figure III-4)

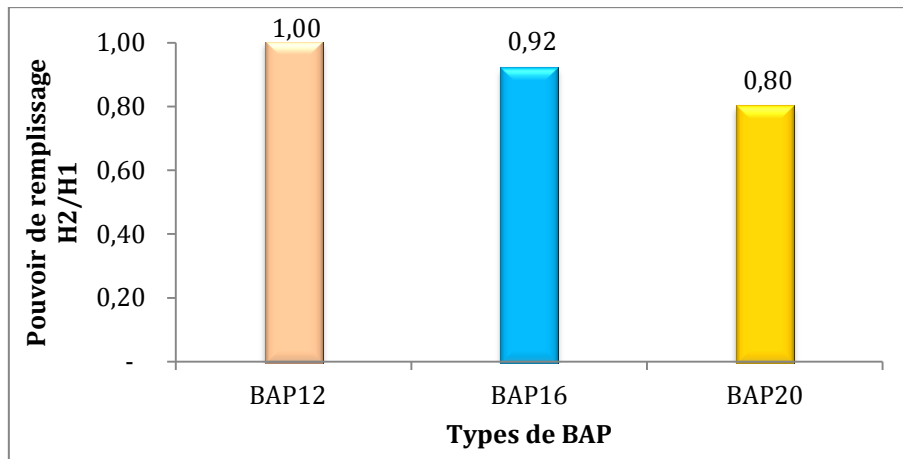


Figure III- 4. Contribution du Dmax sur le taux de remplissage.

Tous les BAP satisfont la norme (EN-206-09 2010) en ce qui concerne les taux de remplissage ( $H2/H1 \geq 0.8$ ). Toutefois, l'augmentation de Dmax entraîne une réduction du pouvoir de remplissage. En effet, L'encombrement granulaire augmente à mesure que la taille du granulat augmente, ce qui entraîne également une augmentation du risque de blocage.

#### III.3.3 Effet du Dmax sur les caractéristiques des BAP à l'état durci

La (Figure III-5) présente les conclusions obtenues en ce qui concerne la résistance en compression des BAP.

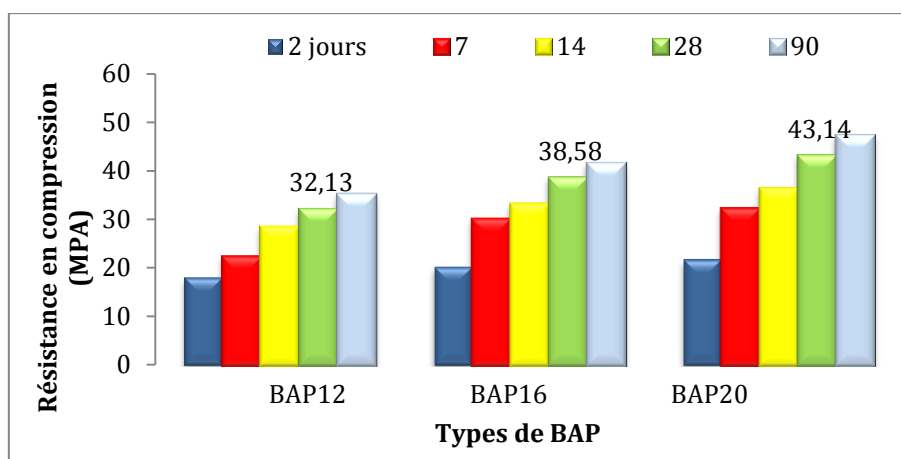


Figure III- 5. Effet du D max sur la résistance en compression.

Les résultats obtenus indiquent que lorsque Dmax augmente, la résistance en compression augmente. Certains auteurs attribuent l'augmentation de la résistance en compression à la grosseur du granulat (Vilane and Sabelo 2016).

### III.3.4 Conclusion de la première partie

Le BAP20 présente une valeur du taux de remplissage limite, c'est pourquoi la fraction de granulat (16/20) sera écartée dans la suite du travail. Les BAP12 et BAP16 répondent aux critères d'un BAP Concernant l'étalement, la stabilité au tamis et le taux de remplissage. Pour la suite du travail nous avons retenu le BAP16, car nous avons privilégié plutôt un  $D_{max} = 16$  mm, dans le but de vérifier la compatibilité d'un  $D_{max}$  de 16 mm avec l'incorporation des fibres végétales et leurs effets sur les caractéristiques d'autoplaçance du BAP d'une part et de privilégier la résistance mécanique d'autre part.

## III.4 DEUXIEME PARTIE : Amélioration de la structure des BAP en maintenant un Dmax fixe à 16 mm et en modifiant le rapport G/S (1 à 1,6 et 2).

### III.4.1 Compositions des BAP

Cette partie consiste à faire varier le rapport G/S de 1, 1.6 et 2 en utilisant une valeur maximale de  $D_{max} = 16$  mm. En effectuant des gâchés préliminaires, il a été constaté que la formulation d'un BAP avec un rapport G/S de 2 et un diamètre maximal de 16 mm est difficile, en préservant les autres facteurs constants. Car, sans fibres, le BAP2 présente déjà une instabilité caractérisée par un fort ressuage et un début de

ségrégation est observé dans la (Figure III-6) et des gros granulats sont bloqués au niveau des barres de la boîte en L, Tel que représenté dans la (Figure III-7).

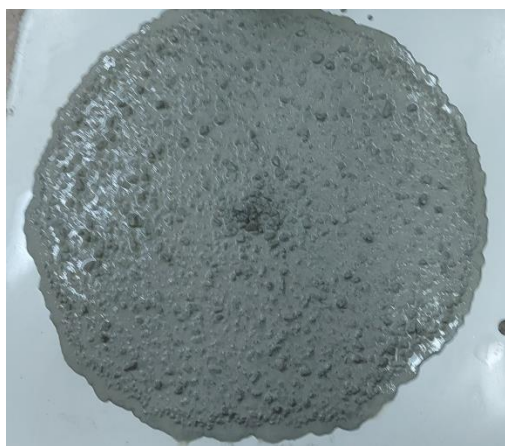


Figure III- 6. **Le ressuage et la ségrégation semblent être visibles lors de l'essai d'étalement sur le BAP2. avec (G/S = 2 et Dmax = 16mm).**



Figure III- 7. **Blocage des granulats au niveau des barres de la boîte en L du BAP2 avec (G/S = 2 et Dmax = 16mm).**

Sachant que le BAP sera fibré et on sait l'effet des fibres végétales sur l'ouvrabilité du béton, nous avons limité le rapport G/S maximum à 1,6 pour la suite du travail. Cette mesure est préventive, car en introduisant des fibres végétales, on peut s'attendre à une détérioration des caractéristiques d'autoplaçance.

Le (Tableau III-2) présente les compositions des BAP

Table III- 2. **Compositions des BAP avec Dmax = 16 et G/S variable.**

Désignation	Unité	BAP1	BAP1.4	BAP1.6
		D max = 16 mm		
		G/S = 1	G/S = 1.4	(G/S = 1.6)
Ciment	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350
Sable de dune		474.7	384.74	297.5
Sable de carrière		358.2	284.7	291.25
Gravillon 3/8		171.7	465.83	476.25
Gravier 8/16		659.32	490.67	476.25
Eau		182	182	182
FC		180	180	180
SP	%	1	1	1

BAP1 – BAP formulé avec un rapport (G/S= 1)

BAP1.4 – BAP formulé avec un (G/S= 1.4)

BAP1.6 – BAP formulé avec un (G/S= 1.6)

### III.4.2 Résultats sur l'effet du rapport G/S sur les caractéristiques des BAP à l'état frais

#### III.4.2.1 Étalement au cône d'Abrams

Les résultats de l'effet du rapport G/S sur l'étalement au cône d'Abrams sont présentés sur la (Figure III-8).

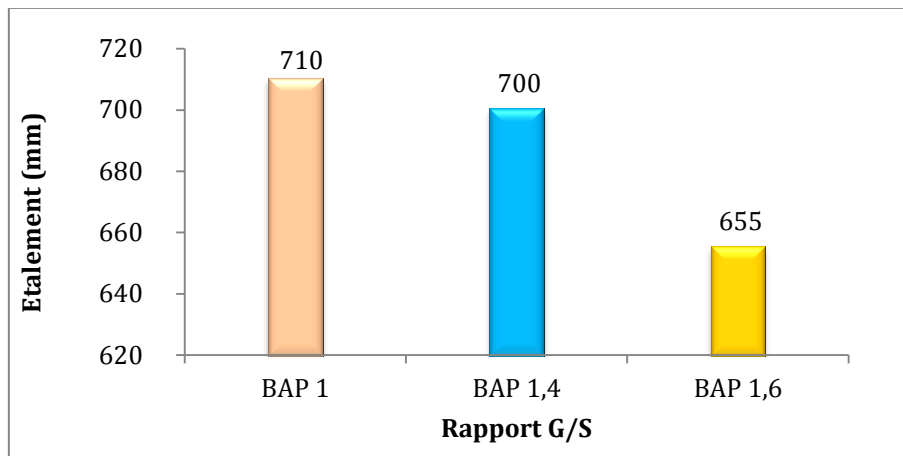


Figure III- 8. Effet du rapport G/S sur l'étalement des BAP.

L'étalement est influencé par le rapport G/S, ce dernier diminue lorsque le rapport G/S augmente, La baisse s'élève à environ 1,4 % et 7,7 % respectivement, avec des rapports G/S de 1,4 et 1,6. par rapport au BAP1 (G/S=1). Lorsque le volume des granulats augmente, leur concentration augmente aussi, entraînant ainsi une croissance des frottements intergranulaires ce qui conduit à la réduction de l'étalement.

L'objectif est de maintenir un volume de pâte constant, afin de mettre en évidence l'effet du rapport (G/S) sur les caractéristiques d'autoplaçance.

### III.4.2.2 Sur le temps d'écoulement T500

Les résultats concernant la durée d'écoulement sont présentés dans la (Figure III-9).

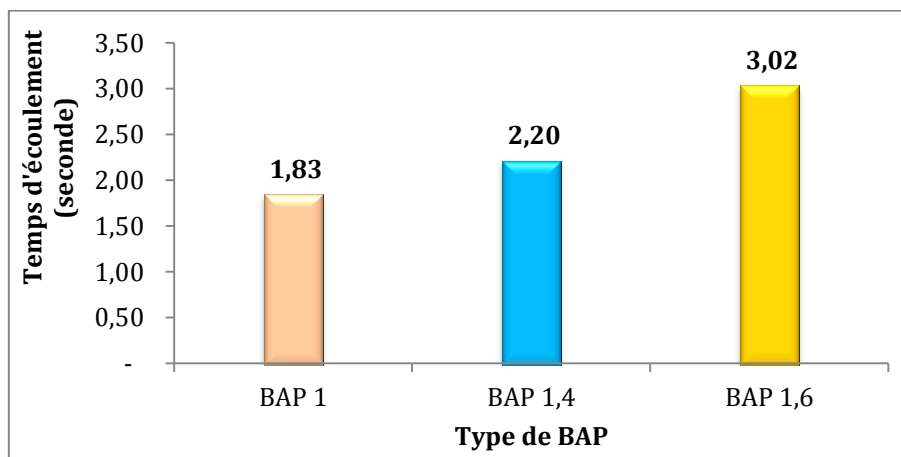


Figure III- 9. Effet du rapport G/S sur le temps d'écoulement.

Lorsque le volume des granulats augmente, leur concentration dans le béton augmente aussi, et les frottements intergranulaires s'accroissent, ce qui ralentit la mobilité du BAP et peut même le bloquer, par conséquent le temps d'étalement augmente.

Cette augmentation du T500 est de 16.81% et 39% respectivement du BAP 1,4 et 1,6 par rapport au (BAP R1).

Ces résultats peuvent être expliqués comme suit : on sait que la vitesse d'écoulement des BAP peut varier selon le volume de la pâte et de sa viscosité. Le débit d'écoulement diffère considérablement (El Barrak 2005). Or, dans cette partie de travail on a volontairement maintenu le volume de pâte et le dosage en eau constants, afin de mettre en évidence l'effet du volume des granulats sur l'ouvrabilité du BAP. Lorsque le volume des granulats augmente, il demande un plus grand volume de pâte pour l'enrobage et donc l'écartement des grains pour réduire leur friction et faciliter l'écoulement du BAP.

De plus, la plupart des techniques de formulation des BAP requièrent principalement une réduction du volume et de la granulométrie des gros granulats (AFGC 2010).

### III.4.2.3 La stabilité a la ségrégation

On peut observer les résultats concernant la stabilité au tamis dans la (Figure III-10).

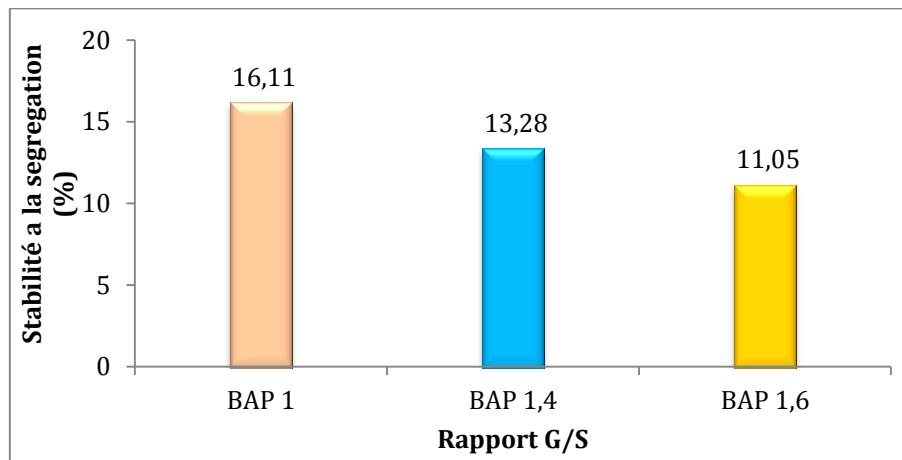


Figure III- 10. **Contribution du G/S sur la stabilité a la ségrégation des BAP.**

Les 3 BAP ont des valeurs de stabilité au tamis qui s’inscrivent dans le domaine des valeurs préconisées par la norme (EN-206-09 2010) qui définit deux classes:

- SR1 < 20%
- SR2 < 15%.

L'analyse des résultats révèle une diminution de la laitance à mesure que la taille des granulats augmente (Dmax).

Les trois BAP n’appartiennent pas à la même classe de stabilité, ce qui signifie qu’ils n’auront pas les mêmes applications. Le (BAPR1) peut être utilisé pour le coulage des éléments de faible épaisseur. Alors que les (BAPR1,4) et (BAPR1,6) peuvent plutôt être employés pour les utilisations verticales (Walraven 2003).

### III.4.2.4 Le Taux de remplissage L-Box

Les résultats concernant le taux de remplissage sont présentés dans la (Figure III-11).

Il est essentiel que le BAP circule en continu à travers la plus petite maille d'armatures afin de remplir le coffrage, comme il est décrit par la norme (EN-12350-10 2010).

Il existe deux types de taux de remplissage qui ont été définis par la norme (EN-206-09 2010) :

- PL1 est supérieur à 0,8 avec deux armatures
- PL2 est supérieur à 0,8 avec trois armatures

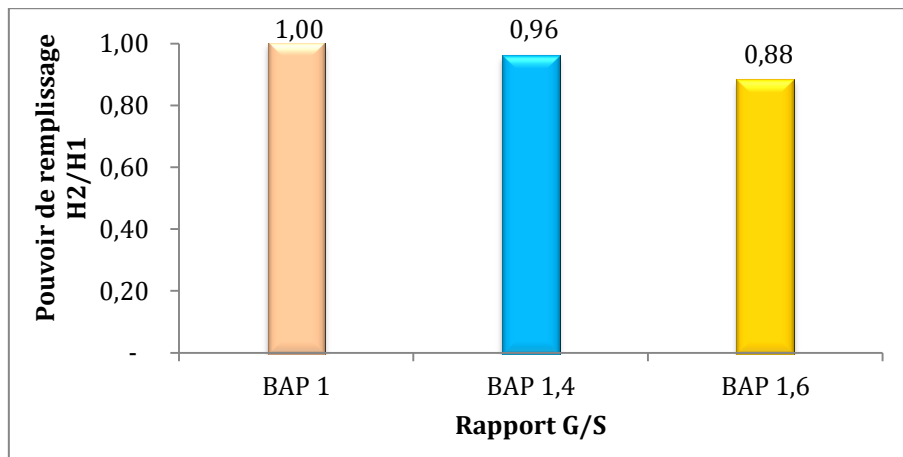


Figure III- 11. **Influence du rapport G/S sur le taux de remplissage des BAP.**

Il est observé que les valeurs du taux de remplissage dans la boîte en L baissent, avec l'augmentation du rapport G/S, cette diminution est relativement modérée de 4% et 12% respectivement pour le (BAP1,4) et (BAP1,6). Il faut signaler que le pouvoir de remplissage du (BAP1) est optimal et égal à 1, C'est pour cette raison que le pouvoir de remplissage des deux (BAP1,4) et (BAP1,6) est très satisfaisant..

### III.4.3 Effet du rapport G/S sur les BAP à l'état durci

La Figure III-12 présente les résultats de l'impact du rapport (G/S) sur la capacité de résister en compression des BAP.

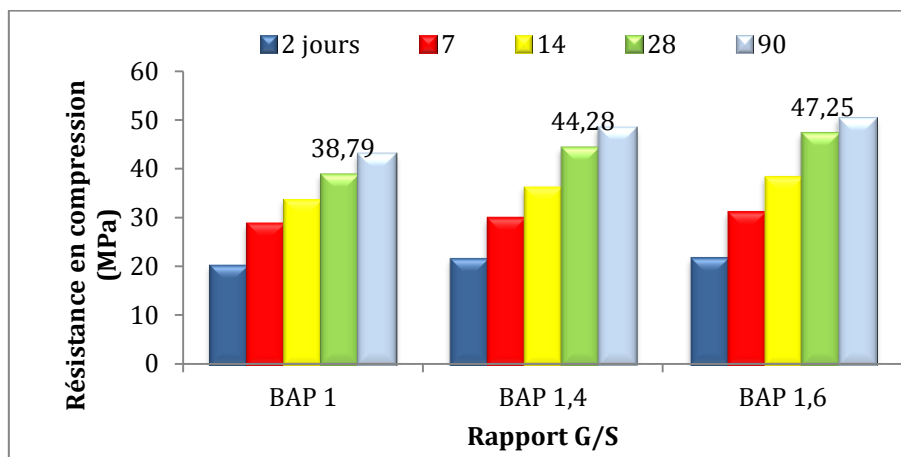


Figure III- 12. **Impact du rapport G/S sur la résistance en compression des BAP.**

On sait que les gros granulats améliorent la résistance en compression (Góra, Jacek et al. 2020) et (Stock A.F, Hannant et al. 1979), Les résultats obtenus confirment cette tendance.

### III.4.4 Conclusion de la seconde partie

Sur toutes les propriétés des BAP à l'état frais le (BAP1) est celui qui présente les paramètres optimums d'autoplaçance, ce qui confirme la valeur (G/S= 1) recommandée par beaucoup d'approches de formulation. Cependant, la résistance en compression, qui constitue un paramètre indirect de durabilité, la meilleure valeur est donnée par le (BAP1.6) avec les caractéristiques les moins élevées à l'état frais.

Le (BAP1,4) présente des caractéristiques aux conditions frais similaires à celles du (BAP1) et une résistance en compression assez proche de celle du (BAP1.6), il constitue ainsi un bon compromis entre les caractéristiques à l'état frais et celles à l'état durci. Ainsi, la formulation de base du (BAP1,4) sera utilisée pour formuler les bétons autoplaçants fibrés.

### III.5 CONCLUSION

La première partie visait à améliorer la composition du BAP en ce qui concerne le Dmax et le rapport G/S dans son ensemble. Les résultats obtenus permettent de choisir une formulation qui servira comme base pour introduire les fibres. Le (BAPR1.6) a été écarté en raison de ses faibles caractéristiques d'autoplaçance notamment l'étalement (65,5cm) et sa faible viscosité ( $T_{500} = 3,02$  secondes).

D'une part l'emploi d'un BAP avec un rapport G/S de 1,4 est relativement originale comparativement à BAP avec un rapport de  $G/S = 1$  et d'autre part les caractéristiques du (BAP1.4) sont comparables à celles du (BAP1). Pour ces raisons, la composition qui servira pour la formulation des BAP fibrés est celle avec un rapport G/S égale à 1,4 et  $D_{max} = 16$  mm.

## ***RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES Chapitre III***

---

- AFGC (2010). "Association française de Génie Civil. Recommandations provisoires pour l'emploi des Bétons Autoplaçants." 64
- Aïssoun, B. (2011). "Study of the influence of aggregate characteristics on the rheology of fluid concrete with adapted rheology." M. Sc. Thesis. Université de Sherbrooke.
- béton, T. s. l. (2022). " [https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/comment-choisir-la-dimension-du-gravier-pour-beton/.](https://www.toutsurlebeton.fr/le-ba-ba-du-beton/comment-choisir-la-dimension-du-gravier-pour-beton/) "
- Cordon, W. A. and H. A. Gillespie (1963). Variables in concrete aggregates and Portland cement paste which influence the strength of concrete. Journal Proceedings.
- De Larrard, F, et al. (1999). Une nouvelle approche de la formulation des bétons. Annales du BTP.
- El Barrak, M. (2005). Contribution à l'étude de l'aptitude a l'écoulement des bétons autoplaçants à l'état frais, université de Toulouse III.
- EN-206-01 (2004). "pré-norme européenne expérimentale, (2004), normalisation européenne réalisé par le TC 104 du Comité Européen de Normalisation (CEN)."
- EN-206-09 (2010). La norme béton autoplaçant règles complémentaires pour le béton autoplaçant. Norme française homologuée.
- EN-12350-09 (2010). "Essai pour béton frais - Partie 9 : béton auto-plaçant -essai à la viscosité apparente - Essai d'écoulement à l'entonnoir en V."
- EN-12350-10 (2010). Essai pour béton frais - Partie 10 : béton autoplaçant - Essai à la boîte en L, Eur. Stand. AFNOR..
- Góra, j., Jacek, et al. (2020). "Influence of maximum aggregate grain size on the strength properties and modulus of elasticity of concrete." Applied Sciences 10(11): 3918.
- Khayat, KH, et al. (2000). "Testing and performance of fiber-reinforced, self-consolidating concrete." Materials and Structures 33: 391-397.
- Okamura, H, et al. (1995). "Mix design for self-compacting concrete." Concrete library of JSCE 25(6): 107-120.
- Stock A.F, D. J. Hannant, et al. (1979). "The effects of aggregate concentration upon the strength and modulus of elasticity of concrete." Magazine of Concrete Research 3(109): 225-234.
- Vilane, B. R. T. and N. Sabelo (2016). "The effect of aggregate size on the compressive strength of concrete." Journal of Agricultural Science and Engineering 2(6): 66-69.
- Walraven, J. (2003). "Structural aspect of self-compacting concrete." proceedings of the third international RILEM conference on SCC: 15-22.
- Wellner, F., M. Köhler, et al. (2007). Dauerhafte Verkehrsflächen mit Betonpflastersteinen: richtig planen und ausführen;[Betonstein], Informationsstelle Beton-Bauteil

## **CHAPITRE IV**

# **IMPACT DE LA LONGUEUR ET DU TAUX EN FIBRES DE PALMIER DATTIER SUR LES CARACTERISTIQUES DES BAP A L'ETAT FRAIS ET DURCI**

## II.5 INTRODUCTION

Les conséquences de l'ajout des fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des bétons autoplaçants sont examinées ; exploités et expliqués dans ce chapitre.

Ce chapitre se divise en deux sections :

1. **Première section:** les résultats obtenus sur l'effet du dosage en fibres végétales et synthétiques de longueur fixe et égale à 12 mm sur les caractéristiques des BAP à la fois à l'état frais et durci.
2. **Deuxième section:** étude des conséquences de la taille des fibres végétales de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durci

Afin de simplifier la compréhension des illustrations, le tableau IV-1 résume la dénomination des bétons autoplaçants que nous avons étudiés.

Table IV- 1. **Désignation des BAP.**

BAP de référence sans fibres	BAP R
BAP avec fibres de polypropylène de longueur 12 mm et un dosage de 600 gr/m <sup>3</sup>	BAP P12 600
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 12 mm et un dosage de 600 gr/m <sup>3</sup>	BAP D12 600
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 20 mm et un dosage de 600 gr/m <sup>3</sup>	BAP D20 600
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 30 mm et un dosage de 600 gr/m <sup>3</sup>	BAP D30 600
BAP avec fibres de polypropylène de longueur 12 mm et un dosage de 900 gr/m <sup>3</sup>	BAP P12 900
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 12 mm et un dosage de 900 gr/m <sup>3</sup>	BAP D12 900
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 20 mm et un dosage de 900 gr/m <sup>3</sup>	BAP D20 900
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 30 mm et un dosage 900 gr/m <sup>3</sup>	BAP D30 900
BAP avec fibres de polypropylène de longueur 12 mm et un dosage de 1200 gr/m <sup>3</sup>	BAP P12 1200
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 12 mm et un dosage de 1200 gr/m <sup>3</sup>	BAP D12 1200
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 20 mm et un dosage de 1200 gr/m <sup>3</sup>	BAP D20 1200
BAP avec fibres de palmier dattier de longueur 30 mm et un dosage de 1200 gr/m <sup>3</sup>	BAP D30 1200

La formulation appropriée pour chaque BAP est indiquée dans le (Tableau IV-2).

CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

Table IV- 2. **Les compositions des BAP fibrés.**

Constituants	Ciment	Eau	Sable de dune	Sable de carrière	Gravillon	Gravier	Fillers calcaire	SP	fibres	SF
Unité	kg/m <sup>3</sup>	l/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	kg/m <sup>3</sup>	%	gr	Mm
Rapport G/S =1.4 et Dmax 16 mm.										
BAP 1	350	182	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1	0	700
Rapport G/S =1.4 et Dmax 16 mm avec fibre de polypropylène.										
BAP 1	350	182	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1	600	430
BAP 2	350	190	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1	600	500
BAP 3	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1	600	585
BAP 4	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1.1	600	605
BAP 5	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	180	1.2	600	665
BAP 6	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	190	1.2	600	660
BAP 7	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	200	1.2	600	630
Rapport G/S =1.4 et Dmax 16 mm avec fibre de palmier dattier 12mm.										
BAP 8	350	200	384.74	284.70	465.83	490.67	200	1.2	600	655

Quelques photos d'étalement des BAP avec fibre de palmier dattier de longueur de 12 mm

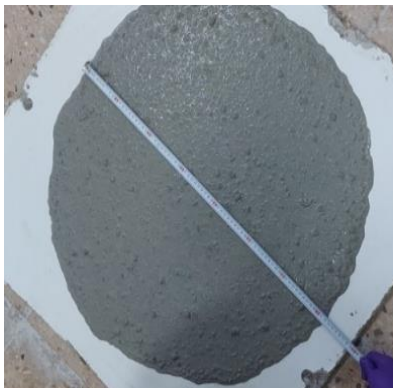


Figure IV- 1. **BAP.**

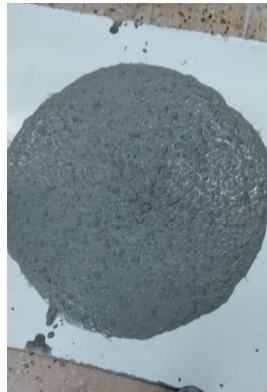


Figure IV- 2. **BAP P12.**

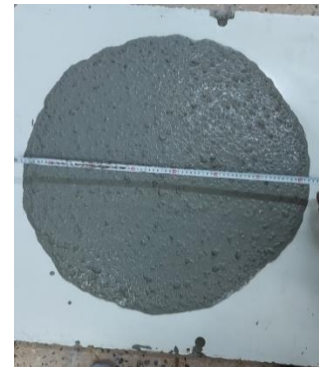


Figure IV- 3. **BAP D12.**

Les compositions des différents BAP sont données dans le (Tableau IV-3).

Table IV- 3. Les composants des BAP fibrés.

Désignation	Unité	BAP R	BAP P12	BAP D12	BAP D20	BAP D30
		Sans fibres	Longueur (mm)			
			12	12	20	30
Ciment	Kg/m <sup>3</sup>	350	350	350	350	350
Sable de dune		384.74	384.74	384.74	384.74	384.74
Sable de carrière		284.7	284.7	284.7	284.7	284.7
Gravillon 3/8		490.67	490.67	490.67	490.67	490.67
Gravier 8/16		465.83	465.83	465.83	465.83	465.83
Eau		200	200	200	200	200
FC		200	200	200	200	200
SP	%	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2

Table IV- 4. Compositions des BAP avec fibre de polypropylènes et de palmier dattier avec un dosage de (600, 900, 1200) gr/m<sup>3</sup> et (12, 20,30) mm.

Constituants	Rapport Gravier / Sable = 1,4 et Dmax = 16mm												
	BAP (Kg/m <sup>3</sup> )												
	BAP R	fibre Polypropylène 12 mm			Palmier dattier 12 mm			Palmier dattier 20 mm			Palmier dattier 30 mm		
		BAP P			BAP D								
Ciment	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350	350
Filler calcaire	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Eau	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200	200
Sable de dune (0/2)	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384	384
Sable de carrière (0/4)	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284	284
Gravillon (3/8)	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465	465
Gravier (8/16)	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490	490
SP	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6	6.6
Fibres	0	0.6	0.9	1.2	0.6	0.9	1.2	0.6	0.9	1.2	0.6	0.9	1.2
E/C	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57	0.57

## II.6 ÉLABORATION DES BAP

- *Séquence de malaxage*

Le mélange du BAP fibré et du BAP non fibré a été réalisé en utilisant une bétonnière de 60 litres qui permet de mélanger les composants par simple rotation de la cuve.

#### CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

La séquence de malaxage a été synthétisée à partir de plusieurs références bibliographiques (P.B. de Bruijn 2009; P. Monreal 2011) que nous présentons comme suit :

- Les fibres de palmier dattier sont pré-mouillées pendant 10 mn (Il est essentiel de procéder à ce pré-mouillage pour réduire les flux d'eau de la pâte de ciment vers les fibres. Par la suite, sont dispersées dans une faible quantité de ciment,
  - Introduction des granulats dans un ordre décroissant,
  - Introduction du ciment et du filler calcaire préalablement homogénéisés,
  - Mélange à sec pendant 60 secondes.
  - Un apport de 75% du volume d'eau,
  - Malaxage pendant 2 minutes,
  - Le malaxage est interrompu pendant 30 secondes et le raclage de la cuve et des palettes est effectué. Pour restaurer l'intégrité du mortier collé dans la paroi.
- .- Les 25 % restants d'eau, dont la totalité du volume du super plastifiant est diluée, sont introduites.
  - Un dernier malaxage de 3 minutes.

Cela nécessite une durée totale de 6 minutes pour le processus de malaxage. Une fois que les tests d'ouvrabilité ont été effectués, le béton est ensuite mélangé une seconde fois, afin d'effectuer le remplissage des moules qui sont préalablement préparés

Les moules remplis de béton sont recouvert d'une feuille de plastiques et maintenue à la température ambiante pendant 24 heure.



Figure IV- 4. Mise en place des moules.

Après démoulage, les éprouvettes destinées aux essais mécaniques sont conservées dans l'eau jusqu'aux échéances programmées

Alors que les éprouvettes conçues pour les essais de retrait sont conservées à une température de  $20 \pm 2$  (°C) et une humidité relative entre (50 et 65 %).

## **II.7 PREMIERE PARTIE : IMPACT DU DOSAGE EN FIBRES SUR LES CARACTERISTIQUES DES BAP A L'ETAT FRAIS ET DURCI AVEC LES FIBRES DE LONGUEUR DE 12 mm.**

Dans cette section, nous exposons les caractéristiques des BAP, à la fois frais et durci des BAP confectionné avec fibres de palmier dattier de longueur de 12 mm. (BAP D 12) comparé à un BAP non fibré (BAP R) d'une part et avec un BAP contenant des fibres de polypropylène de longueur de 12 mm (BAP P), avec (03) dosages en fibres (600, 900 et 1200)  $g/m^3$ .

### **II.7.1. EFFETS DU DOSAGE EN FIBRES SUR LES CARACTERISTIQUES DES BAP À L'ÉTAT FRAIS**

#### **II.7.1.1. *Étalement au cône d'Abrams(SF)***

La (Figure IV-1) présente les résultats obtenus sur l'étalement des BAP. Les résultats obtenus se situent dans la plage des valeurs préconisées par la norme (EN-206-09 2010) (550 et 850 mm).

Quelque soit le type de fibres, polypropylène (P) ou de palmier dattier (D), leur introduction dans les BAP, influe sur l'étalement, et entraîne une résistance à l'écoulement, qui se traduit par une diminution de ce dernier, ce qui est rapporté par plusieurs auteurs (El-Dieb and Taha 2012; Grzesiak, Pahn et al. 2021).

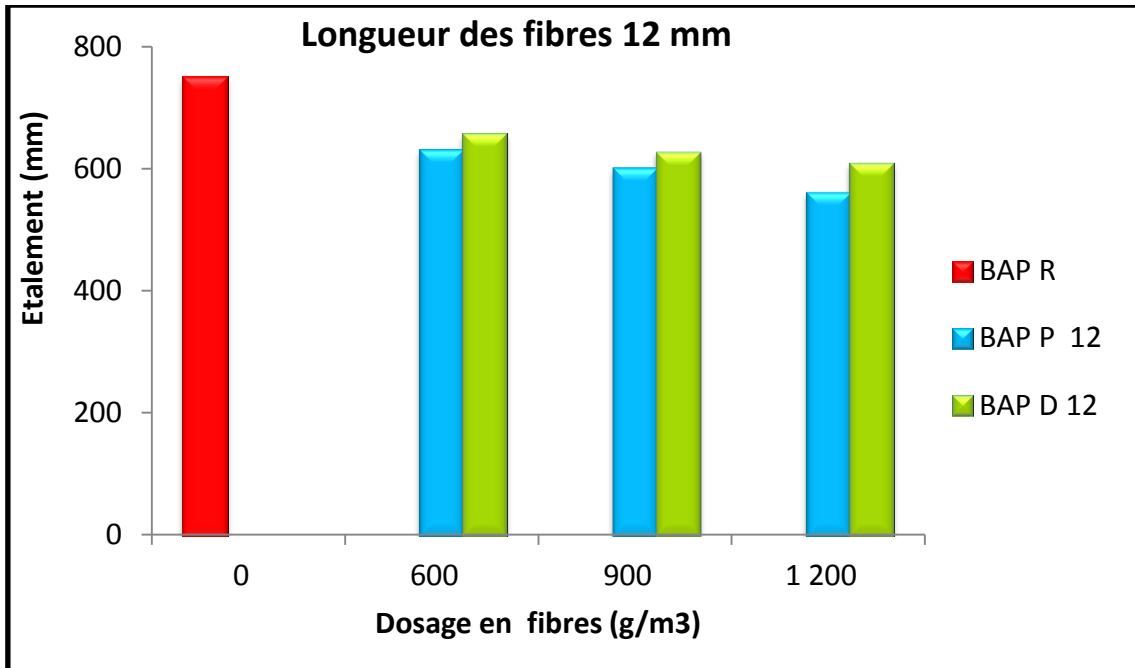


Figure IV- 5. L'impact du dosage en fibres sur l'étalement des BAP.

Lorsque le dosage en fibres augmente, cela produit une perte d'étalement de 16%, 20% et 25% , en ce qui concerne les BAP P et de 12%, 16% et 21% et pour les BAP D, respectivement aux dosages de 600,900 et 1200 gr/m<sup>3</sup>.

La diminution de l'étalement peut s'expliquer par l'encombrement généré par introduction des fibres. L'augmentation de leur dosage accroît les frottements entre les fibres et les gros granulats particulièrement.

La perte d'étalement du BAP D est moins importante que celle du BAP P. Cela résulte du fait que, les fibres de palmier dattier ont subi un pré-mouillage d'une part, mais également une autre explication qui est vraisemblable : Les fibres de polypropylène ont une masse volumique apparente inférieure comparativement aux fibres de palmier dattier. Le fabricant (Sika fibre 2020) mentionne un nombre très élevé de fibres de polypropylène pour une même quantité de fibres, à savoir  $120.10^6$

(fibres/kg), en comparaison avec les fibres de palmier dattier, déterminé expérimentalement et égal à  $35.10^4$  (fibres/kg). Même si les fibres de palmier dattier présentent une surface rugueuse, qui entrainerait une plus grande résistance à l'écoulement par rapport aux fibres de polypropylène qui ont une surface lisse.

### II.7.1.2. Le temps d'écoulement T500 (viscosité apparente)

La (Figure IV.6) présente les résultats obtenus concernant le temps d'étalement des différents BAP.

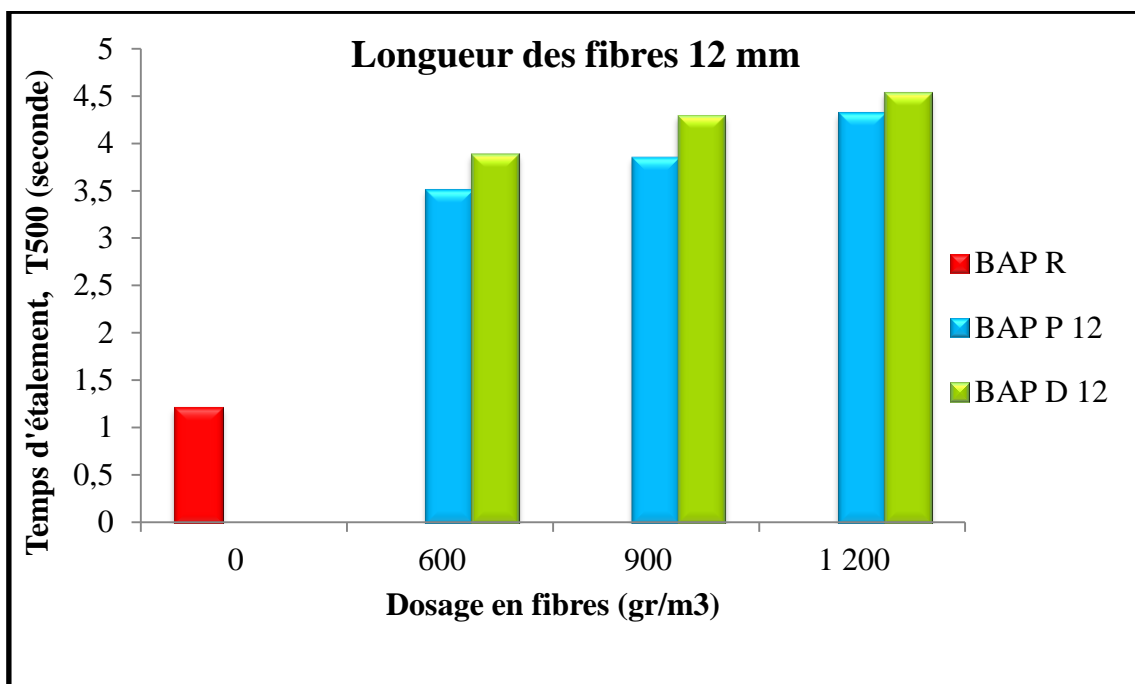


Figure IV- 6. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le temps d'écoulement.

Les temps d'écoulement des BAP fibrés sont plus lents que celui du BAP R sans fibre. Ces augmentations du  $T_{500}$  dépendent de la nature et du dosage des fibres. Ainsi une augmentation du temps d'écoulement de l'ordre de 65%, 69% et 72% a été observée en utilisant des fibres de polypropylène, alors que les fibres de palmier dattier ont entraîné une augmentation du  $T_{500}$ , de 69%, 72% et 73%, respectivement avec les dosages 600, 900 et 1200  $gr/m^3$  par rapport au BAP R.

Les BAP P ont des temps d'écoulement plus courts que ceux des BAP D. Les facteurs influençant ce comportement sont nombreux et contradictoires.

Ainsi le fait que les fibres de polypropylène soient plus nombreuses que les fibres de palmier dattier, peuvent entraîner un ralentissement du temps d'écoulement des BAP P. Les fibres de palmier dattier, présentent une surface rugueuse qui pourrait entraîner une prolongation des temps d'écoulement des BAP D, les résultats obtenus semblent valider la prépondérance de cette dernière hypothèse.

### II.7.1.3. La stabilité au tamis

Les résultats obtenus sur la stabilité au tamis sont exposés dans la (Figure IV-7).

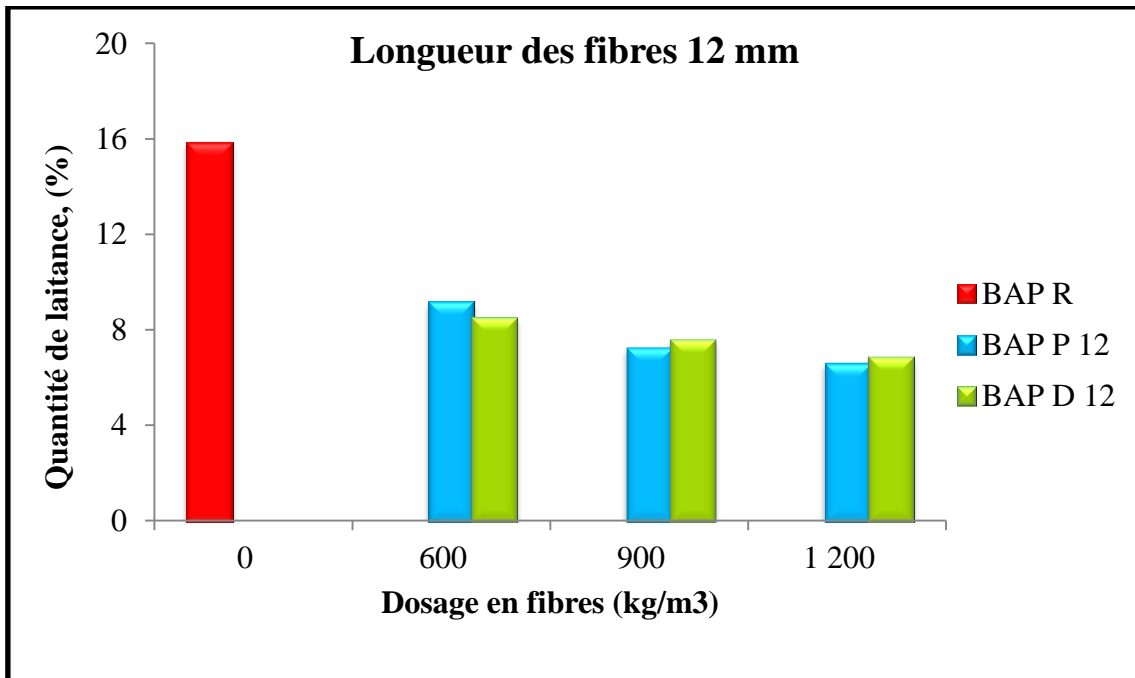


Figure IV- 7. Impact du dosage en fibres de longueur de 12 mm sur la stabilité au tamis.

Tous les bétons ne présentent aucun risque de ségrégation statique, ayant un taux de laitance qui s'inscrit dans le domaine des valeurs recommandées par la norme (EN-206-09 2010)

La perte de laitance serait due au mouillage des fibres. La réduction de laitance par rapport au béton non fibré s'élève à 42%, 52% et 58% pour les BAP P et de 46%, 52 et 56 pour les BAP D, respectivement avec les dosages 600, 900 et 1200 gr/m<sup>3</sup>.

La quantité de laitance du BAP P (600) est supérieure à celle du BAP D (600). Mais pour les dosages de 900 et 1200 gr/m<sup>3</sup> la quantité de laitance du BAP P est plus faible que celle des BAP D. L'analyse de ces résultats pourrait nous conduire à conclure à l'incertitude des résultats, car les valeurs sont proches. Toutefois, ces résultats pourraient être dus à l'augmentation de la quantité de fibres, Le nombre de fibres de polypropylène est très élevé par rapport au nombre de fibres de palmier dattier. Ainsi, le degré d'adsorption d'eau (mouillage) des fibres de polypropylène augmente aussi et dépasse celle adsorbée et absorbée par les fibres de palmier qui ont subi un pré-mouillage avant le gâchage du béton et dont le nombre est largement plus faible.

La baisse du taux de laitance en soit ne constitue pas une lacune car dans certaines applications des BAP, des valeurs de laitance faibles peuvent être préconisées (EFNARC 2005).

#### II.7.1.4. Le taux de remplissage L-BOX

La (Figure IV-8) présente les résultats obtenus sur le taux de remplissage des différents BAP.

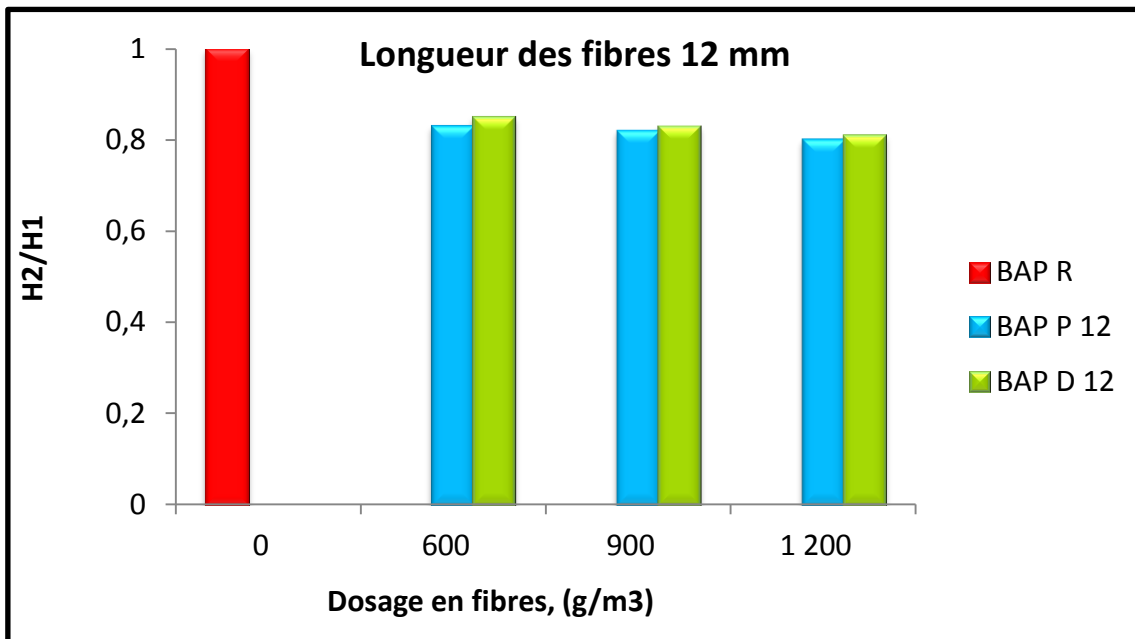


Figure IV- 8. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur le taux de remplissage.

## CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

Selon les résultats obtenus, le taux de remplissage des BAP fibrés est plus faible que celui des BAP non fibrés. Le BAP R a enregistré un taux de remplissage maximal, ce qui offre une plus grande marge pour introduire les fibres tout en préservant un pouvoir de remplissage supérieur à 0,8.

Le pouvoir de remplissage est influencé par l'incorporation des fibres. Pour des dosages de 600, 900 et 1200 gr/m<sup>3</sup>, on estime respectivement une diminution de 17%, 18% et 20% pour les BAP P et de 15%, 17% et 19% pour les BAP D. Les fibres créent un maillage qui gêne les mouvements du béton, l'empêchant ainsi de s'écouler. On a même observé un blocage du BAP P (Figure IV-9.a) plus important que celui observé sur le BAP D au niveau des barres d'acier de la boîte en L (Figure IV-9.b) pour un dosage en fibres de 1200 g/m<sup>3</sup>.

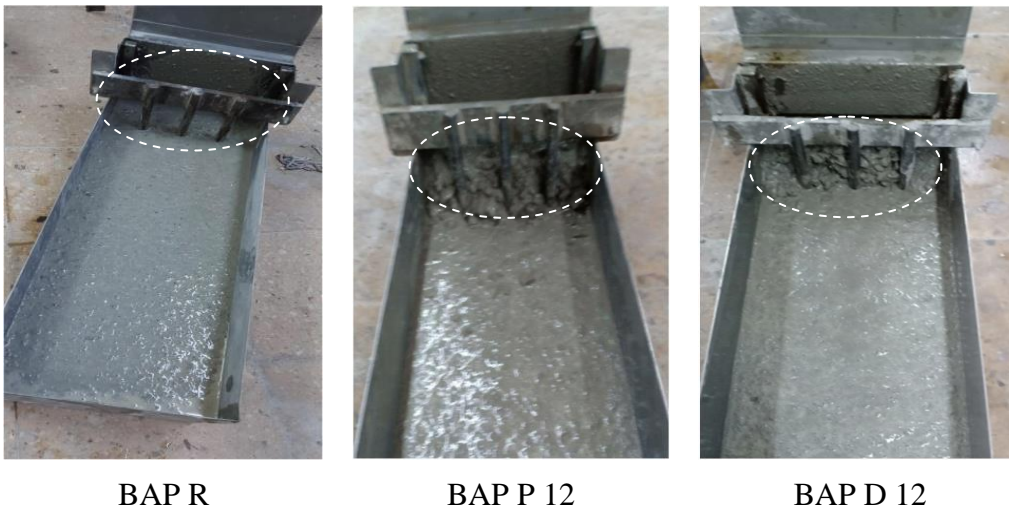


Figure IV- 9. Essai du L-BOX pour un dosage en fibre de 1200 g/m<sup>3</sup>.

Le taux de remplissage du BAP D a été légèrement plus élevé que celui du BAP P, pour tous les dosages, et cela pour les mêmes raisons mentionnées pour l'étalement.

### II.7.1.5. *La teneur en air occlus*

Les informations relatives à la concentration d'air occlus dans les différents BAP sont présentées sur la (Figure IV-10).

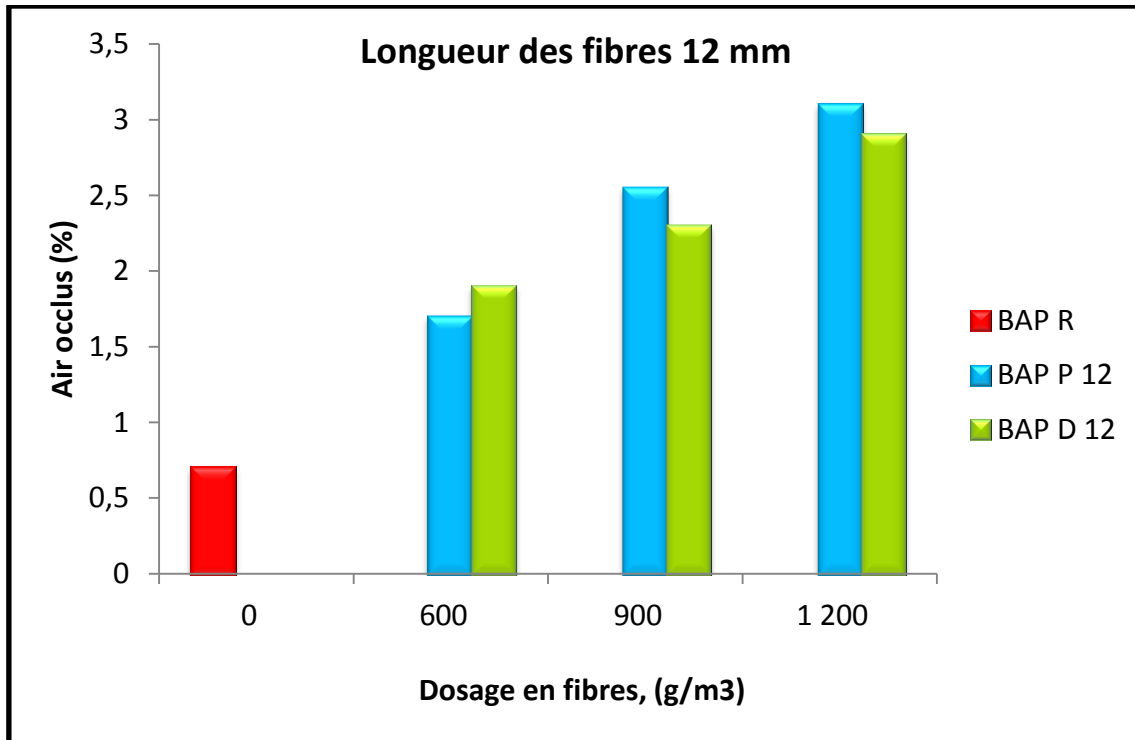


Figure IV- 10. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la teneur en air occlus.

L'ajout de fibres au béton entraîne une augmentation de la quantité d'air occlus dans le béton en fonction du dosage et de la nature des fibres. Effectivement, les fibres engendrent une porosité au niveau de l'interface entre le béton et la matrice cimentaire), ce qui est en accord avec plusieurs travaux (Tioua, Kriker et al. 2017), (Yadegaran I, Mahoutian M et al. 2007), (Walid., L et al. 2014).

Pour un dosage de 600 g/m<sup>3</sup>, Le volume d'air occlus causé par les fibres de palmier dattier est plus élevé que celui provoqué par les fibres de polypropylène. Cependant, pour des dosages en fibres de 900 et 1200 g/m<sup>3</sup>, le volume d'air dans les BAP D est inférieur à celui du BAP P, ce qui est probablement en relation avec les nombre de fibres.

#### II.7.1.6. La masse volumique apparente des bétons à l'état frais

On présente les résultats obtenus concernant la masse volumique des divers BAP sur la (Figure IV-11).

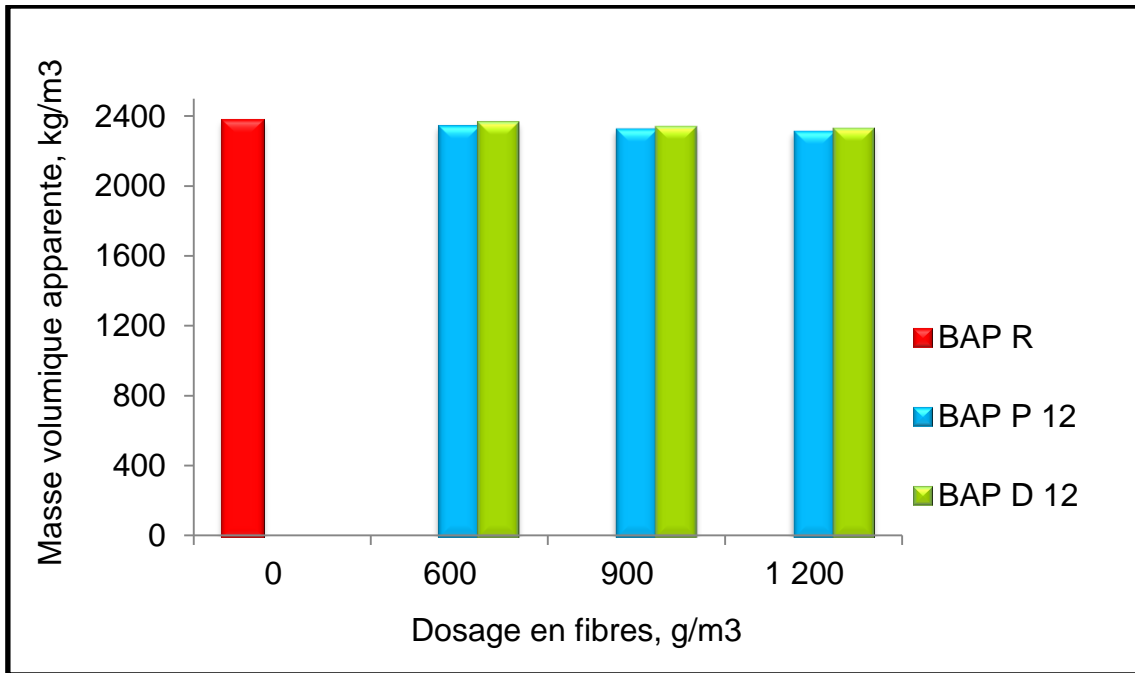


Figure IV- 11. Effet du dosage en fibres de longueur de 12 mm sur masse volumique apparente des BAP.

Les informations recueillies sur la masse volumique apparente des BAP révèlent qu'aucun écart significatif n'est observé entre les BAP fibrés (BAP P et BAP D) et le BAP R. Il en est de même, en comparant les résultats entre les BAP P et les BAP D.

Cependant, on peut mettre en évidence de faibles variations des masses volumiques apparentes des différents BAP (Figure IV-12).

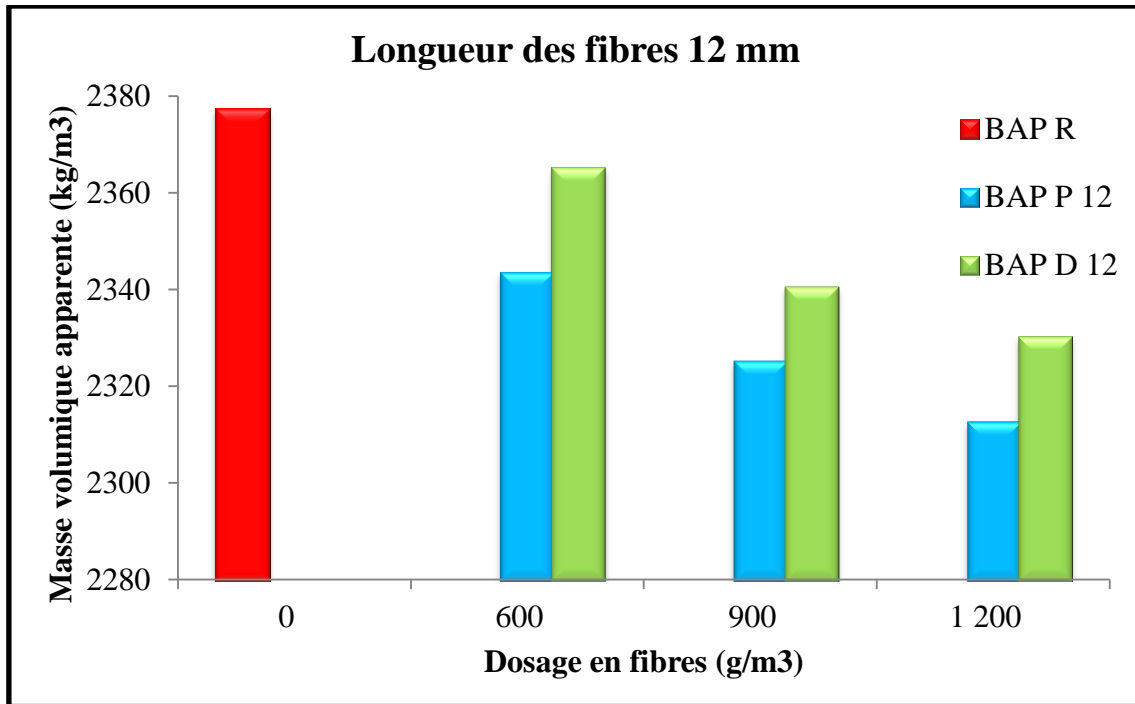


Figure IV- 12. Effet du dosage en fibres de 12 mm de longueur sur masse volumique apparente des BAP.

Une légère diminution de la masse volumique apparente des BAP fibrés est causée par l'incorporation des fibres par rapport au BAP R. La baisse de la masse volumique apparente des BAP D est moins importante que celle du BAP P

La masse volumique apparente des BAP est moins influencée par la fibre de palmier dattier que par la fibre de polypropylène. Cette différence résulte du fait que les fibres de palmier dattier présentent une densité supérieure à celle du polypropylène. L'augmentation des dosages provoque une baisse de la masse volumique apparente des BAP.

## II.7.2. LES EFFETS DES FIBRES DE POLYPROPYLENE ET DE PALMIER DATTIER SUR LES PROPRIETES DES BAP A L'ÉTAT DURCI

### II.7.2.1. Résistance en compression et cinétique de durcissement des BAP

- **Résistance en compression**

Les résultats tirés de la résistance en compression sont exposés dans la (Figure IV-13).

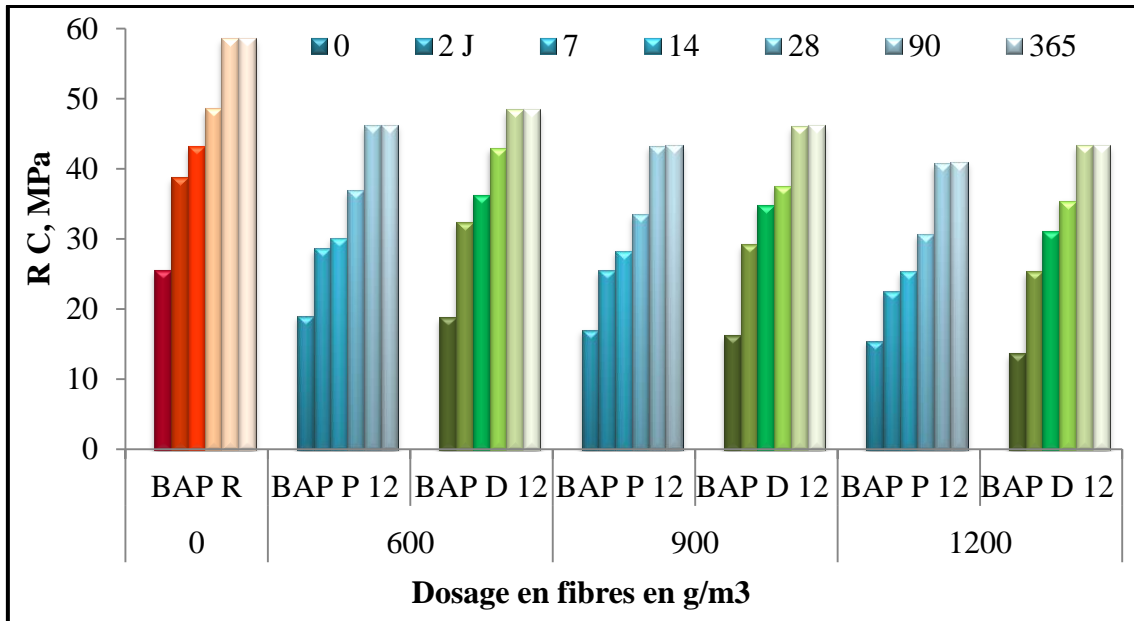


Figure IV- 13. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en compression.

Le réseau poreux du béton est altéré par les fibres, ce qui entraîne la création de pores, notamment à l'interface fibre – matrice cimentaire qui perturbe la résistance du béton. Cette porosité entraîne évidemment une réduction de la résistance à la compression (Figure IV-13). Les résultats trouvés sont en accord avec divers travaux sur l'utilisation des fibres végétales dans la matrice cimentaire (Tioua, Kriker et al. 2017), (Tahar, Tahar et al. 2016) (Fokam, C et al. 2020) (Walid., L et al. 2014) (El-Dieb and Taha 2012) (Khayat, KH et al. 2000) (Kriker, A et al. 2005)

L'augmentation du taux en fibres diminue la résistance en compression. La différence entre les fibres synthétiques et les fibres végétales réside dans leur surface très lisse, à la différence des fibres végétales qui présentent une surface rugueuse plus adhérente à la matrice cimentaire.

- **Cinétique de durcissement**

La Figure IV-14 présente les résultats obtenus concernant la cinétique de durcissement des différents BAP.

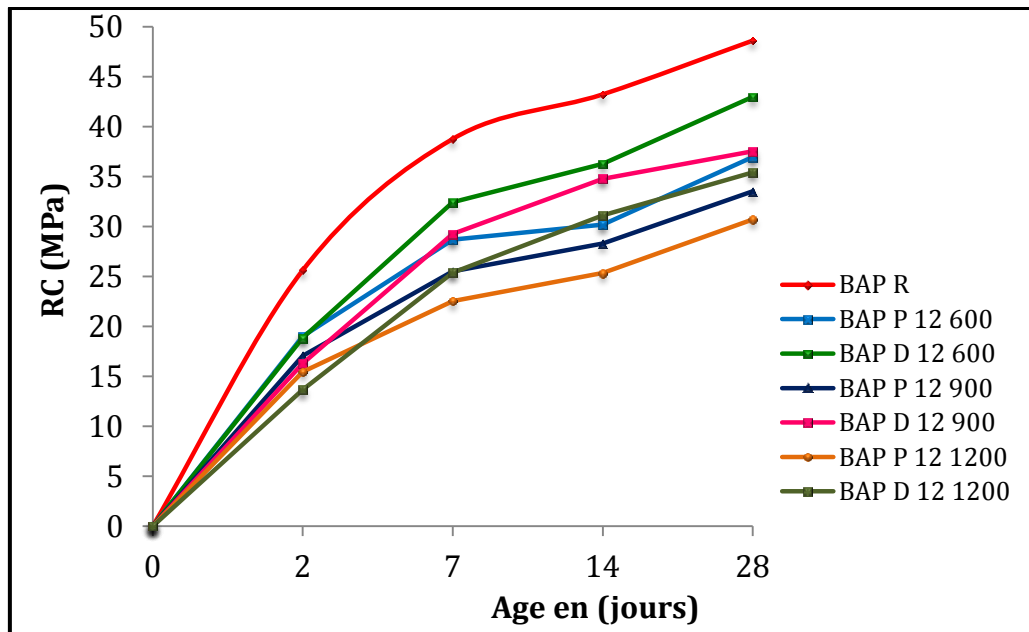


Figure IV- 14. Effet du taux en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.

Le taux en fibres a un impact peu significatif sur la vitesse de durcissement des BAP (Figure IV-14).

Cependant, la cinétique de durcissement des BAP avec fibres montre un léger retard par rapport au BAP non fibré jusqu'à 2 jours. En effet certains chercheurs (Sedan 2007; Le Hoang 2013; Chafei 2014; Page 2017) ont montrés que les fibres végétales en particulier retardent relativement les délais de prise en relation avec la nature, le dosage ainsi que les modalités de gâchage des bétons (pré-mouillage ou non des fibres). Cela conduit à une légère baisse de la vitesse de durcissement. Le mécanisme consiste au passage en solution de certaines substances notamment les polysaccharides contenus dans les fibres végétales et qui entraînent un retard de prise et un ralentissement de la cinétique de durcissement des bétons. Cet aspect s'inscrit surtout dans le court terme (de 0 à 7 jours, Figure IV-15 et 16) et s'affaiblit dans le temps.

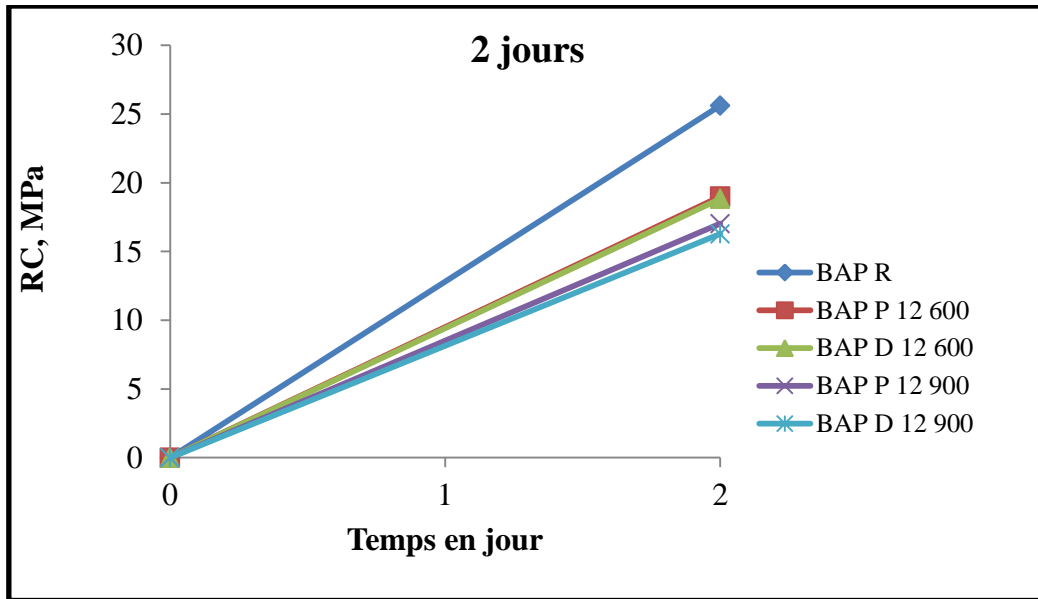


Figure IV- 15. Effet du taux en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.

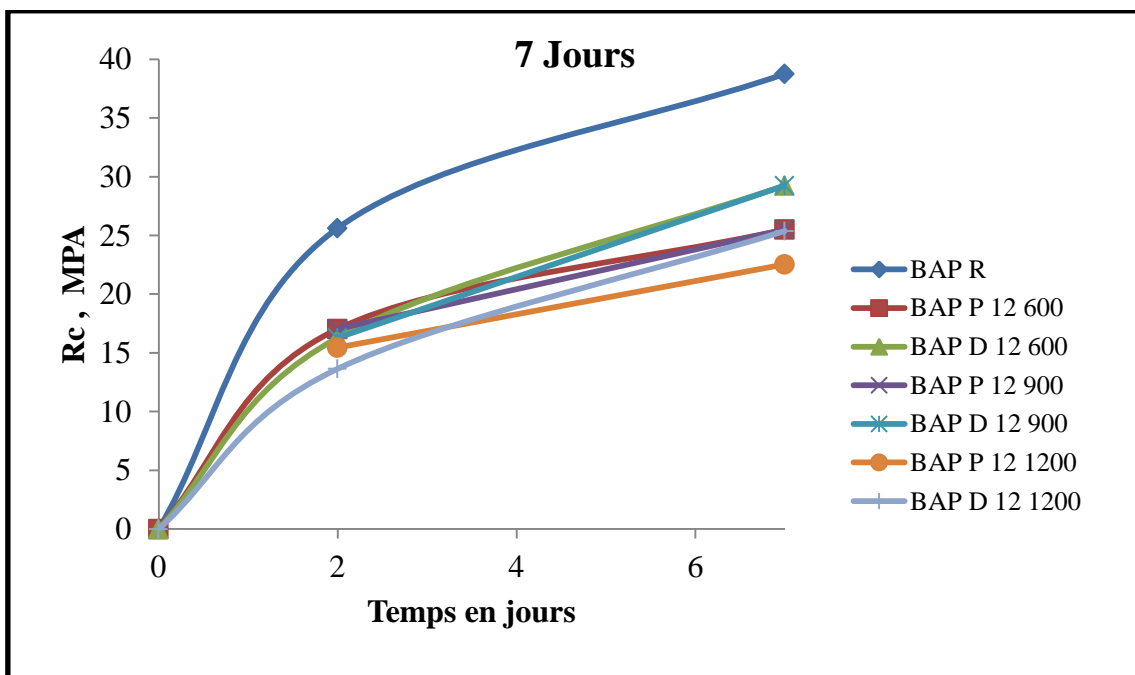


Figure IV- 16. Impact du dosage en fibres sur la cinétique de durcissement des BAP.

Dans ce travail, les fibres de palmier dattier ont subi un pré-mouillage pendant lequel un largage de ces substances dans l'eau de pré-mouillage s'est produit ce qui a probablement atténué l'effet des polysaccharides présents dans les fibres sur la cinétique de durcissement des BAP. Ainsi, il serait pertinent de mettre en œuvre un pré-mouillage

ou un lavage des fibres végétales, préalablement afin de soustraire les substances qui agissent sur la cinétique de durcissement du ciment.

### II.7.2.2. Analyse de résultats sur la résistance en traction par flexion

Les résultats obtenus sur la résistance en flexion des divers BAP sont présentes dans la (Figure IV-17). Une amélioration significative de la résistance en flexion est observée lors du renforcement de BAP par les fibres par rapport au béton de référence sans fibré.

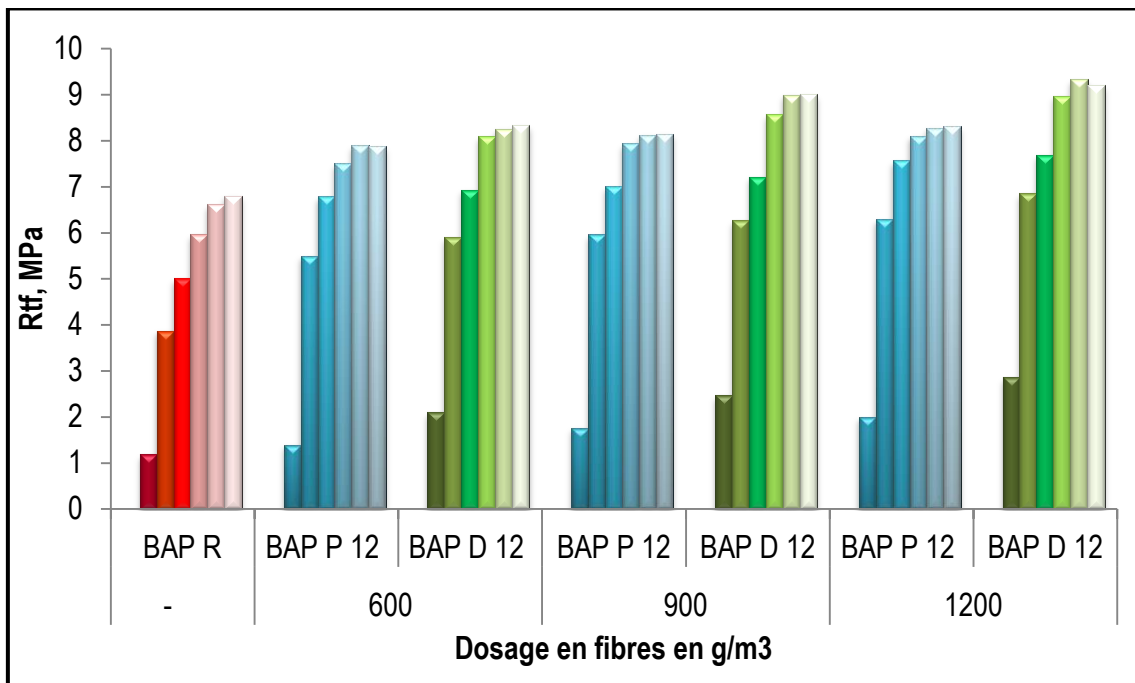


Figure IV- 17. Effet du dosage en fibres (12 mm) relative a la résistance en traction par flexion.

La résistance en flexion augmente en fonction du dosage et de la nature des fibres. La surface rugueuse des fibres brute de palmier dattier assure des performances optimales, ceci garantit une meilleure adhérence avec la matrice cimentaire (Walid., L et al. 2014; Tioua, Kriker et al. 2017; Boutarfa 2018), par rapport aux fibres de polypropylène dont l'état de surface est lisse, moins adhérente que la fibre de palmier dattier, à tout les âges (Figures IV-18 – IV-23).

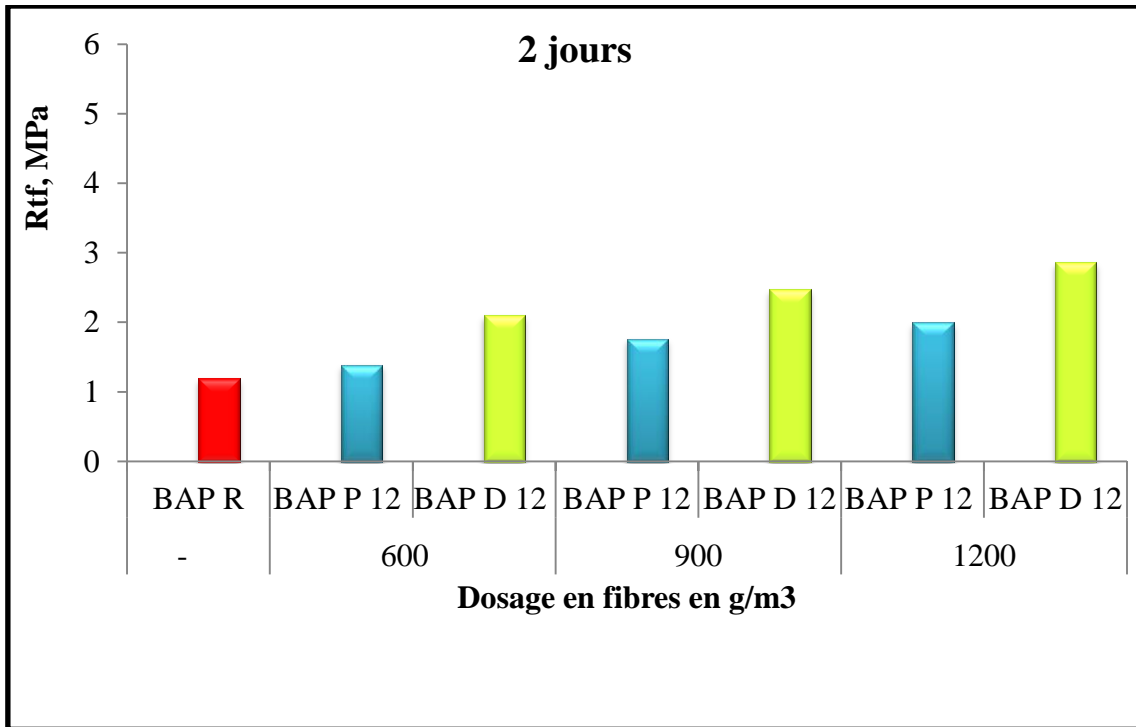


Figure IV- 18. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 2 jours.

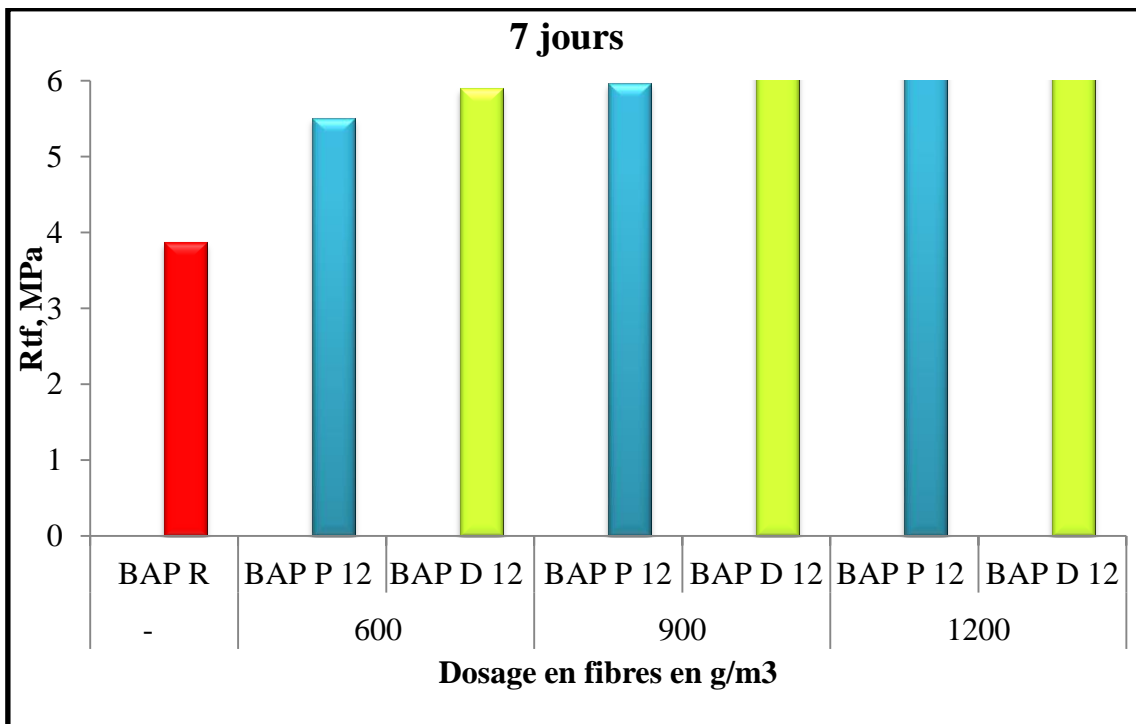


Figure IV- 19. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 7 jours.

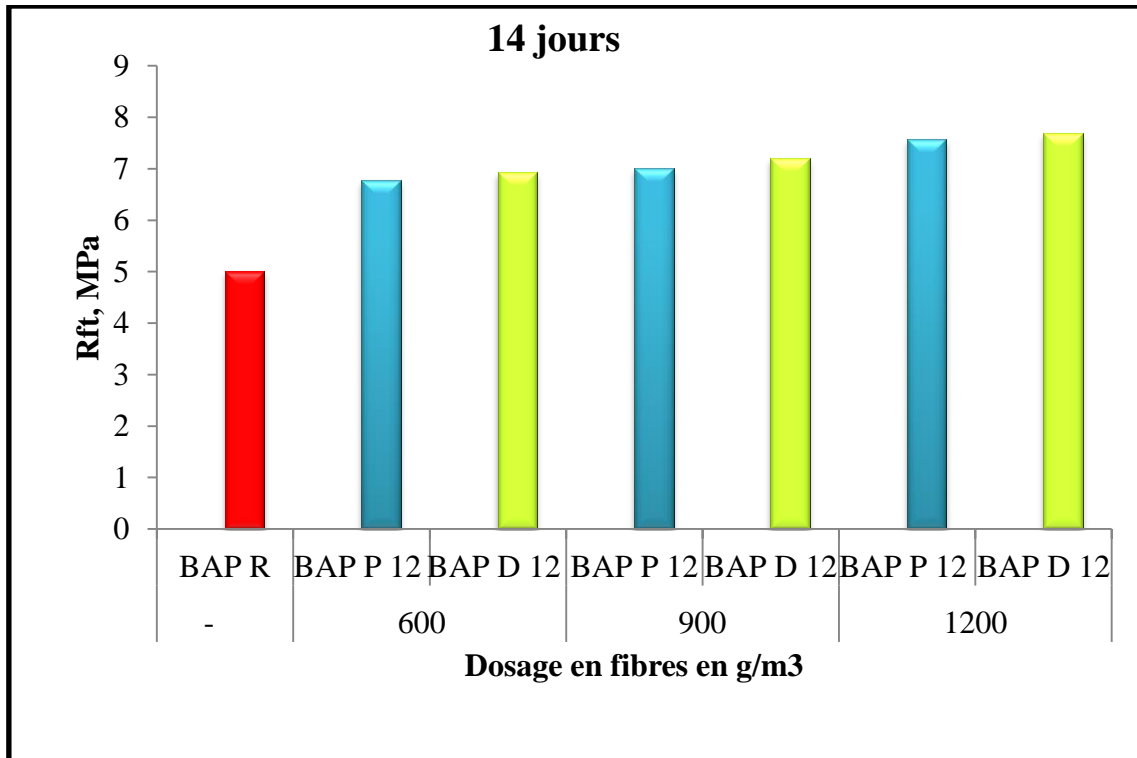


Figure IV- 20. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 14 jours.

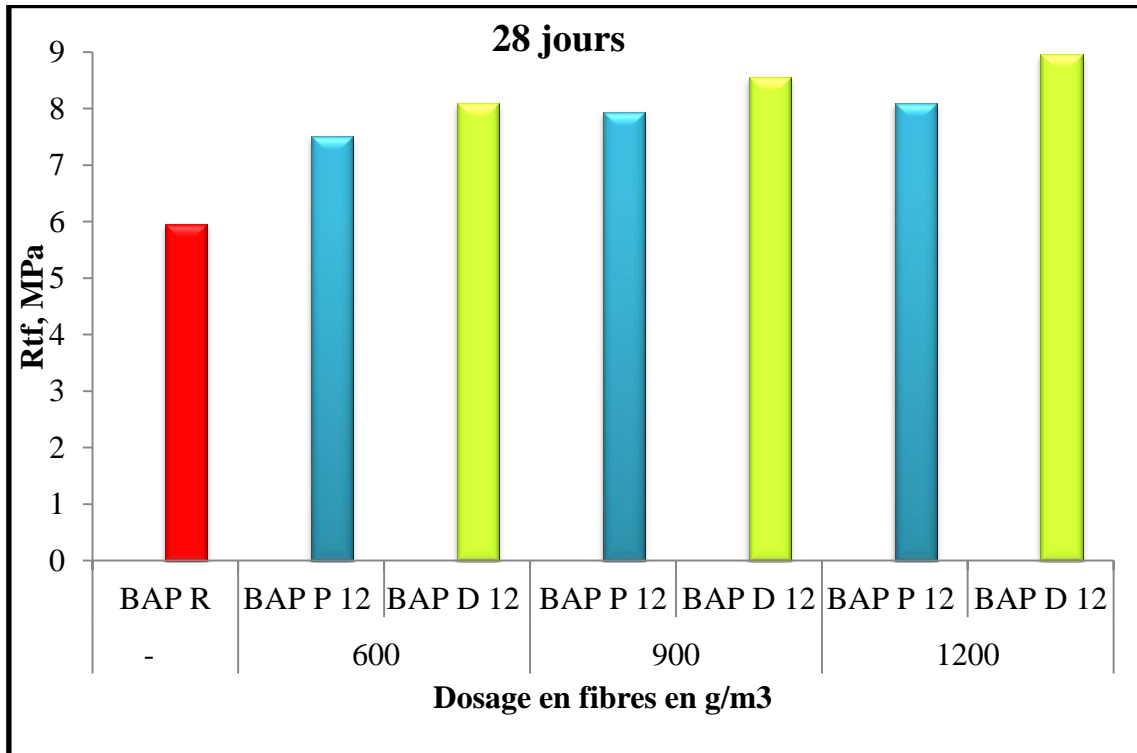


Figure IV- 21. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 28 jours.

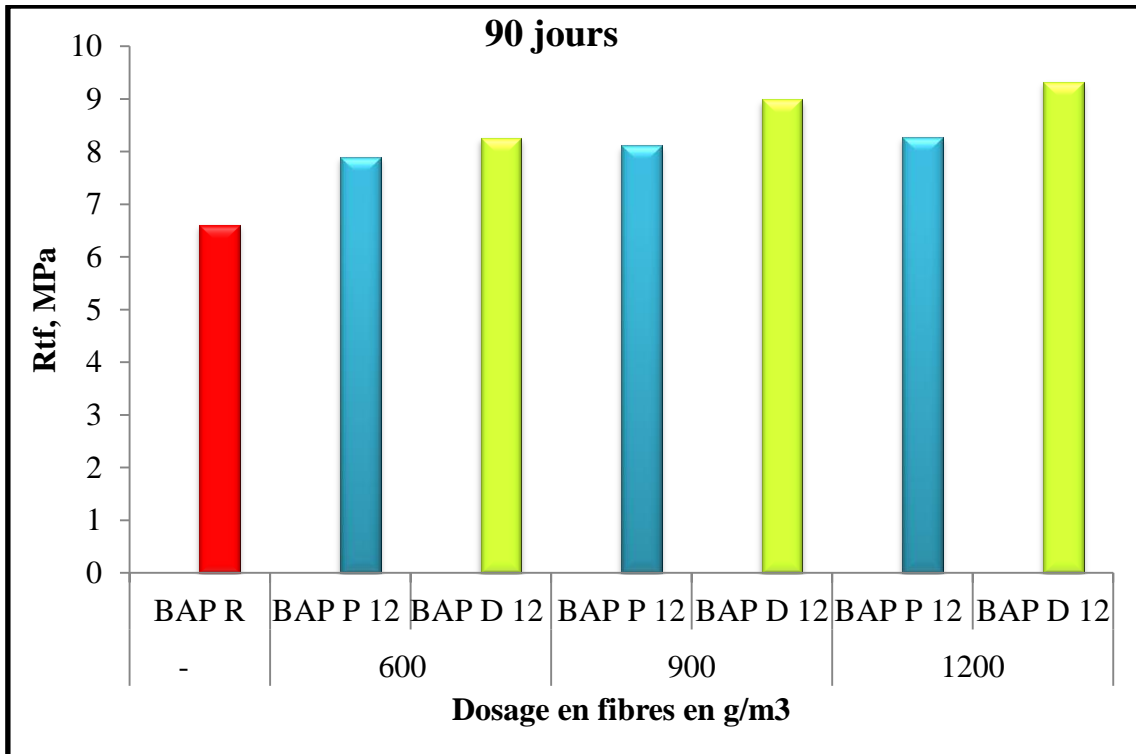


Figure IV- 22. Impact du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 90 jours.

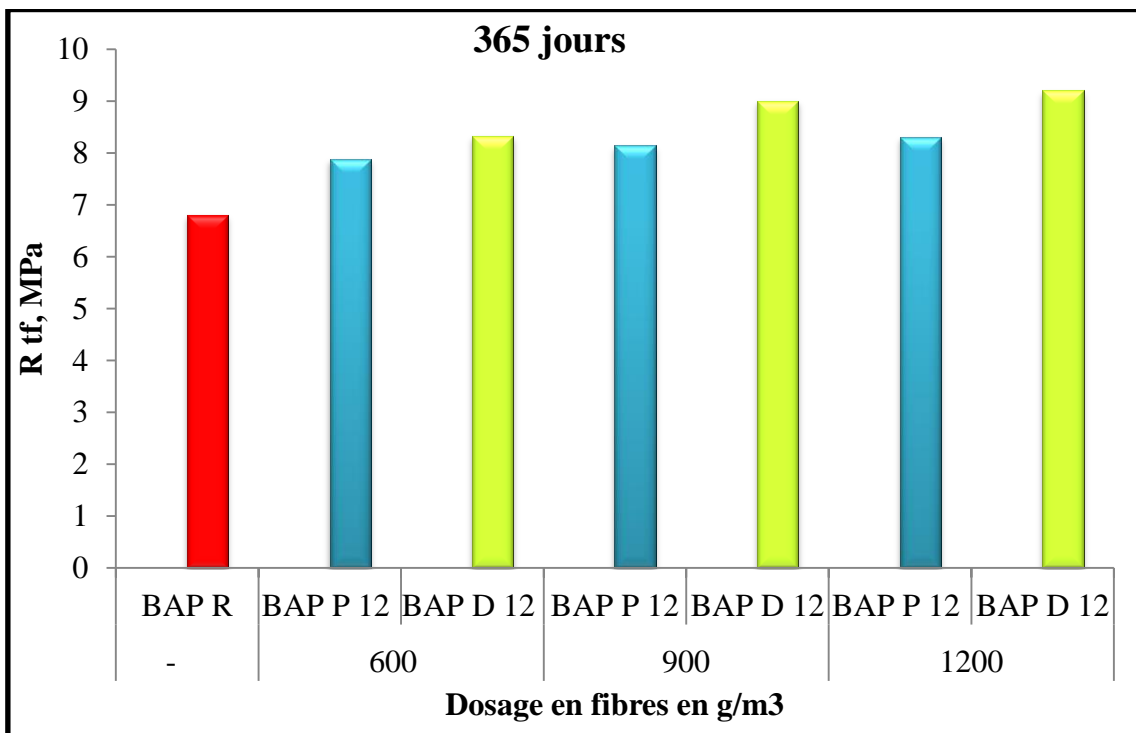


Figure IV- 23. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur la résistance en traction par flexion à 365 jours.

L'augmentation du dosage en fibres de polypropylène n'entraîne pas une amélioration notable au de delà de  $900 \text{ g/m}^3$ , au contraire on relève une diminution de la résistance en flexion. Alors que l'augmentation du dosage en fibre de palmier dattier à  $1200 \text{ g/m}^3$  donne de meilleures résistances.

### II.7.2.3. Analyse des résultats sur la perte de masse et le retrait des BAP

- **Le retrait**

Les résultats relatifs au retrait et à la perte de masse des différents BAP sont présentés sur la (Figure IV-24 et 25).

La quantité de pâte présente dans le béton autoplaçant est relativement élevée par rapport au béton ordinaire, ce qui peut engendrer un retrait plus important, entraînant l'apparition de fissures, notamment au jeune âge (Leong, Mo et al. 2020). Selon les données des mesures de retrait présentées par la (Figure IV-24), il est montré que l'emploi de fibres permet de diminuer le retrait. Cette diminution varie en fonction du dosage et du type des fibres.

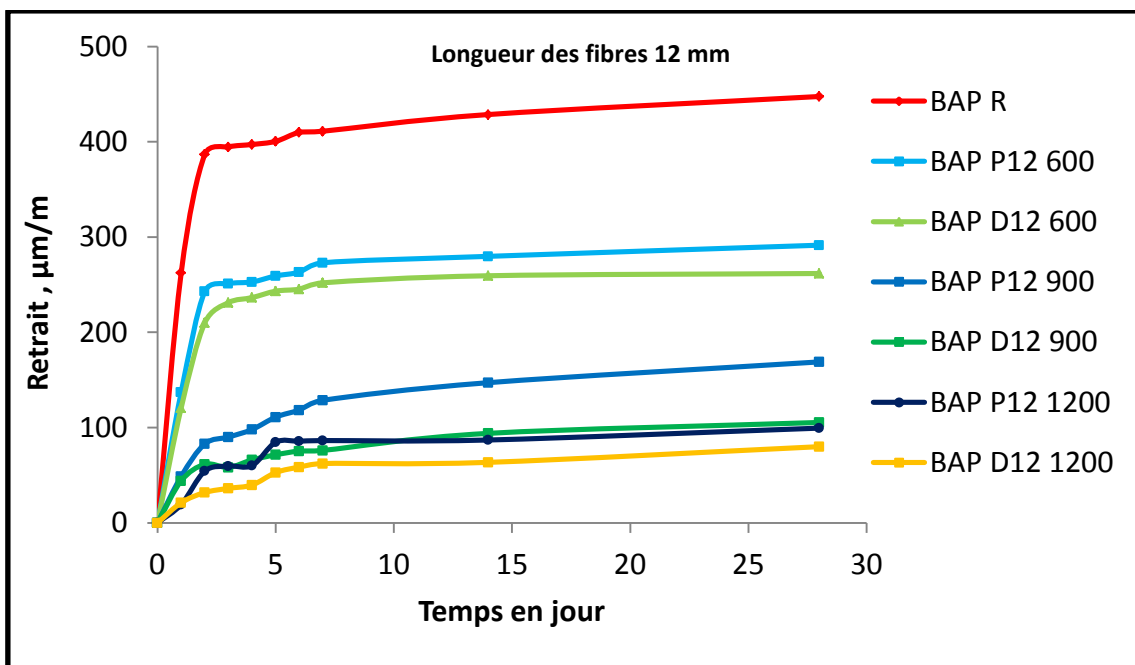


Figure IV- 24. Impact du dosage en fibres sur le retrait.

Le retrait des BAP fibrés est approximativement divisé par un facteur de deux par rapport à celui du BAP R pour le dosage de  $600 \text{ g/m}^3$  et par un facteur de trois à quatre pour les dosages de  $900$  et  $1200 \text{ g/m}^3$  en fonction du type de fibre.

La performance des fibres de palmier dattier est supérieure à celle des fibres de polypropylène à cause de leur meilleure adhérence à la matrice cimentaire consécutive à leur surface rugueuse. Ces résultats sont validés par plusieurs travaux (Tioua, Kriker et al. 2017; Leong, Mo et al. 2020)

La diminution du retrait est obtenue avec tous les dosages, mais le dosage de  $1200 \text{ g/m}^3$  constitue le taux optimal.

- **La perte de masse**

Les résultats observés concernant la perte de masse sont présentés dans la (Figure IV-25).

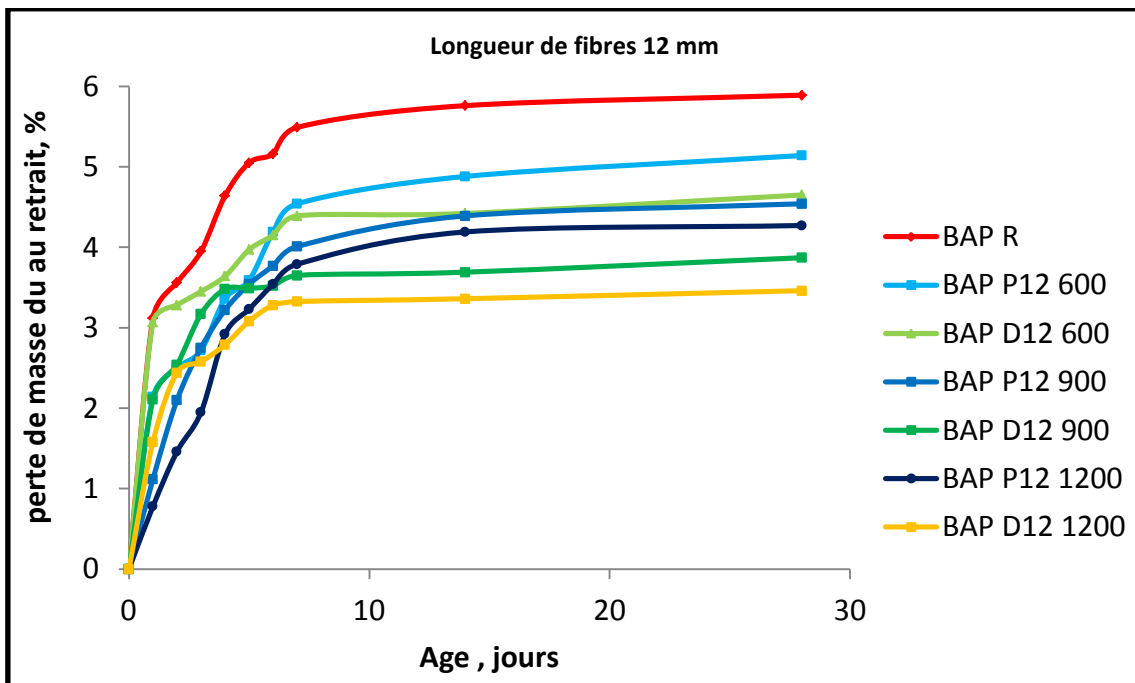


Figure IV- 25. Effet du taux en fibres sur la perte de masse des BAP.

Au cours du processus de prise et de durcissement, le BAP perd de l'eau par évaporation, ce qui entraîne une dessiccation due à une différence d'humidité entre l'environnement et le matériau. L'origine de ce phénomène est une baisse de pression

dans les capillaires qui sont créés dans le béton frais et en cours de durcissement. Cette hypothèse nous permet d'avancer une corrélation relative entre les résultats obtenus sur le retrait et ceux obtenus sur la perte de masse.

Les pertes de masse les plus faibles sont attribuées au BAP D avec le dosage maximal (1200 g/m<sup>3</sup>) en fibres.

#### II.7.2.4. Analyse des résultats sur l'absorption d'eau capillaire

La (Figure IV-26) présente les résultats obtenus concernant l'absorption capillaire des différents BAP.

L'absorption capillaire des BAP montre deux phases d'absorption : la première phase est relativement rapide, s'étend jusqu'à 8 (heures) et correspond au remplissage des plus gros pores. La deuxième phase est plus lente et correspond au remplissage des plus petits pores (Figure IV-26).

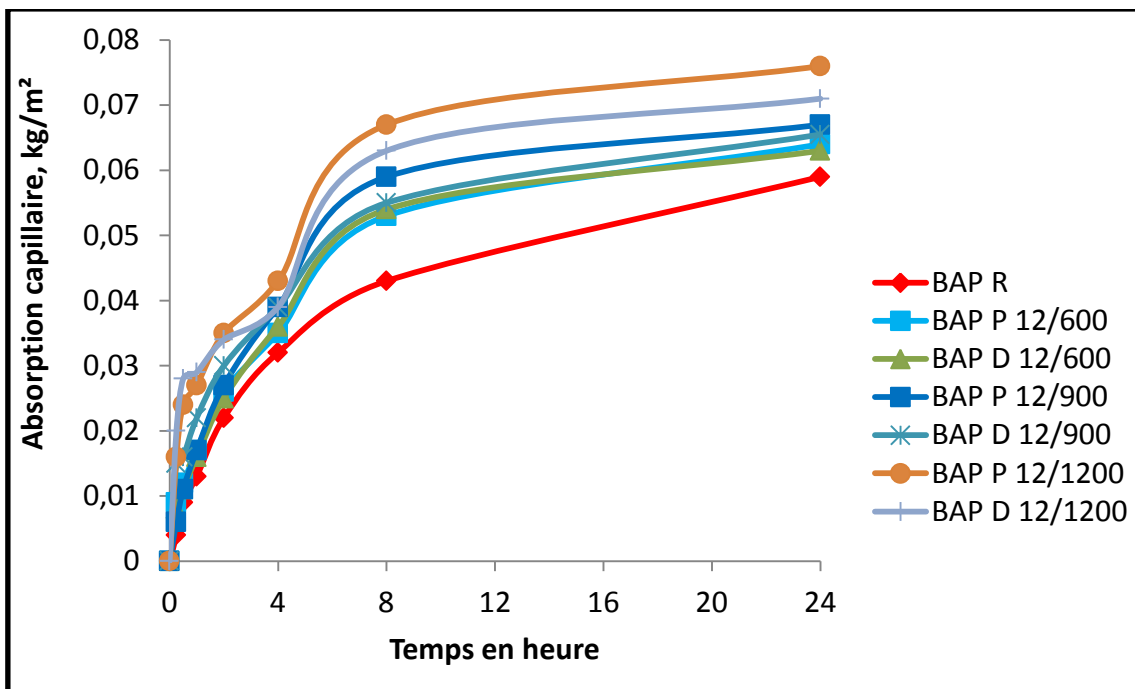


Figure IV- 26. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP.

Dans le béton, l'ajout de fibres crée une porosité supplémentaire (Chikhi 2016; Haba, Agoudjil et al. 2017; Tahar Tioua 2017). Le béton non fibré présente le plus

faible coefficient d'absorption par rapport aux BAP fibrés (Figures IV-27 et IV-28), cela est dû à la porosité créée par l'introduction des fibres surtout à l'interface matrice-fibre, ce qui explique l'accroissement de l'absorption capillaire. Ces résultats concordent avec certains travaux (Yadegaran, Mahoutian et al. 2007; El Hilali 2009; Chikhi 2016; Tioua, Kriker et al. 2017).

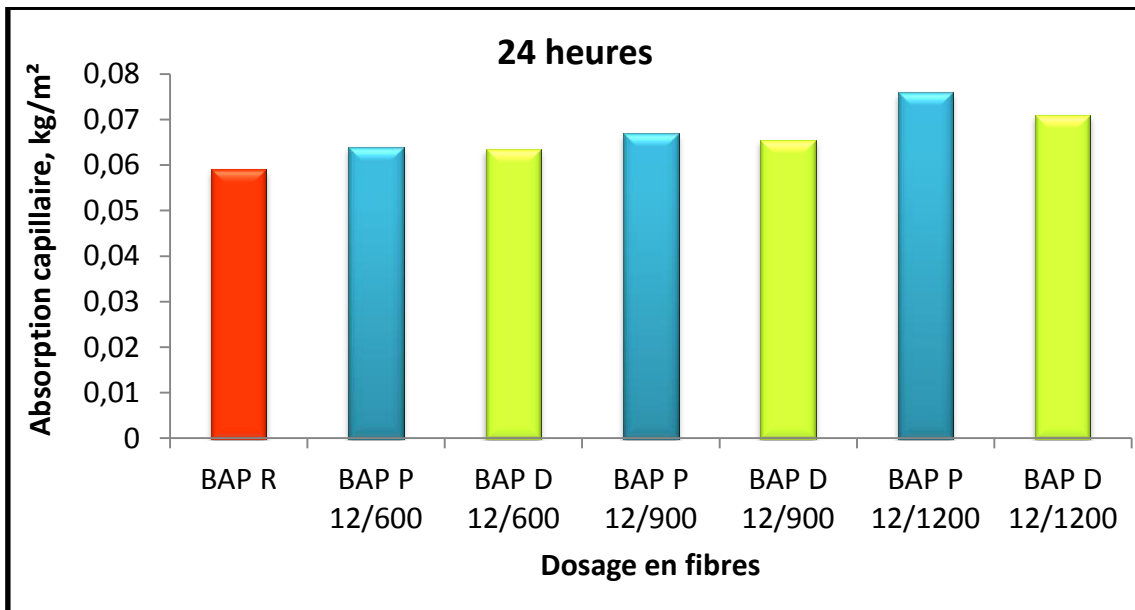


Figure IV- 27. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP à t = 24 heure.

Les BAP avec fibre de palmier dattier présentent des coefficients d'absorption d'eau capillaire légèrement plus faibles que ceux des BAP avec fibre de polypropylène pour les dosages de 900 et 1200 g/m<sup>3</sup> (Figures IV-29 – IV-30), On peut expliquer cela par le fait que le nombre de fibres synthétiques est nettement plus élevé pour un même dosage en fibres que pour les fibres de palmier dattier.

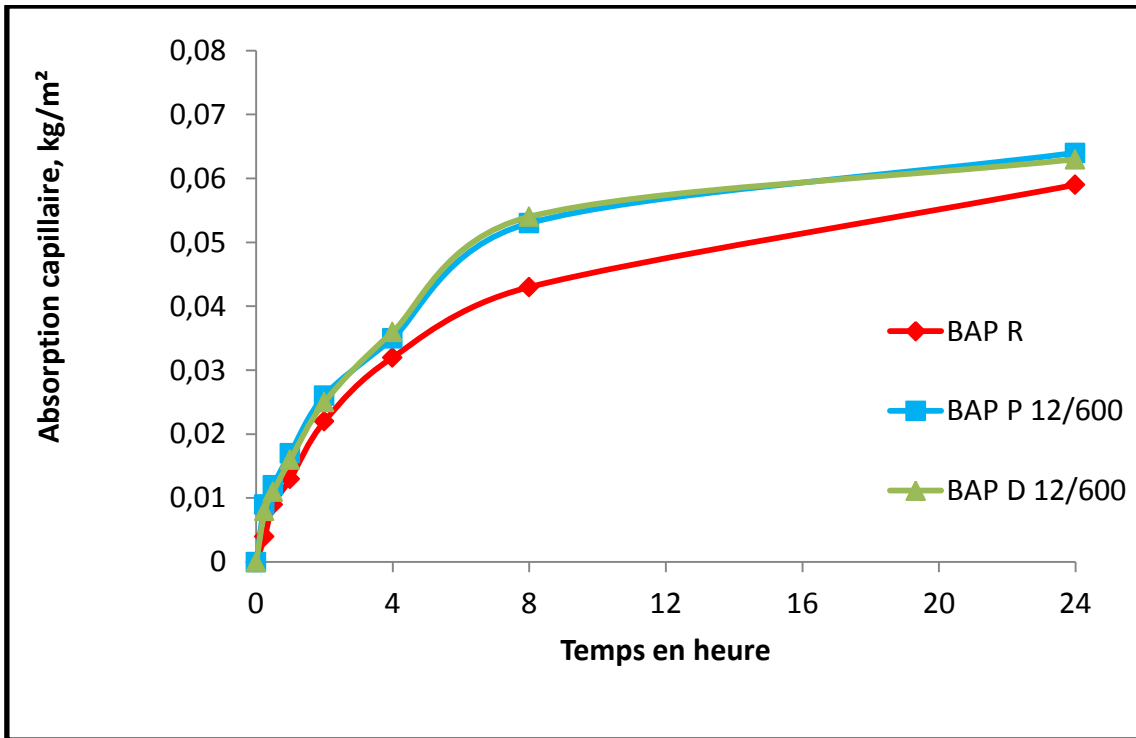


Figure IV- 28. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 600 g/m<sup>3</sup>.

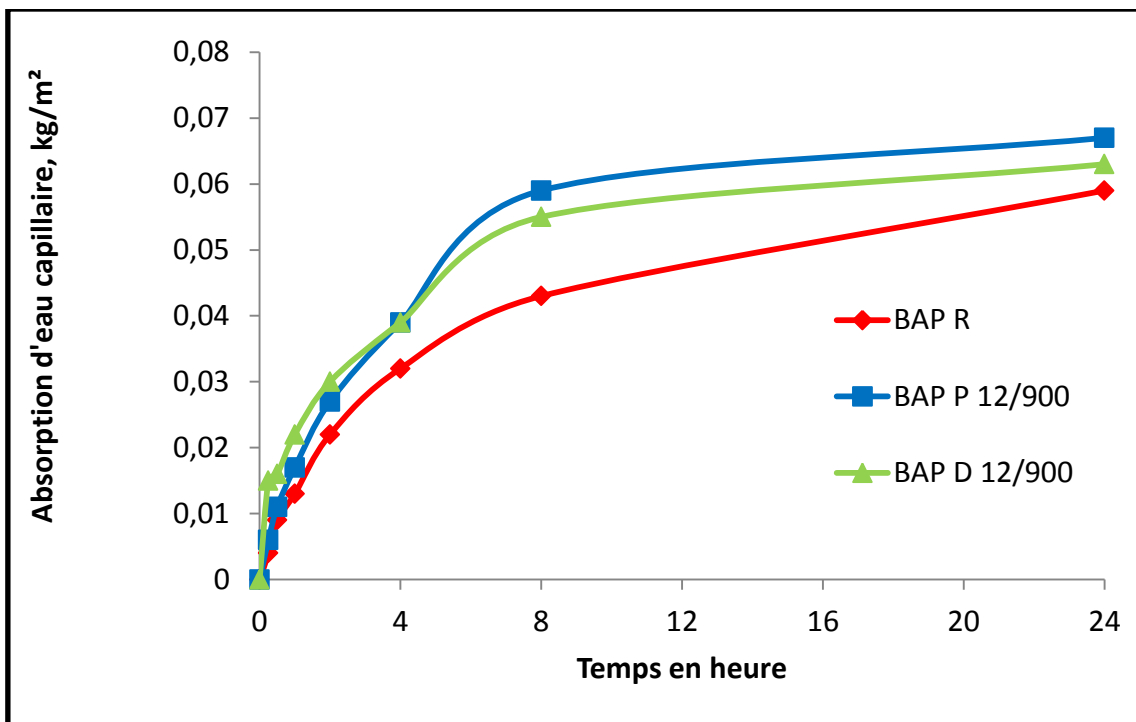


Figure IV- 29. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 900 g/m<sup>3</sup>.

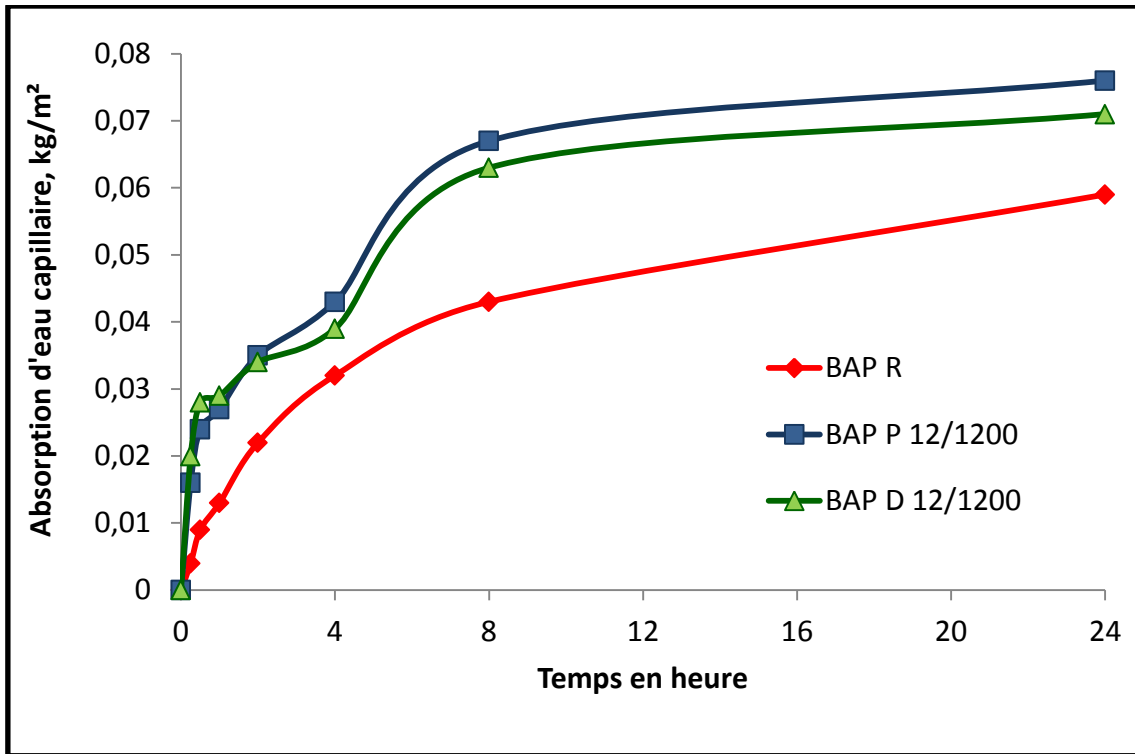


Figure IV- 30. Effet du dosage en fibres (12 mm) sur le coefficient d'absorption d'eau capillaire des BAP avec un dosage en fibre de 1200 g/m<sup>3</sup>.

## II.8 DEUXIEME PARTIE : L'INFLUENCE DE LA DIMENSION ET DU DOSAGE DES FIBRES DE PALMIER DATTIER SUR LES CARACTERISTIQUES DES BAP EN ETAT FRAIS ET DURCI

Les fibres de polypropylène ne sont disponibles que dans une longueur de 12 mm. C'est pourquoi Dans cette partie, nous examinerons l'impact de la taille de la fibre de palmier dattier de longueur (1.2, 2 et 3) cm avec les taux de (600, 900 et 1200) g/m<sup>3</sup> sur les caractéristiques des BAP D à l'état frais et durci.

### II.8.1. Effet de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP à l'état frais.

#### II.8.1.1. Analyse des résultats sur l'étalement

La (Figure IV-31) présente les résultats obtenus sur l'étalement.

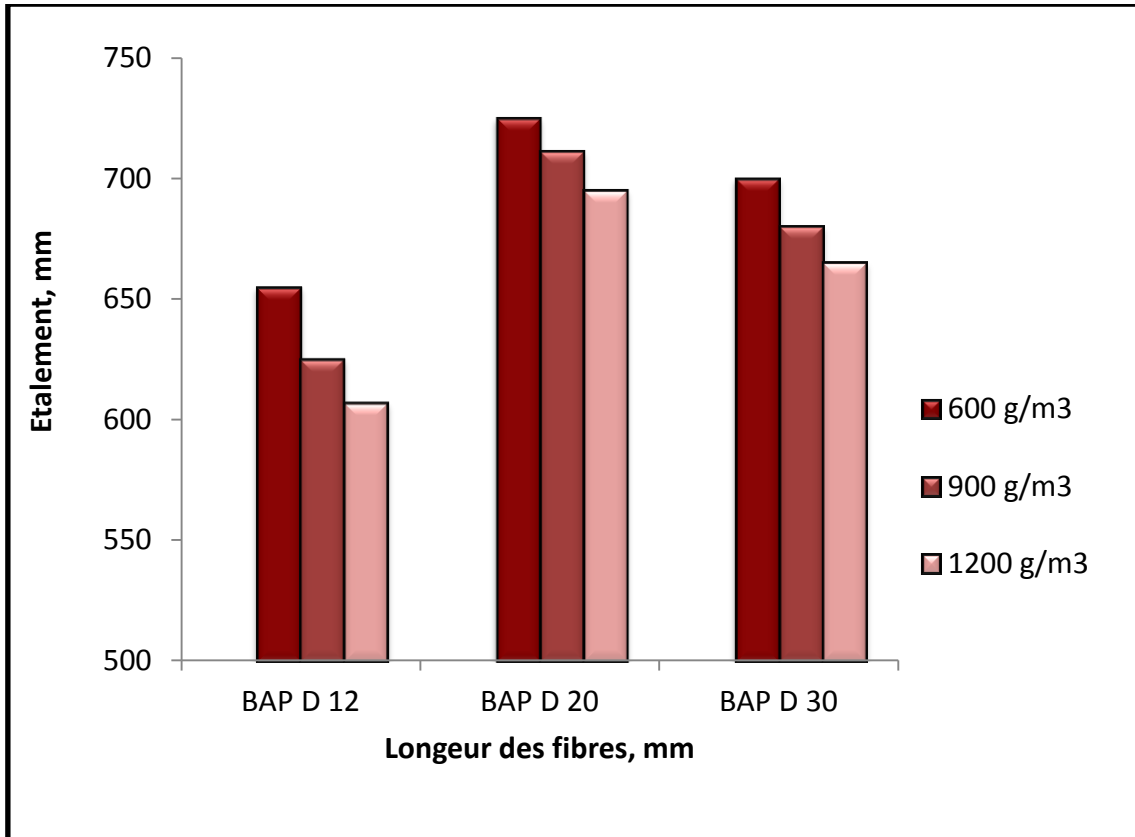


Figure IV- 31. Impact de la taille des fibres de palmier dattier sur l'étalement.

Quand la longueur des fibres de palmier dattier augmente dans le BAP, cela entraîne une augmentation de l'étalement, ce qui semble être contradictoire. On peut expliquer ce comportement par le fait qu'en augmentant la longueur des fibres en maintenant le dosage constant, leur concentration (nombre) diminue dans le béton. Ainsi, il y a moins de frottements entre les fibres et les gros granulats, ce qui permet un meilleur étalement du BAP.

Cependant, en augmentant la longueur des fibres jusqu'à 30 mm, l'étalement du BAP D30 diminue par rapport à celui du BAP D20 mais reste supérieur à celui du BAP

D12. Par conséquent, l'étalement est gouverné par plusieurs paramètres que sont la longueur et le dosage (le nombre de fibres).

### II.8.1.2. Analyse des résultats sur le temps T500

Les résultats tirés du T500 sont présentés par (Figure IV-32).

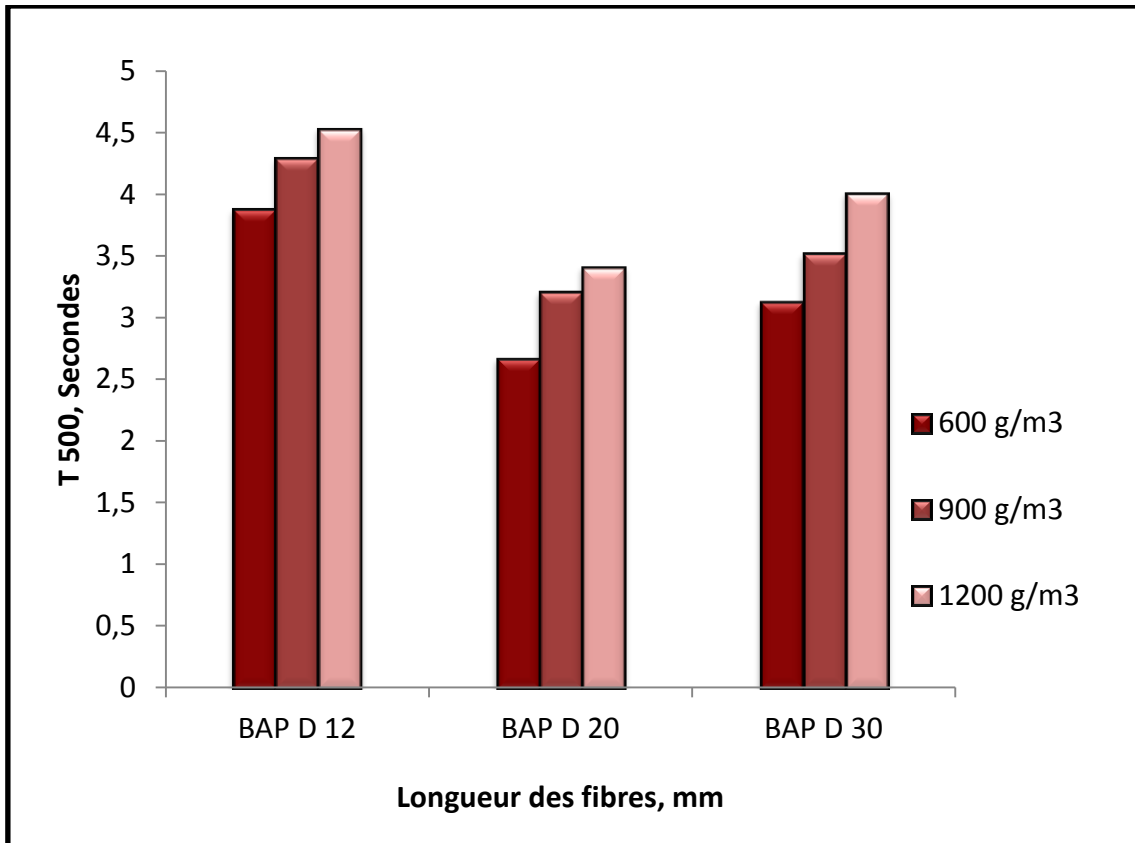


Figure IV- 32. Impact de longueur en fibres de palmier dattier sur le T500 (temps d'écoulement).

En augmentant la longueur des fibres de palmier dattier la vitesse d'étalement des BAP diminue (Walid 2015), alors que l'augmentation du dosage engendre son accroissement. Plusieurs paramètres interagissent, notamment la longueur, le dosage ainsi que le nombre des fibres sur la vitesse d'écoulement du BAP. Il existerait un rapport entre la longueur et le dosage (le nombre) de fibre optimal au-delà duquel la vitesse d'écoulement augmenterait. En effet, les fibres peuvent ralentir la vitesse d'écoulement du BAP. Dans cette étude le rapport optimal est établi avec une longueur de (20) mm et un dosage de (600) g/m<sup>3</sup>.

### II.8.1.3. Analyse des résultats sur le taux de remplissage ( $H2/H1$ )

Les résultats concernant le pouvoir de remplissage sont présentés dans la (Figure IV-33).

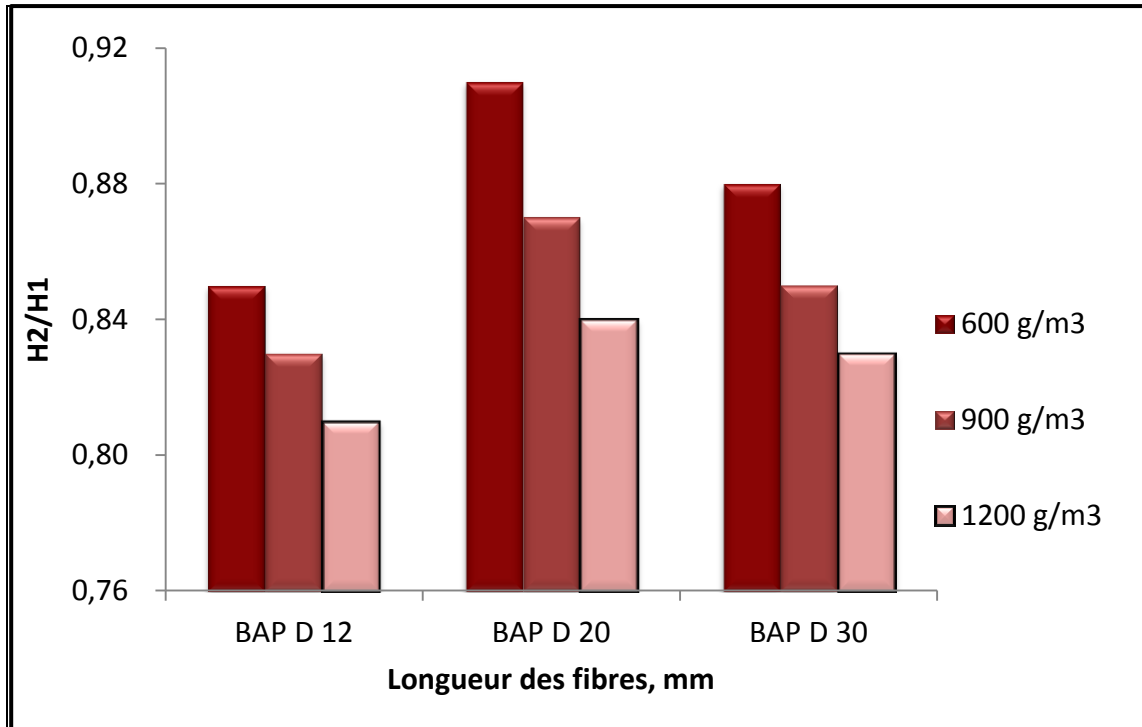


Figure IV- 33. Effet de la longueur des fibres de palmier dattier sur le pouvoir de remplissage ( $H2/H1$ ).

### II.8.1.4. Analyse des résultats sur la stabilité au tamis

Les résultats obtenus sur la stabilité au tamis, qui est exprimée par la quantité de laitance sont exposés dans la (Figure IV-34).

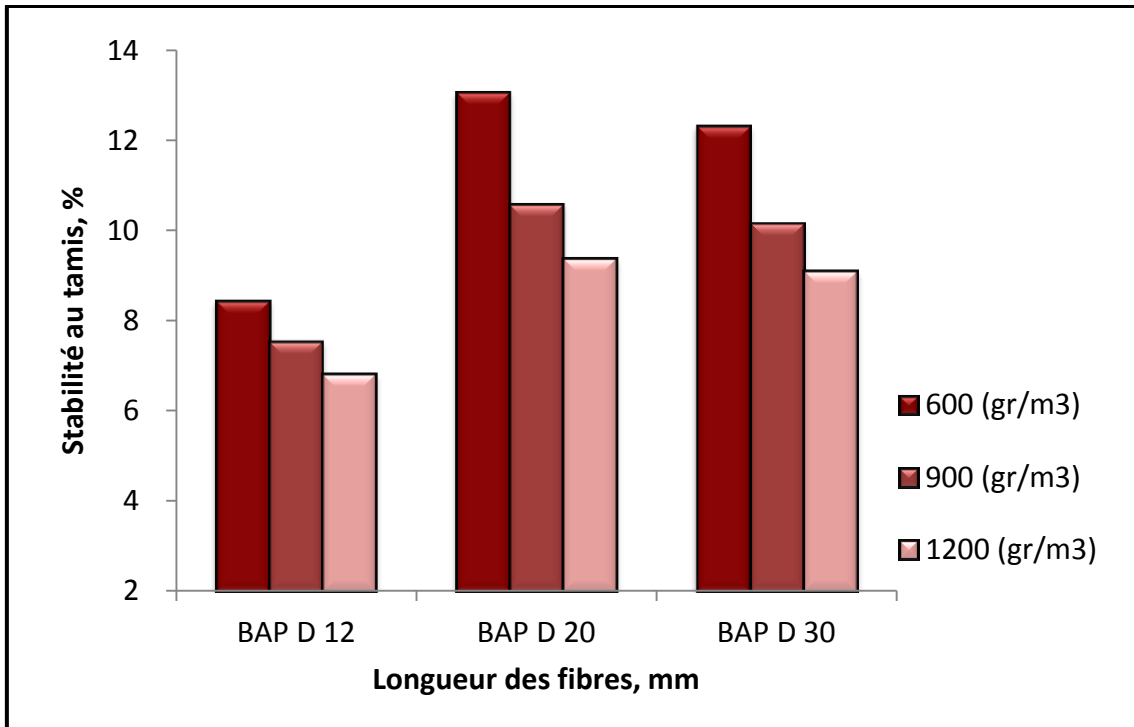


Figure IV- 34. **Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la stabilité a la ségrégation.**

Lorsque la taille des fibres de palmier dattier augmente, la laitance augmente également. Cette hausse est plus significative pour la BAP D 20 mm et moindre pour le BAP D 30, qui reste toutefois supérieure à celle du BAP D 12 qui a la plus faible valeur de laitance. Cela montre, qu'il existe un rapport optimal entre la longueur des fibres et leur dosage (leur nombre).

#### ***IV.4.1.5. Effet de la longueur des fibres de palmier dattier sur la teneur en air occlus***

La (figure IV-35) présente les résultats obtenus concernant la teneur en air occlus.

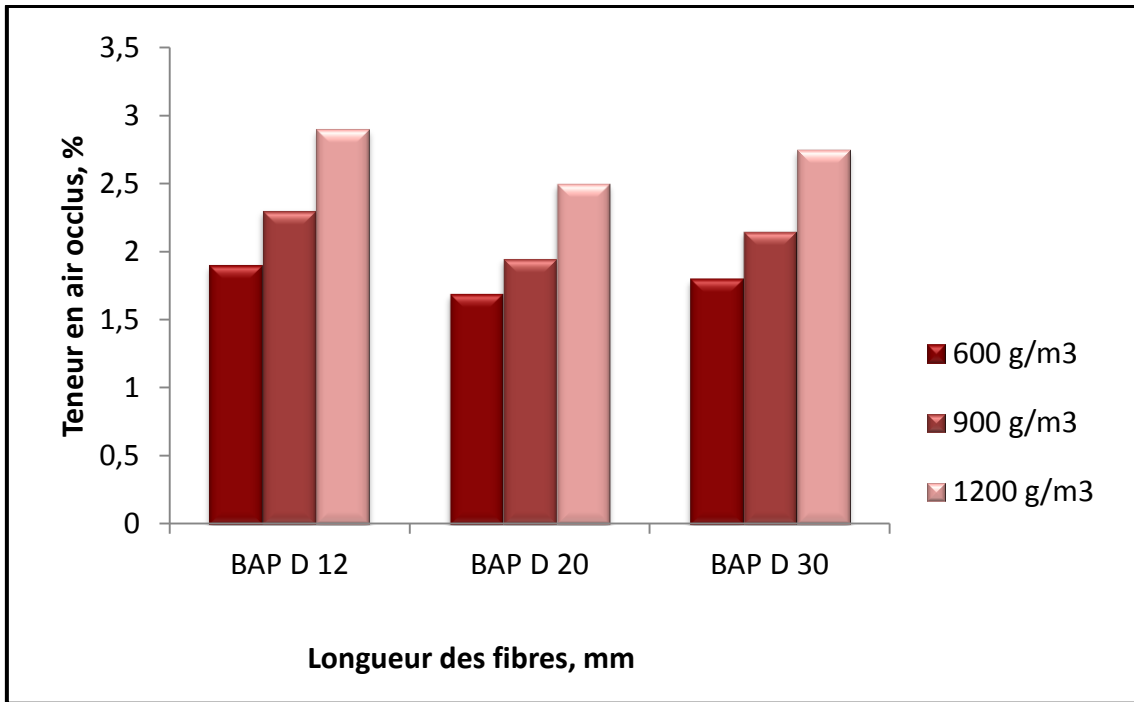


Figure IV- 35. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la teneur en air occlus.

La longueur et le dosage des fibres influencent la teneur en air occlus. Ainsi le BAP D 20 avec un taux de 600 g/m<sup>3</sup> a la teneur en air occlus la plus faible. Alors que les BAP D 12 a la teneur en air maximale et le BAP D 30 une valeur intermédiaire.

Ce comportement peut être expliqué par le fait que la teneur en air est gouvernée par deux facteurs directs que sont le dosage et la longueur et un autre paramètre indirect dépendant de la longueur des fibres correspond à la quantité de fibres.

Lorsque la quantité de fibres augmente, le volume d'air évolue, pour toutes les longueurs de fibres. Mais quand la longueur des fibres augmente, le volume d'air diminue pour les fibres de 2 cm après cela augmente pour les fibres de longueur 3 cm. La quantité de fibres diminue à mesure que la longueur de celle-ci augmente.

**IV.4.1.6. Effet de la longueur des fibres de palmier dattier sur la masse volumique apparente.**

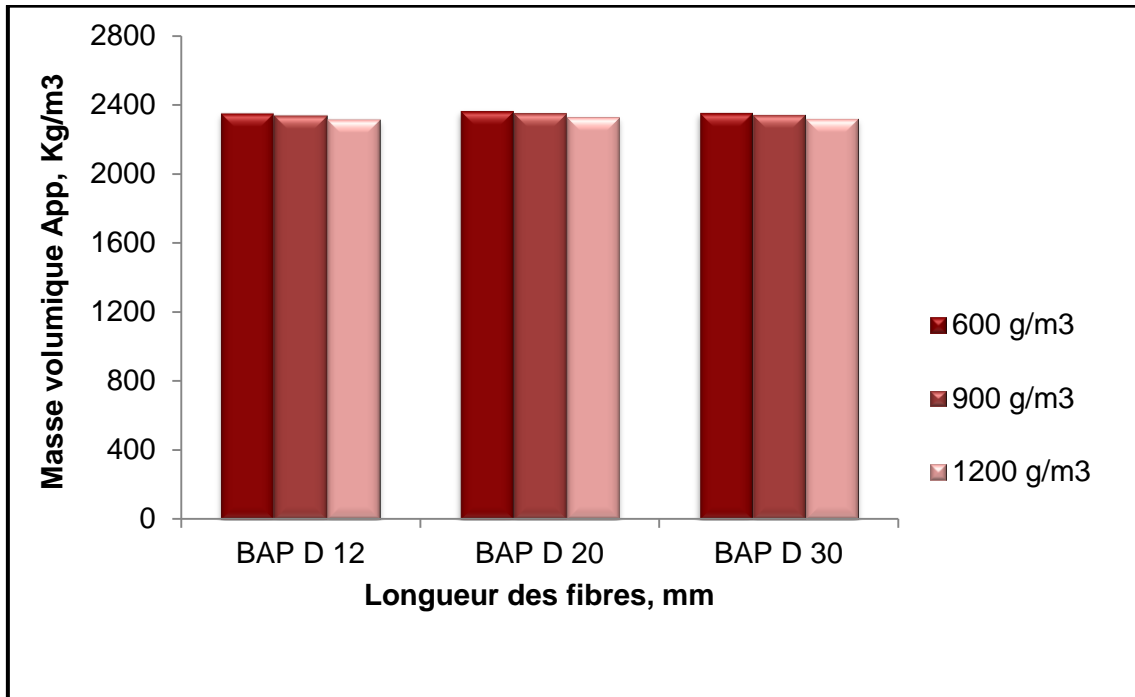


Figure IV- 36. **Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la masse volumique apparente.**

L'influence des fibres sur la masse volumique est peu significative en raison probablement de la quantité de fibres en termes de nombre. Les différences entre les (Figure IV-36).

Toutefois, on peut souligner que les différences en présentant un graphique avec une échelle plus serrée (Figure IV-37) qui montrent en apparence des différences importantes, mais les masses volumiques varient entre 2317,5 et 2354,87 (kg/m<sup>3</sup>). Cette présentation permet de mieux constater la corrélation entre la teneur en air et la masse volumique.

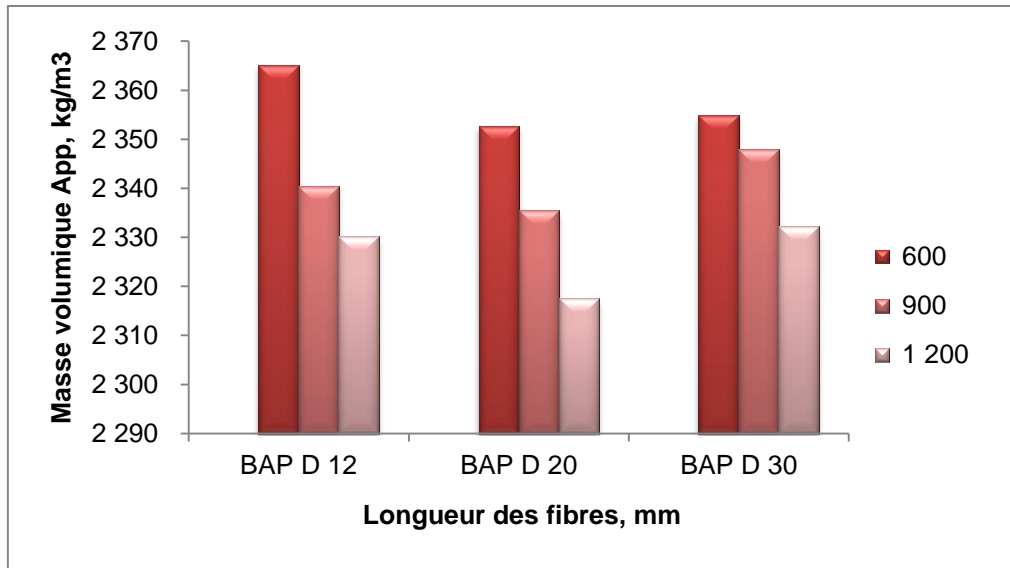


Figure IV- 37. Effet de la longueur des fibres de palmier dattier sur la masse volumique apparente.

## II.8.2. Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur les propriétés des BAP à l'état durci

### II.8.2.1. Analyse des résultats sur la résistance en compression et la cinétique de durcissement des BAP

- *Résistance en compression*

Les résultats obtenus sur la résistance à la compression sont présentés sur les figures IV-38, IV-39, IV-40 et IV-41.

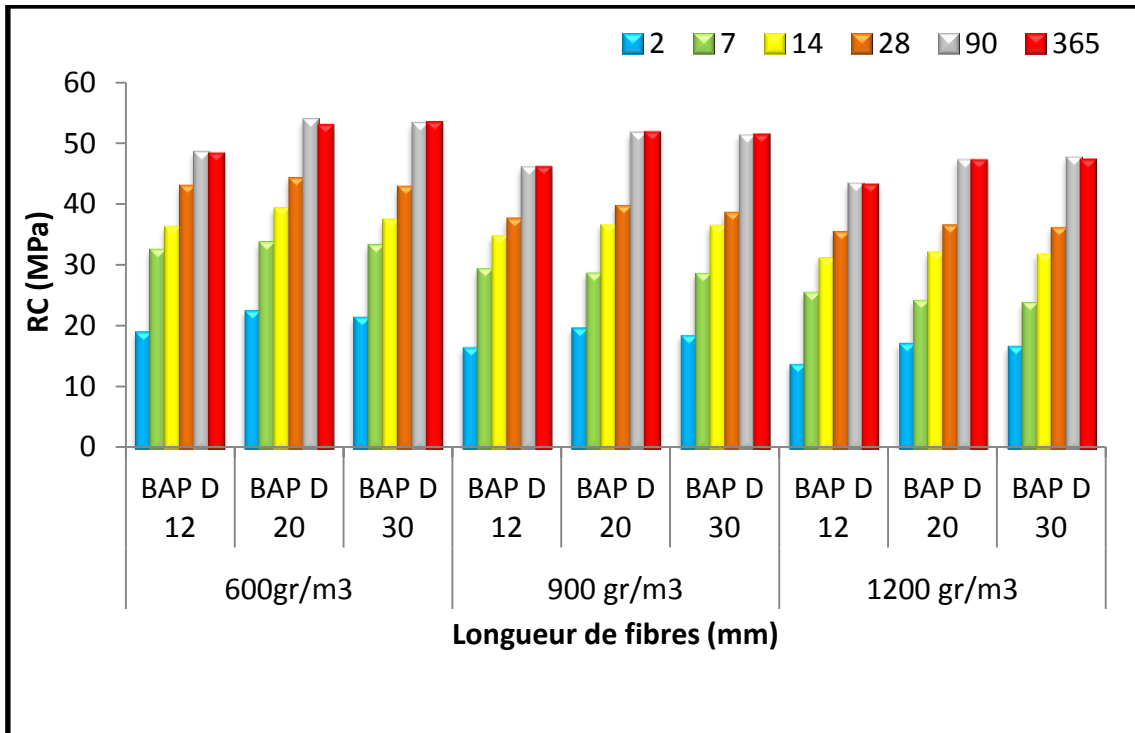


Figure IV- 38. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression.

L'influence des fibres de palmier dattier n'est pas très importante mais dépend de la longueur et du dosage. Les résultats obtenus montrent une plus grande influence du dosage que de la longueur. En effet, les meilleures résistances sont obtenues avec le dosage de 600 g/m<sup>3</sup> pour toutes les longueurs

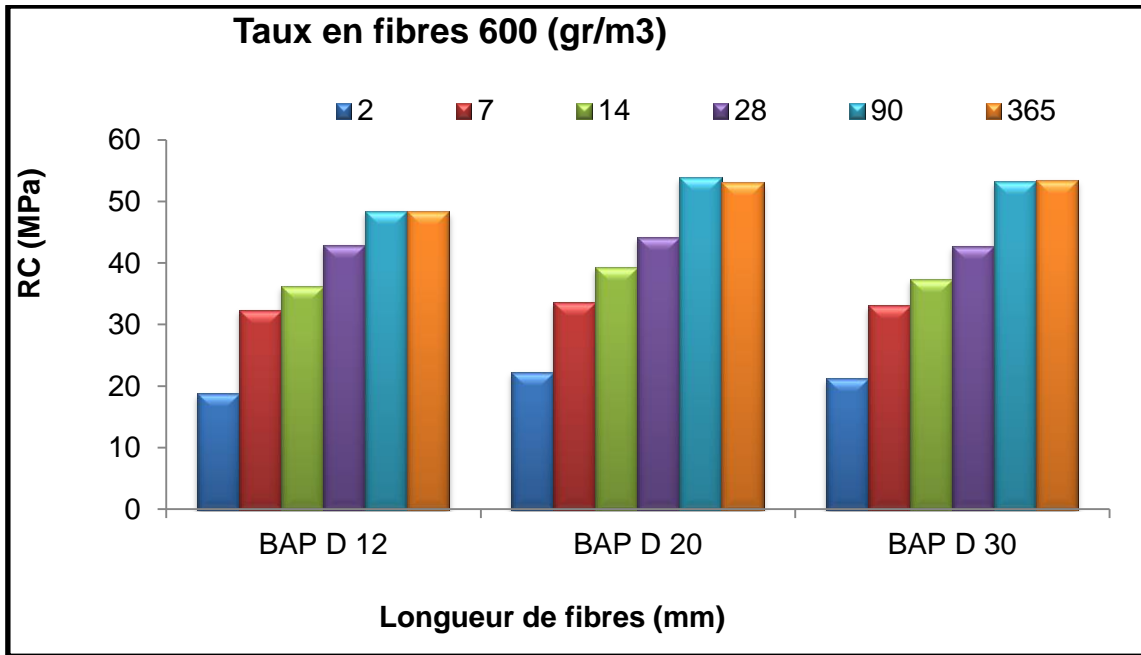


Figure IV- 39. Influence de la longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression (600gr/m<sup>3</sup>).

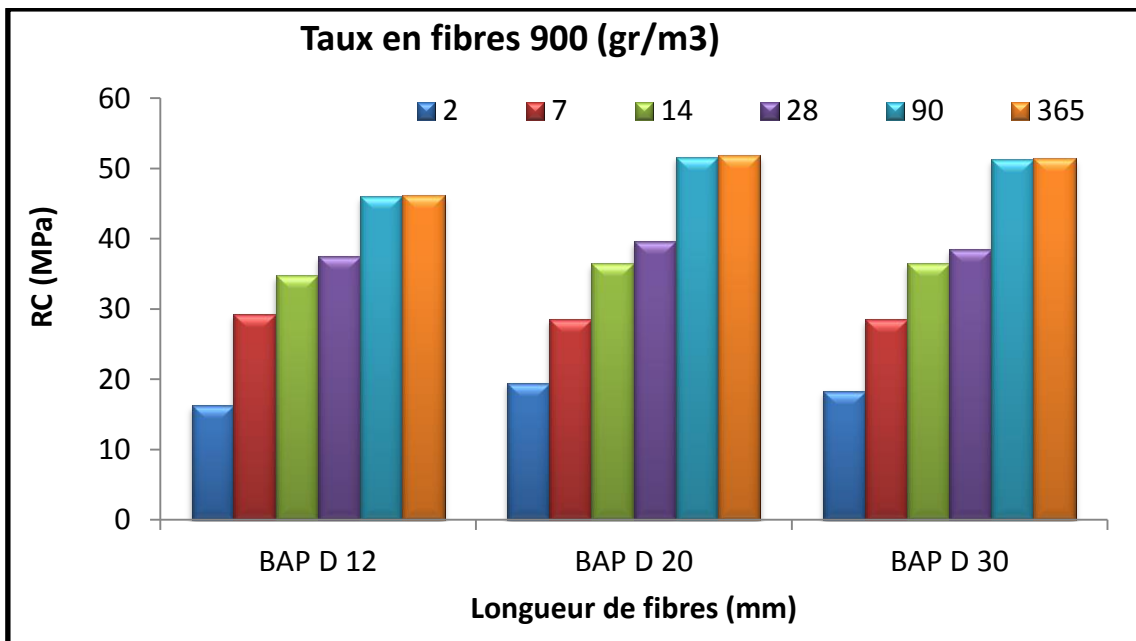


Figure IV- 40. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression (900gr/m<sup>3</sup>).

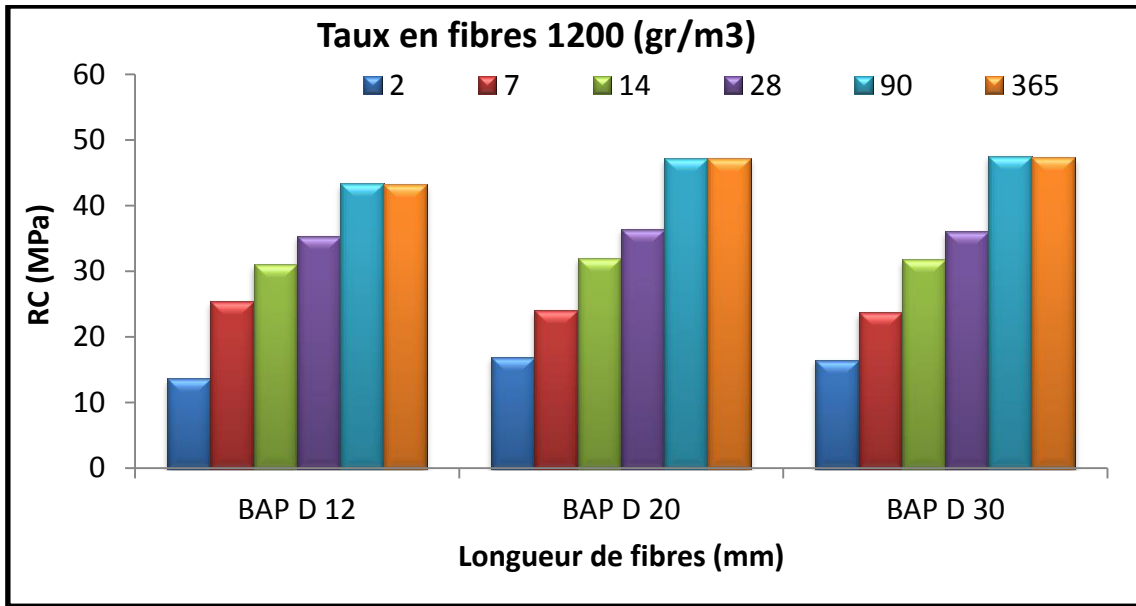


Figure IV- 41. Impact de longueur de fibres de palmier dattier sur la résistance en compression (1200gr/m<sup>3</sup>).

- *Cinétique de durcissement*

Les résultats obtenus concernant la cinétique de durcissement sont montrés par les (Figures IV-42, IV-43, IV-44 et IV-45).

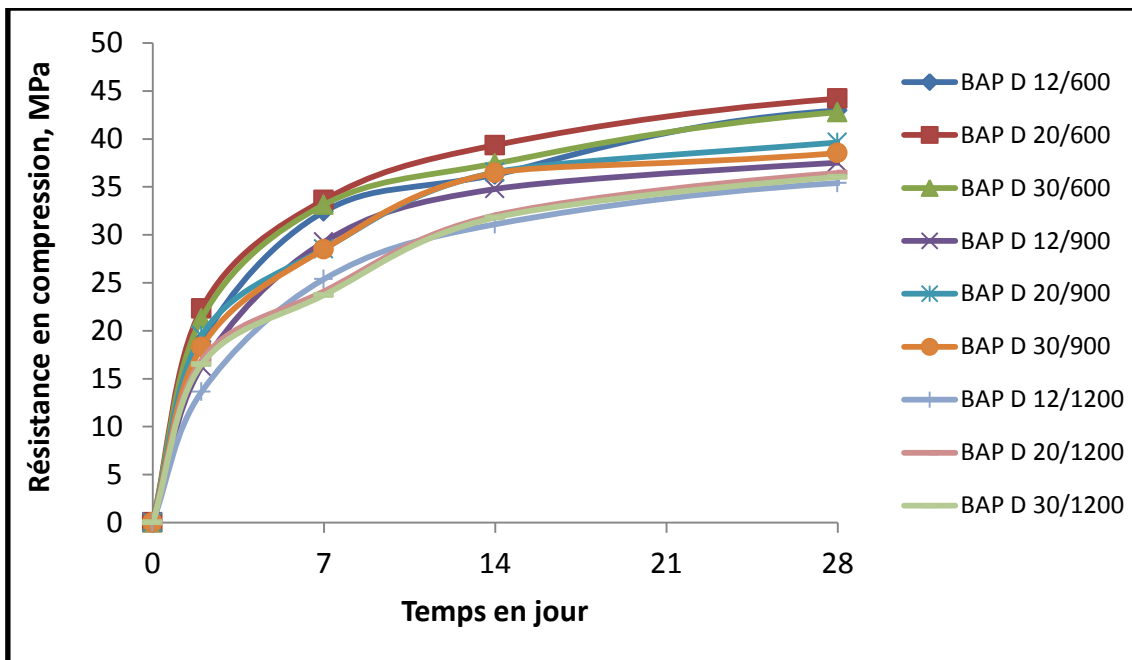


Figure IV- 42. Effet du dosage et de la longueur des fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement des BAP.

CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

En vue de mettre en évidence de façon plus claire ces résultats, nous présentons sur les (Figures IV-43, IV-44 et IV-45), l'effet de la longueur des fibres sur la vitesse de durcissement à court terme (2 jours).

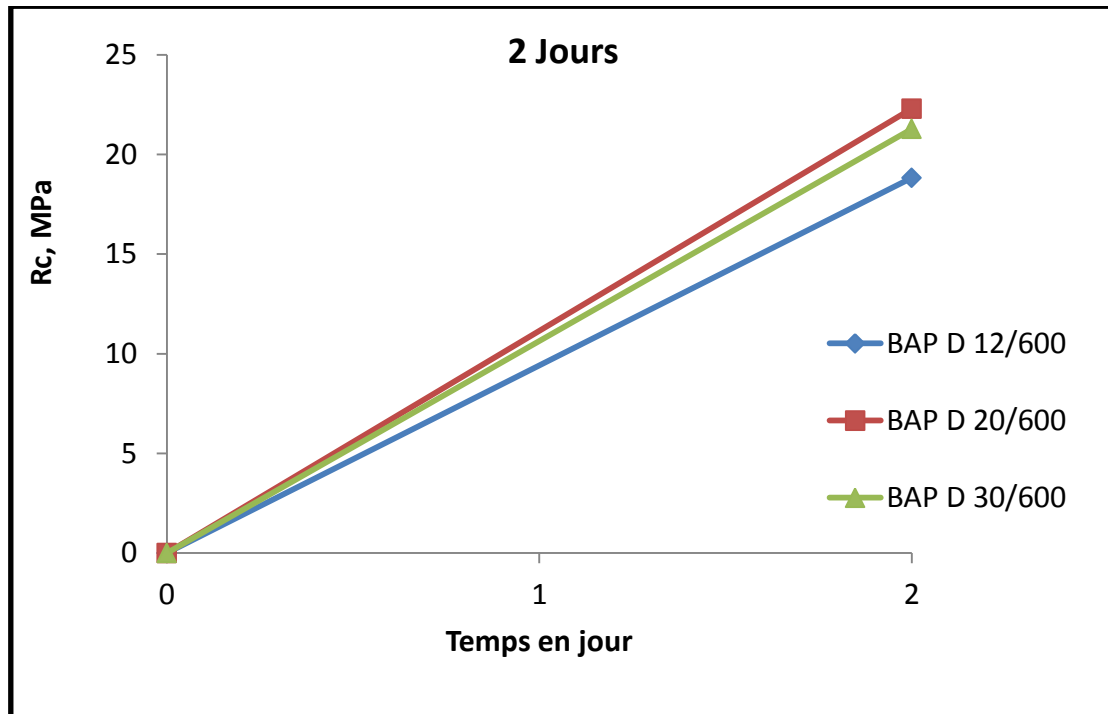


Figure IV- 43. Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

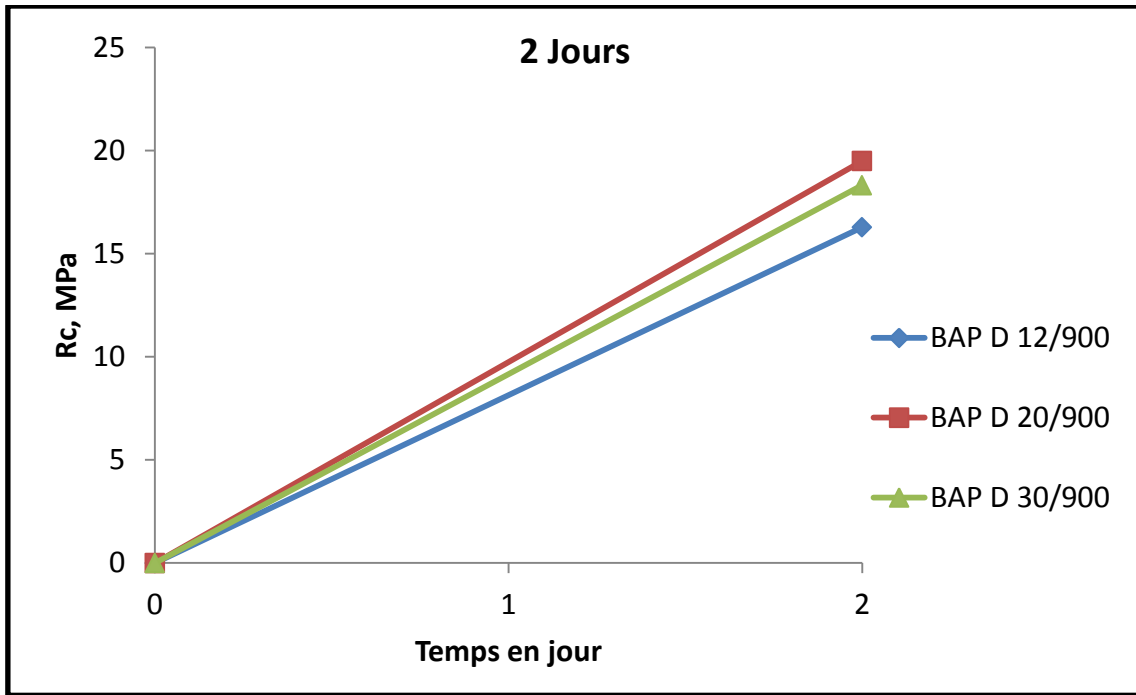


Figure IV- 44. Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

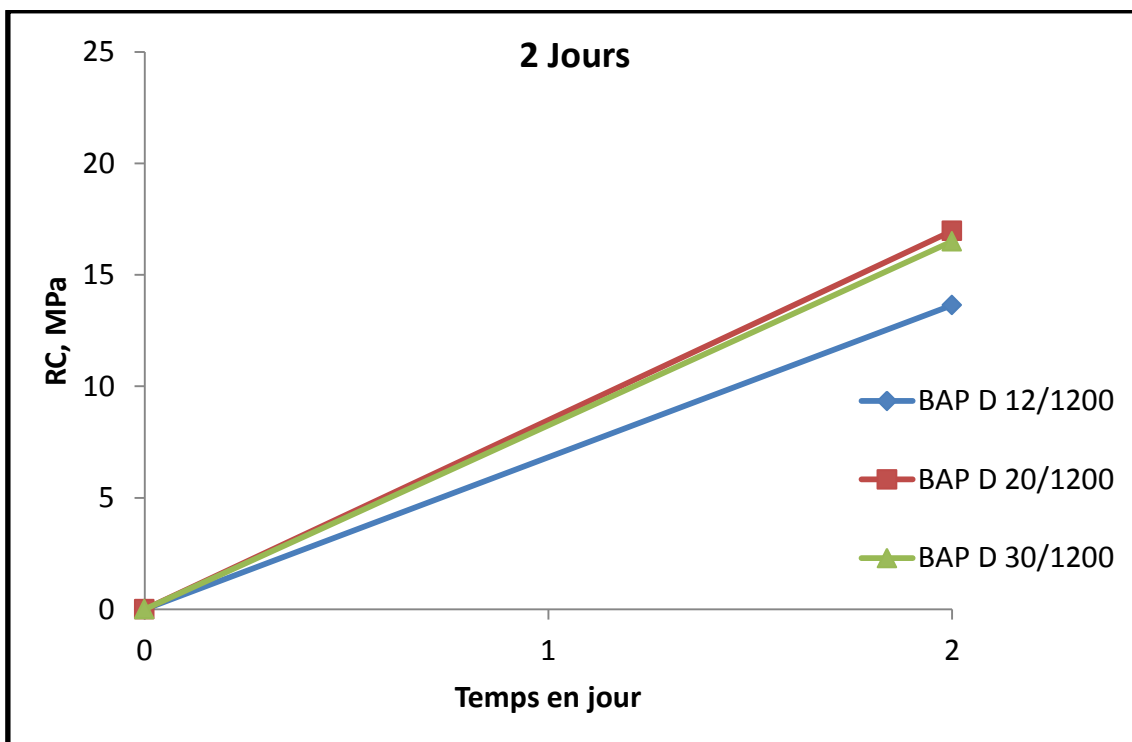


Figure IV- 45. Effet de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

Avec l'augmentation de la longueur des fibres, la cinétique de durcissement, des BAP diminue légèrement (Figures IV-43, IV-44 et IV-45). La cinétique la plus faible correspond au BAP D 12/ pour tous les dosages.

L'impact du volume des fibres sur la cinétique de durcissement entre 0 et 2 jours est présentés sur les (Figures IV-46, IV-47 et IV-48),

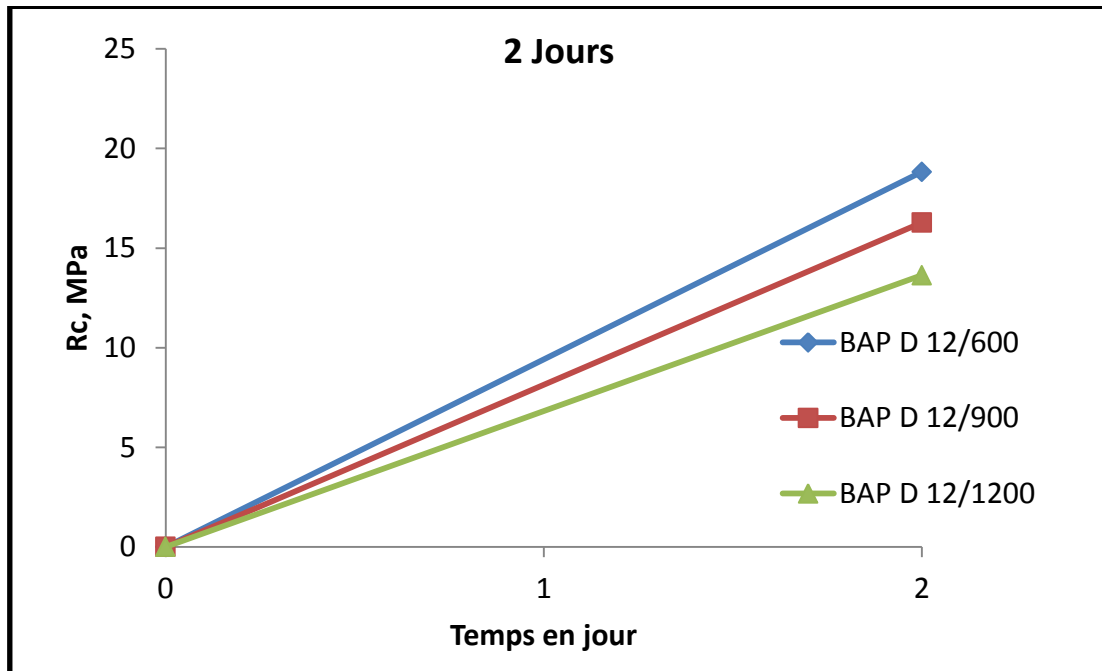


Figure IV- 46. Effet du dosage en fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

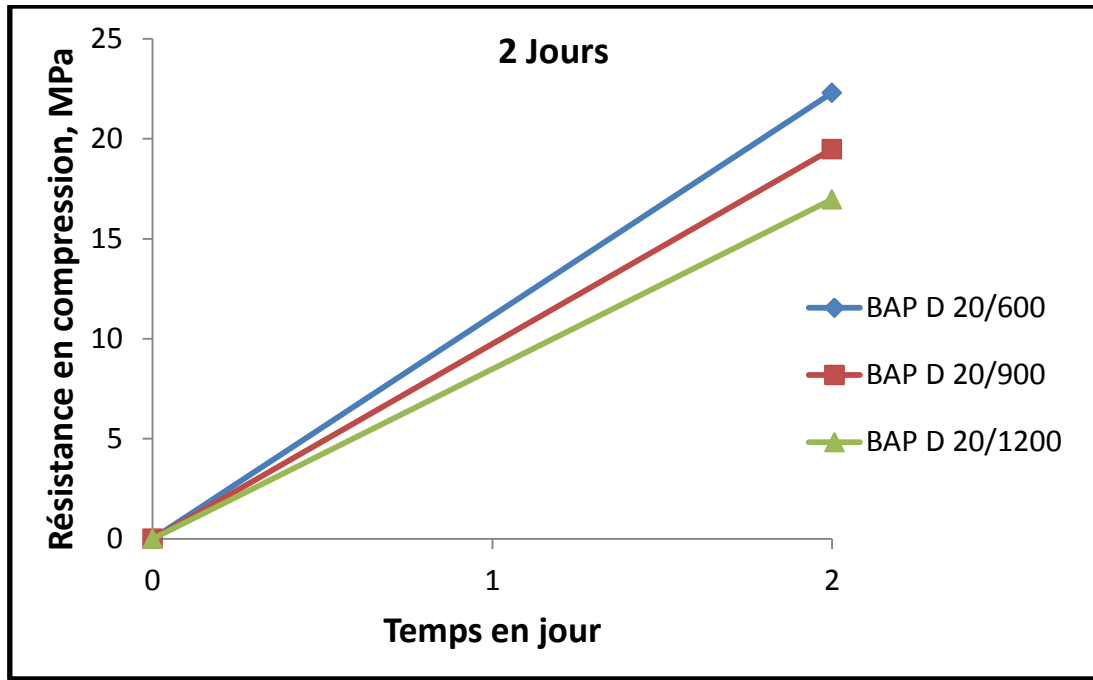


Figure IV- 47. Effet du dosage en fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

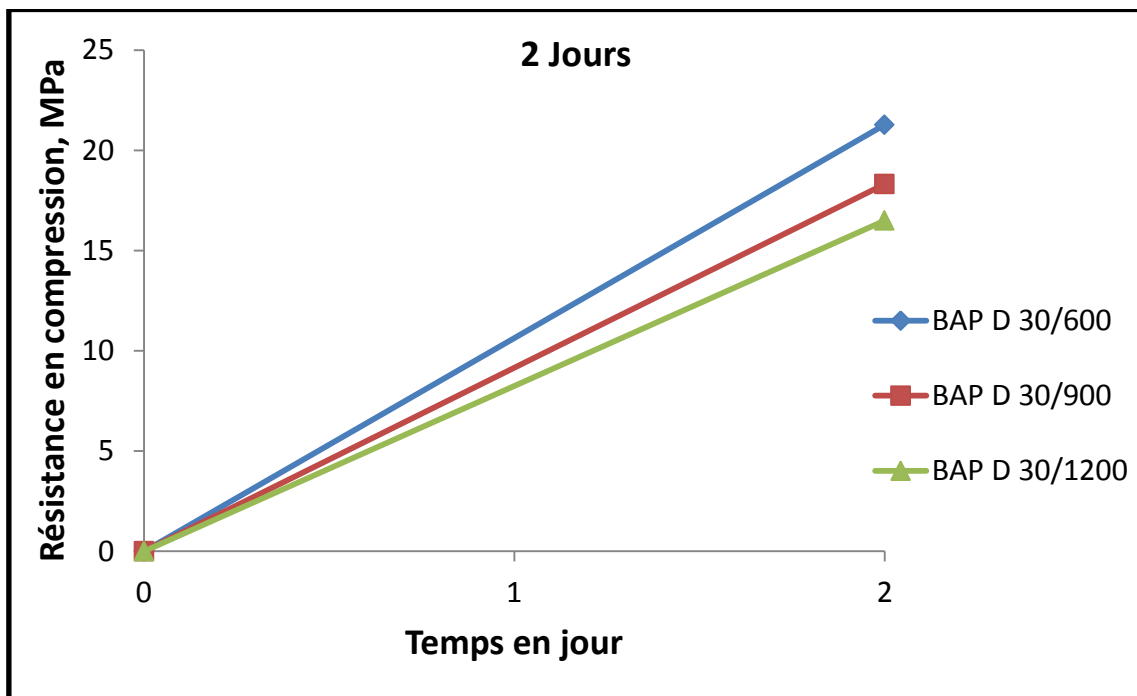


Figure IV- 48. Impact du dosage et de la longueur de fibres de palmier dattier sur la cinétique de durcissement en compression des BAP.

CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

L'Effet du dosage en fibres sur la cinétique de durcissement est plus net, lorsque le dosage augmente, la cinétique diminue pour toutes les longueurs.

Lorsque le dosage augmente, l'effet retardateur de la fibre de palmier dattier est sur la cinétique de durcissement est relativement prononcé pour toutes les longueurs.

Le mécanisme consiste au passage en solution de certaines substances notamment les polysaccharides contenus dans les fibres végétales et qui entraînent un retard de prise et un ralentissement de la cinétique de durcissement des bétons. Cet aspect s'inscrit surtout dans le court terme (de 0 à 2 (7) jours, et s'affaiblit dans le temps.

**II.8.2.2. Analyse des résultats sur la résistance en traction par flexion**

Les résultats sur la résistance à la traction par flexion des BAP à base de fibres de palmier dattier de (1.2, 2 et 3) cm, avec des taux en fibres de (600, 900 et 1200) (g/m<sup>3</sup>), sont exposées dans les (Figures IV-49 a IV-55).

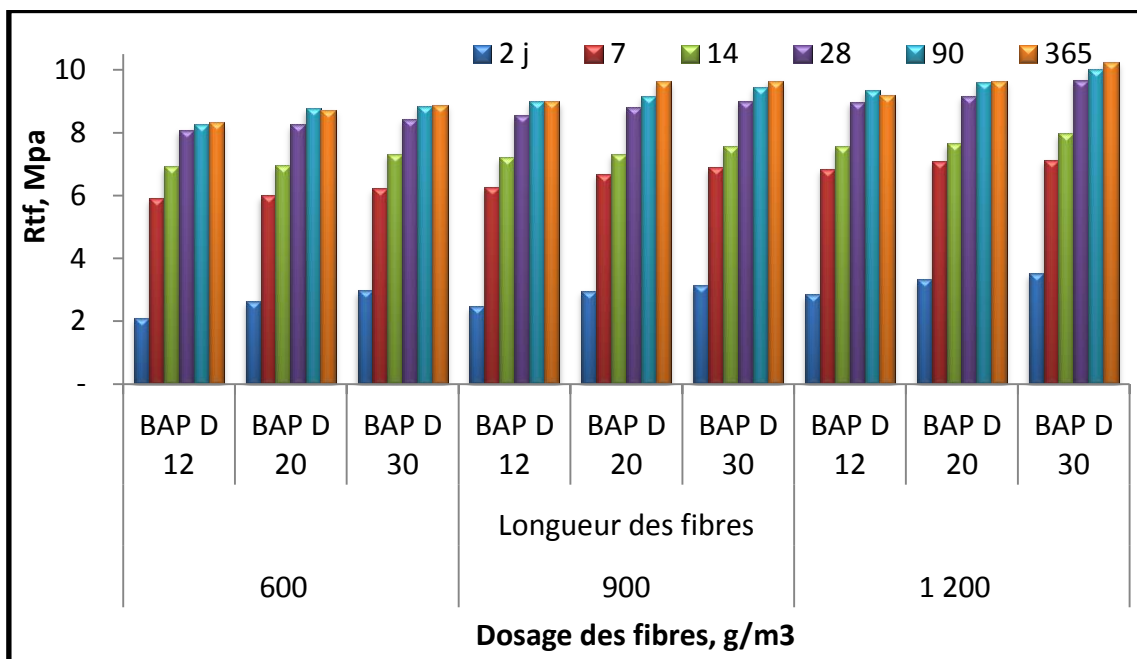


Figure IV- 49. Impact Du dosage et de la longueur de fibres sur la résistance en flexion.

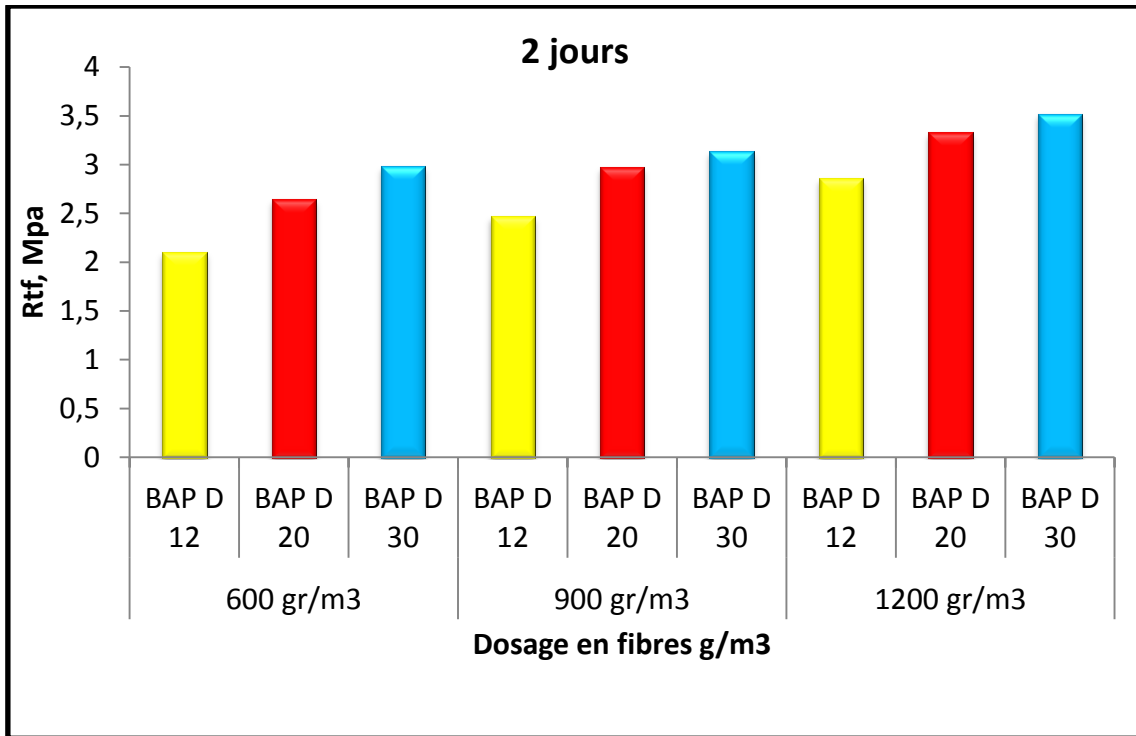


Figure IV- 50. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 2 jours.

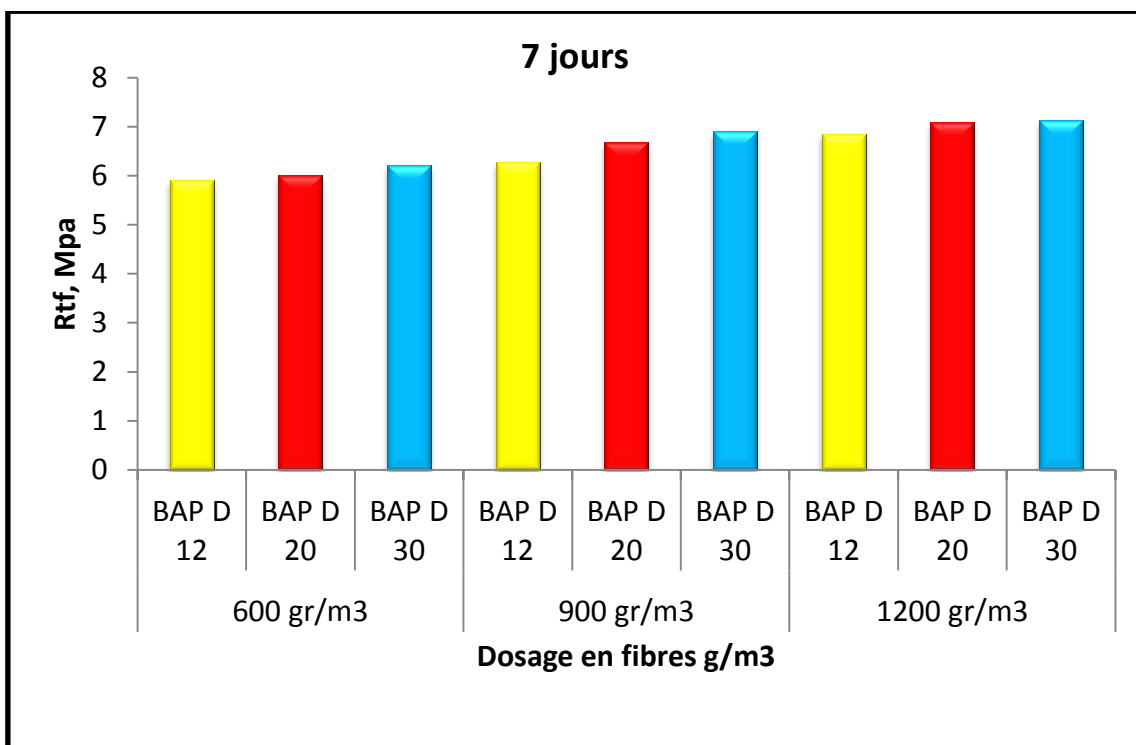


Figure IV- 51. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 7 jours.

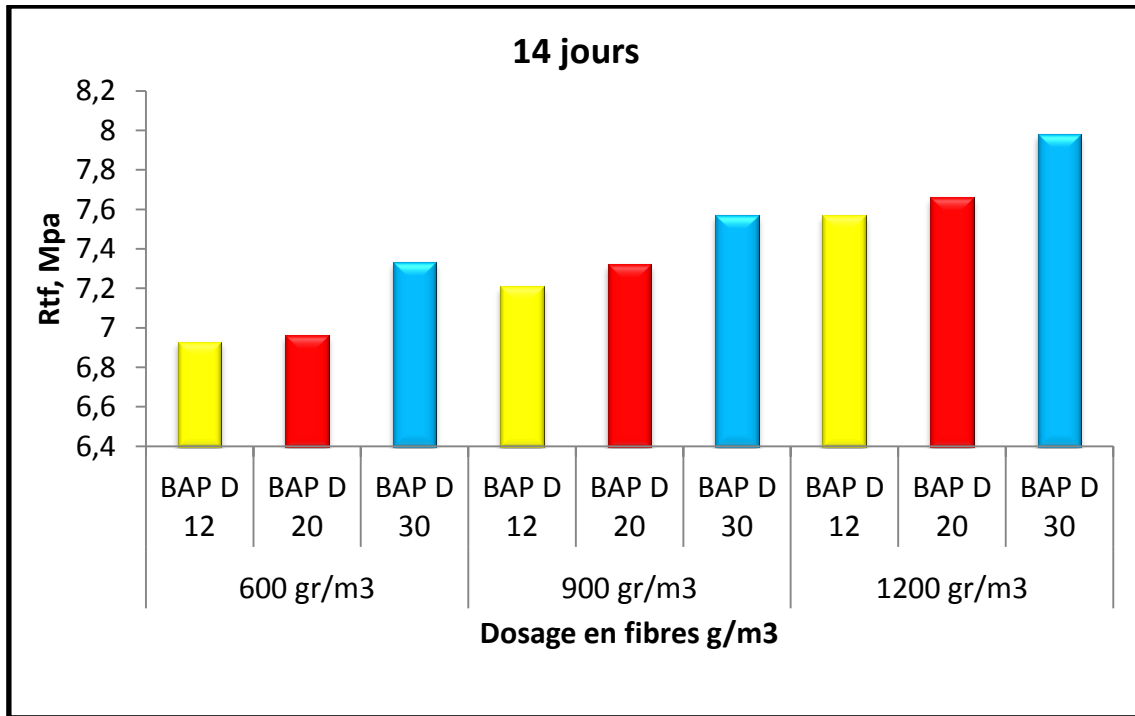


Figure IV- 52. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 14 jours.

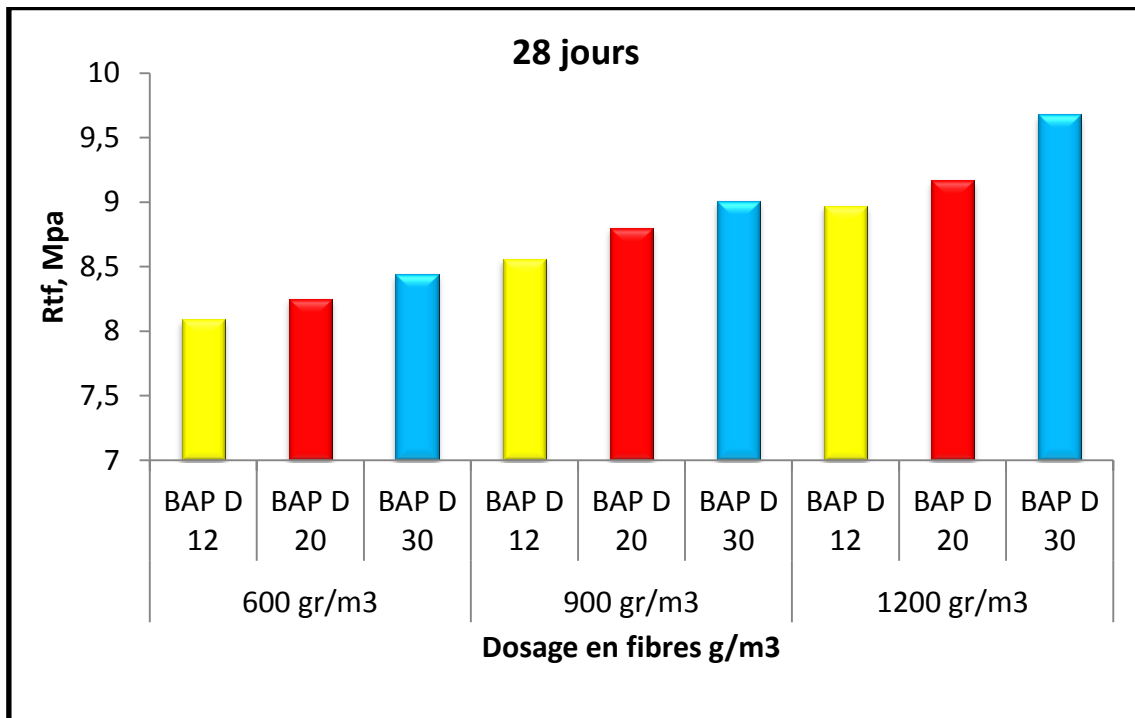


Figure IV- 53. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 28 jours.

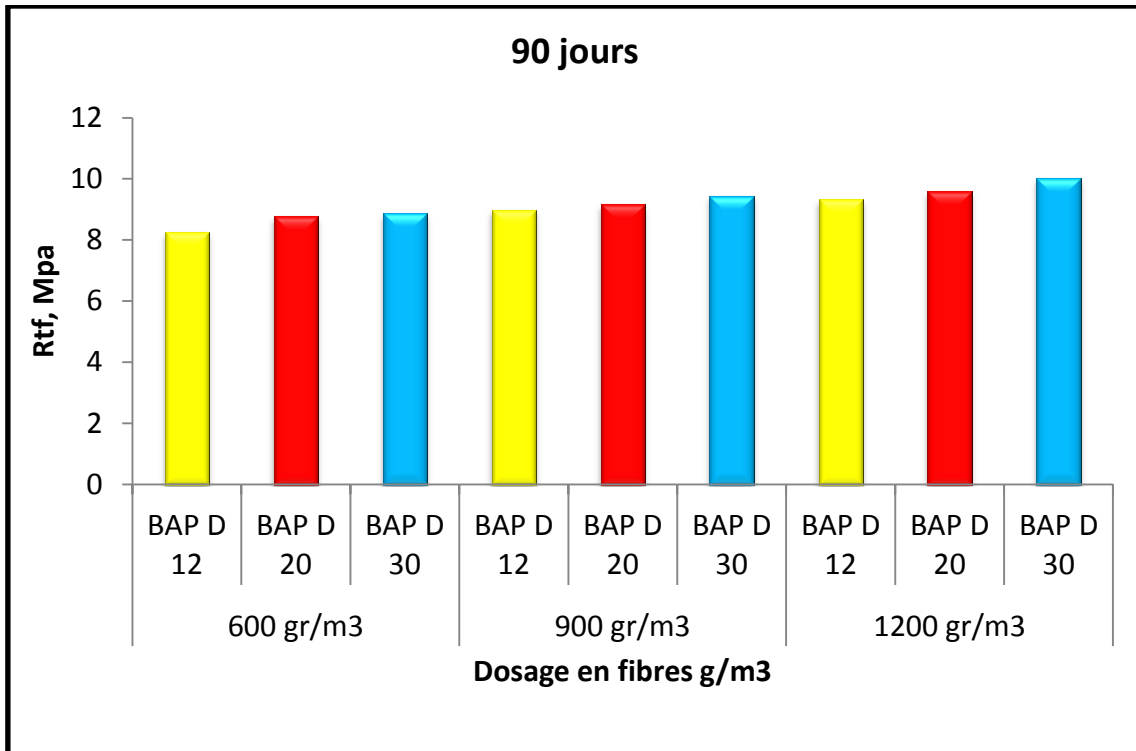


Figure IV- 54. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion 90 jours.

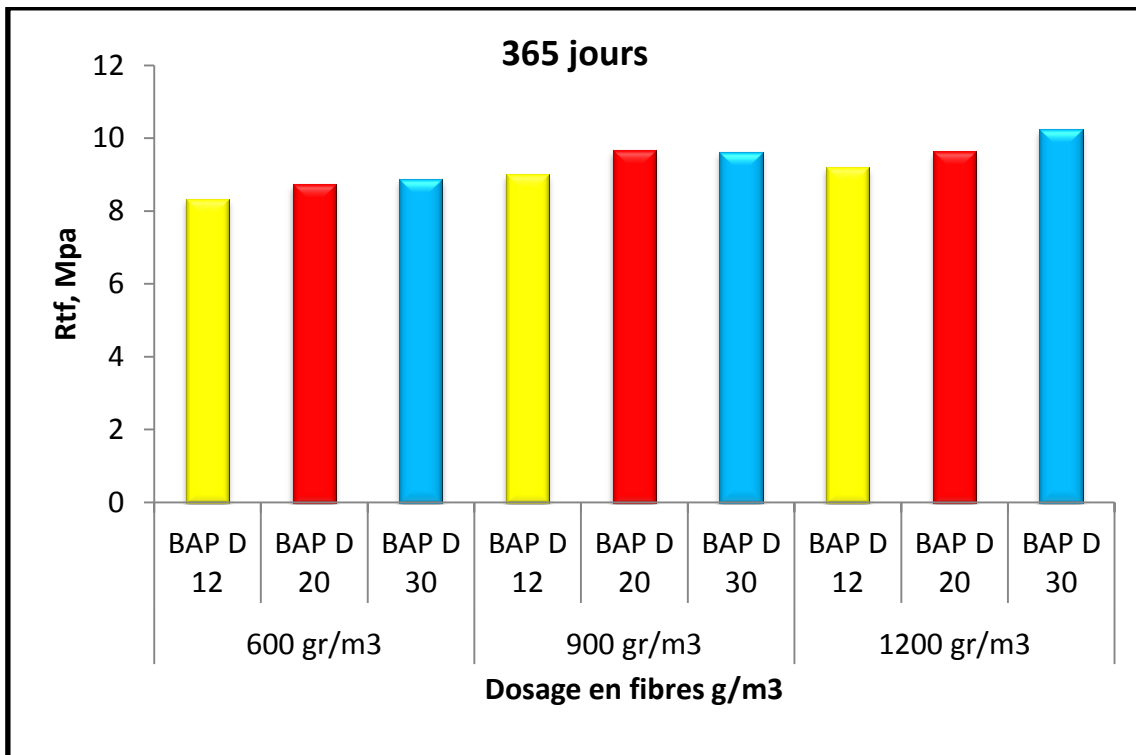


Figure IV- 55. Impact du dosage et de la longueur des fibres sur la résistance en flexion à 365 jours.

Les résultats obtenus montrent une augmentation de la résistance en traction par flexion à toutes les échéances. Cette augmentation est fortement influencée par la longueur et le dosage en fibres,.

En effet, indépendamment du dosage, la fibre la plus longue 3 cm assure la meilleure résistance en flexion du BAP D. Cependant les fibres de longueur 1.2 cm et surtout 2 cm garantissent des niveaux très proches de ceux de la fibre de 3 cm.

#### IV.3.2.4. Analyse des résultats sur le retrait

La (Figure IV-56) présente les résultats des mesures de retrait effectuées sur les différents BAP.

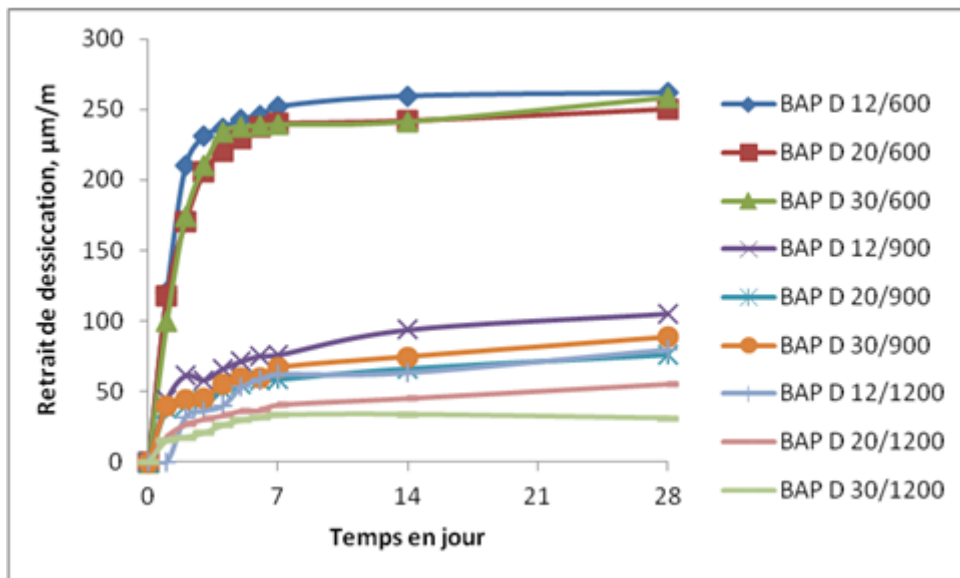


Figure IV- 56. Impact de longueur de fibres sur le retrait des BAP fibrés.

L'augmentation de la longueur des fibres ne diminue pas significativement le retrait surtout pour le dosage de  $600 \text{ g/m}^3$  (Figure IV-56). Cependant, l'augmentation du dosage en fibres de  $600$  à  $900$  et  $1200 \text{ g/m}^3$  réduit sensiblement le retrait (Figure IV-56).

Les résultats obtenus montrent que le dosage en fibres a plus d'influence sur le retrait que leurs longueurs. Pour les dosages de  $900$  et  $1200 \text{ g/m}^3$  la réduction du retrait est divisée par un facteur de 2,5 à 5 par rapport au dosage de  $600 \text{ g/m}^3$

### II.8.2.3. Analyse des résultats d'absorption d'eau capillaire

La (Figures IV-57) présente les résultats des mesures d'absorption d'eau capillaire des différents BAP

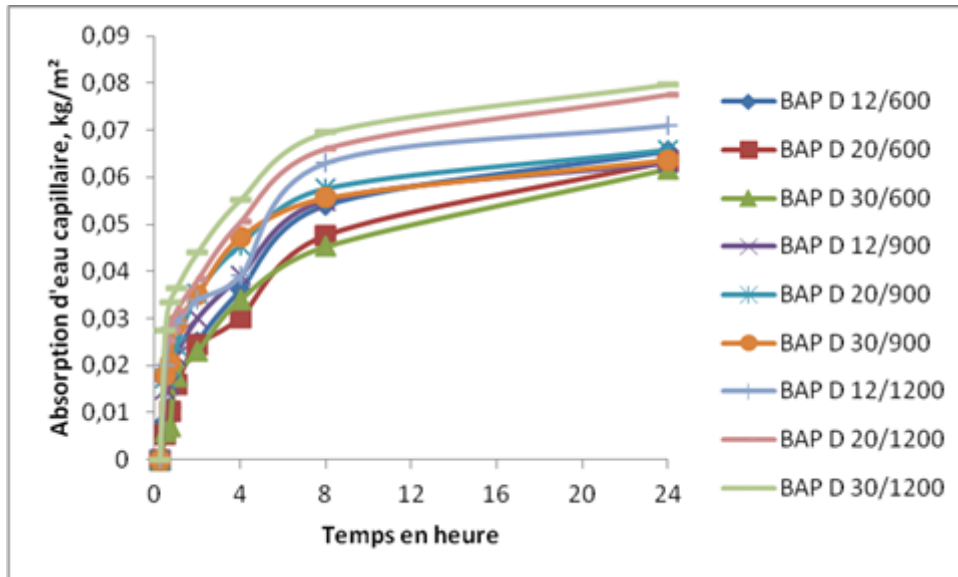


Figure IV- 57. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP.

De manière générale les résultats sont légèrement influencés par la longueur mais un peu plus par le dosage en fibres (Figure IV-57). Pour mieux illustrer ces effets, on expose les résultats de l'effet de la longueur des fibres pour chaque dosage séparément (Figures IV-58 – IV-60).

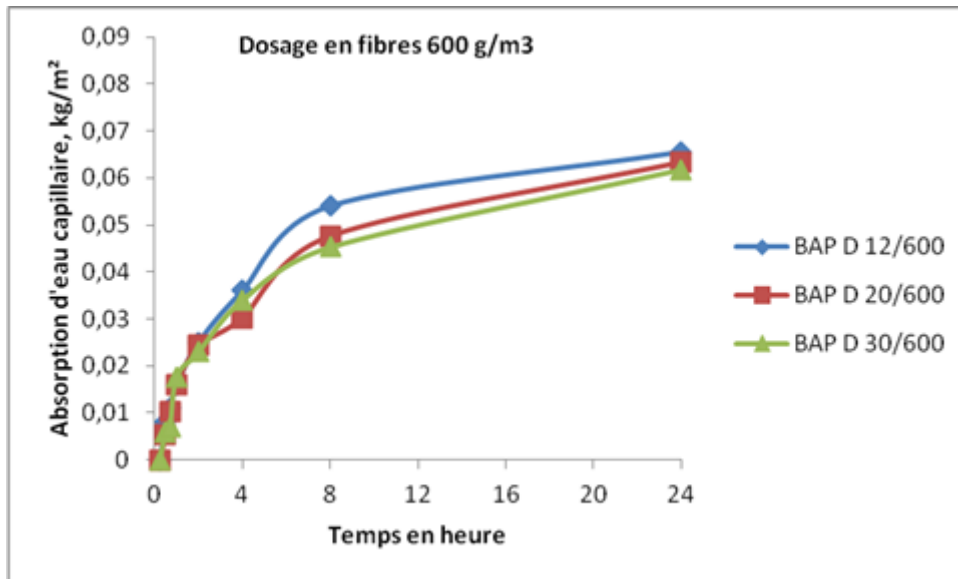


Figure IV- 58. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 600 g/m<sup>3</sup>.

Donc, pour un dosage de 600g/m<sup>3</sup>, En accroissant la longueur des fibres, l'absorption d'eau capillaire diminue (Figure IV-54). Cependant en augmentant le dosage en fibres à 900 puis à 1200 (g/m<sup>3</sup>), l'absorption d'eau capillaire du BAP D 12 diminue et celle des BAP D 20 et BAP D 30 augmente (Figures IV-55 et IV-56). On peut alors déduire que pour chaque longueur de fibre, il existe un dosage maximal qui permet d'obtenir une absorption d'eau capillaire minimale.

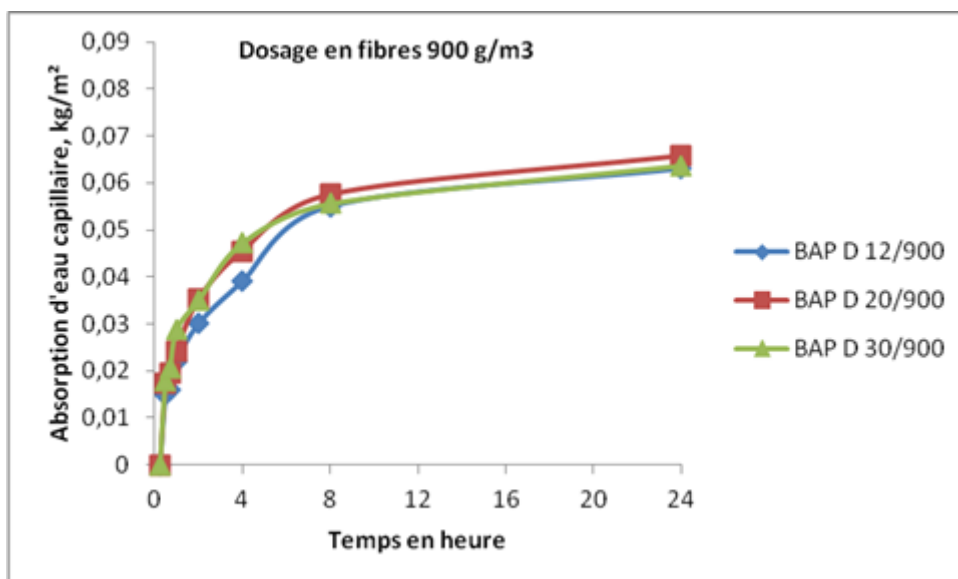


Figure IV- 59. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 900 g/m<sup>3</sup>.

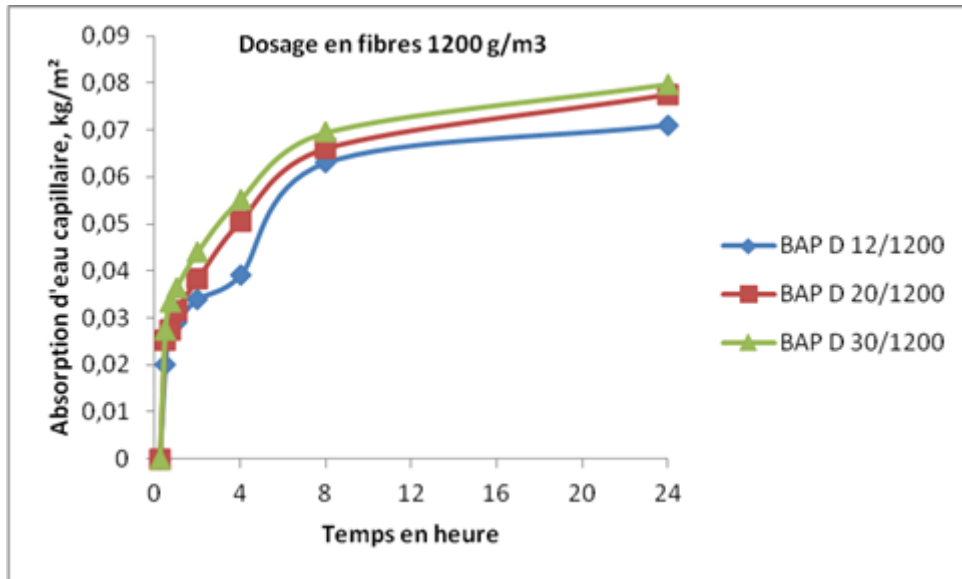


Figure IV- 60. Impact de la longueur de fibre sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP pour un dosage de 1200 g/m<sup>3</sup>.

## IV.5 CONCLUSION

L'analyse des résultats obtenus sur les BAP avec fibre de polypropylène et fibre de palmier dattier montrent ce qui suit :

- Quel que soit le type de fibres, polypropylène (P) ou palmier dattier (D), leur introduction dans les BAP, entraîne une diminution des propriétés d'autoplaçance : une résistance à l'étalement, l'augmentation du temps d'écoulement, la diminution du taux de laitance et de la capacité de remplissage.

- L'emploi des fibres de palmier dattier et de polypropylène a entraîné une augmentation du taux d'air occlus. Par conséquent, la masse volumique apparente des BAP diminue aussi mais faiblement.

- La résistance en compression des BAP fibrés décroît en introduisant et en augmentant le taux en fibres. Les fibres de palmier dattier présentent une plus faible perte de résistance par rapport aux fibres de polypropylène.

- La vitesse à laquelle les BAP se durcissent en compression est légèrement affectée par l'introduction des fibres en particulier celles du palmier dattier.

- Cependant, l'ajout de fibres au BAP entraîne une nette amélioration de la résistance en flexion par rapport au béton de référence non fibrés.

- En fonction du dosage et de la nature des fibres, la résistance en flexion s'accroît. Les résultats optimaux sont garantis grâce aux fibres de palmier dattier. La hausse du dosage en fibres de polypropylène n'entraîne pas une amélioration notable au de delà de  $900 \text{ g/m}^3$ , au contraire on relève une diminution de la résistance en flexion. Alors que l'augmentation du dosage en fibre de palmier dattier à  $1200 \text{ g/m}^3$  donne une résistance accrue.

- Les mesures de retrait révèlent que l'emploi de fibres permet de diminuer le retrait. Cette diminution est influencée En fonction du le dosage et la nature des fibres. Le retrait des BAP fibrés est approximativement divisé par un facteur de deux par rapport à celui du BAP R pour le dosage de  $600 \text{ g/m}^3$  et par un facteur de trois à 9 pour les taux de  $900$  et  $1200 \text{ g/m}^3$  en fonction de la nature des fibres. Les fibres de palmier dattier ont une meilleure performance que les fibres de polypropylène. La diminution du retrait est obtenue avec tous les dosages, mais le dosage de  $1200 \text{ g/m}^3$  constitue le dosage optimal.

#### CHAPITRE IV Impact de la longueur et du taux en fibres de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP a l'état frais et durci

- L'incorporation des fibres dans le béton introduisent une porosité supplémentaire (Chikhi 2016). Le béton non fibré présente le plus faible coefficient d'absorption d'eau Concernant les BAP fibrés. Les BAP avec fibre de palmier dattier présentent des coefficients d'absorption d'eau capillaire légèrement plus faibles que ceux des BAP avec fibre de polypropylène pour les dosages de 900 et 1200 g/m<sup>3</sup>.

L'Analyse des résultats de l'impact de la longueur (1.2 – 2 et 3, cm) et du taux (600 – 900 et 1200, g/m<sup>3</sup>) de la fibre de palmier dattier sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durci sont présentés comme suit :

- L'utilisation d'un dosage de 600 g/m<sup>3</sup> et d'une longueur de 2 cm de la fibre de palmier dattier a permis d'acquérir les meilleures valeurs des paramètres d'autoplaçance, notamment en ce qui concerne l'étalement, le pouvoir de remplissage et la stabilité du tamis.

- Les meilleures résistances en compression ont été obtenues en utilisant un dosage de 600 g/m<sup>3</sup> et une longueur de 2 cm de la fibre de palmier dattier.

- La fibre de palmier dattier de longueur de 1,2 cm, a entraîné les réductions les plus significatives des résistances en compression.

- Lorsque le dosage des fibres de palmier dattier est augmenté, cela entraîne une réduction de la résistance à la compression et de la vitesse de durcissement.

- L'augmentation de la longueur et du dosage des fibres de palmier dattier entraîne une augmentation de la résistance à la traction par flexion.

- La croissance de la longueur des fibres permet de diminuer légèrement le retrait. Cependant l'accroissement du dosage de 600 à 900 (g/m<sup>3</sup>) réduit le retrait par un facteur de 2,5 et l'augmentation du dosage en fibres de 600 à 1200 (g/m<sup>3</sup>) diminue le retrait par un facteur de 5.

- L'absorption d'eau capillaire dépend de la longueur et du dosage en fibres, par conséquent, pour chaque longueur de fibre, il existe un dosage maximal qui permet d'obtenir une absorption d'eau capillaire minimale.

## **RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES Chapitre IV**

---

- Boutarfa, M., Belouettar, R., Makradi, A. (2018). "Comparative Study of Cement Mortar Reinforced with Vegetable Fibers Alfa, Date Palm and Diss: Mechanical Properties and Shrinkage." *J. Mater. Environ. Sci.* **9-2304-14**.
- Chafei, S. (2014). Influence de différents traitements sur les comportements rhéologique et mécanique d'un composite cimentaire mortier-fibres de lin, Caen.
- Chikhi, M. (2016). "Young's modulus and thermophysical performances of bio-sourced materials based on date palm fibers." *Energy and buildings* **129**: 589-597.
- EFNARC (2005). "EFNARC: The European guidelines for self compacting concrete." Specification, Production and Use **63**.
- El-Dieb, A. and M. R. Taha (2012). "Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)." *Construction and Building Materials* **27**(1): 585-596.
- El Hilali, A. (2009). Etude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP): influence des fines calcaires et des fibres végétales, Cergy-Pontoise.
- EN-206-09 (2010). La norme béton autoplaçant règles complémentaires pour le béton autoplaçant. Norme française homologuée.
- Fokam, C, et al. (2020). "Cement Mortar Reinforced with Palm Nuts Natural Fibers: Study of the Mechanical Properties." *Revue des Composites et des Matériaux Avancés* **30**(1).
- Grzesiak, S., M. Pahn, et al. (2021). "Influence of Fiber Addition on the Properties of High-Performance Concrete." *Materials* **14**(13): 3736.
- Haba, B., B. Agoudjil, et al. (2017). "Hygric properties and thermal conductivity of a new insulation material for building based on date palm concrete." *Construction and Building Materials* **154**: 963-971.
- Khayat, KH, et al. (2008). Effect of fiber type on workability and mechanical properties of SCC. Proceedings of the Third North American conference on the Design and Use of Self-consolidating Concrete SCC Chicago.
- Le Hoang, T. (2013). Etude de caractérisation du comportement de composites cimentaires incorporant des fibres courtes de lin, Caen France.
- Leong, G. W., K. H. Mo, et al. (2020). "Mechanical properties and drying shrinkage of lightweight cementitious composite incorporating perlite microspheres and polypropylene fibers." *Construction and Building Materials* **246**: 118410.
- Page, J. (2017). Formulation et caractérisation d'un composite cimentaire biofibré pour des procédés de construction préfabriquée, Normandie Université.
- Sedan, D. (2007). Etude des interactions physico-chimiques aux interfaces fibres de chanvre/ciment: influence sur les propriétés mécaniques du composite, Limoges.
- Sika fibre. (2020). "[https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/g/sikafiber\\_-12-34.pdf](https://dza.sika.com/content/dam/dms/dz01/g/sikafiber_-12-34.pdf)." Fibre de polypropylène Retrieved 12-34.
- Tahar Tioua, A. K., Gonzalo Barluenga, Irene Palomar, (2017). "Influence of date palm fiber and shrinkage reducing admixture on self-compacting concrete performance at early age in hot-dry environment, ." *Construction and Building Materials* **154**,( 721-7,3).
- Tahar, A.-B., T. Tahar, et al. (2016). "Effet de l'incorporation des fibres d'Alfa sur le comportement des bétons autoplaçants." *Journal of Materials, Processes and Environment* **4**(1): 5-10.
- Tioua, T., A. Kriker, et al. (2017). "Influence of date palm fiber and shrinkage reducing admixture on self-compacting concrete performance at early age in hot-dry environment." *Construction and Building Materials* **154**: 721-733.

- Walid, L. (2015). Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de diss sur les propriétés des bétons autoplaçants, Université Badji Mokhtar.
- Walid, L, et al. (2014). "Caractérisation d'un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène et de diss. Characterization of a Self-Compacting Concrete with Addition of Crystallized Slag and Reinforced with Polypropylene and Diss Fibers." Revue des Sciences et de la Technologie Synthèse N27N.A(29): 31.
- Yadegaran I, Mahoutian M, et al. (2007). "Effect of Polypropylene Fibers on Shrinkage of Self-compacting Concrete." 5th International RILEM.
- Yadegaran, I., M. Mahoutian, et al. (2007). 106. Effect of polypropylene fibers on shrinkage of self-compacting concrete. 5th International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, RILEM Publications SARL.

# **CONCLUSION GÉNÉRALE**

## CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail de thèse dont nous présentons les conclusions s'articule autour de deux parties : la première consiste à mettre en place une composition de BAP optimisée en termes de grosseur maximale des granulats ( $D_{max}$ ) du rapport gravier/sable (G/S).

La deuxième partie traite de la caractérisation à l'état frais et à l'état durci de l'introduction des fibres végétales de palmier dattier dans le BAP, les fibres de polypropylène sont utilisées comme fibres témoins.

La mise en place d'une composition optimale de BAP en termes de  $D_{max}$  et de rapport (G/S) a nécessité un volume de travail expérimental conséquent, car il fallait satisfaire au moins trois paramètres d'autoplaçance : l'étalement, le pouvoir de remplissage et la résistance à la ségrégation.

Les enseignements suivants ont été tirés :

- L'augmentation du diamètre des gros granulats entraîne une réduction des paramètres d'autoplaçance, notamment l'étalement et le temps d'étalement; ce qui a pour conséquence le changement de leurs classes respectives ;
- Le pouvoir de remplissage est fortement influencé par l'augmentation de  $D_{max}$  ;
- Les résultats obtenus sur la stabilité au tamis, montrent aussi une diminution de la quantité de laitance avec l'augmentation du diamètre des granulats, ce qui ne constitue pas forcément un défaut mais peut limiter l'employabilité des BAP à faible laitance, uniquement pour les éléments verticaux ou inclinés d'une structure ;
- La résistance en compression des BAP est améliorée avec l'augmentation de la grosseur des granulats ;
- Des essais préliminaires ont montré un blocage du BAP avec un rapport  $G/S = 2$  dans la boîte L au niveau des barres et sachant que le BAP sera fibré et on sait l'effet des fibres végétales sur l'ouvrabilité du béton, nous avons limité le rapport G/S à 1,6 pour la suite du travail. Cette mesure est préventive, car avec l'introduction des fibres végétales, une dégradation des caractéristiques d'autoplaçance est vraisemblable ;
- Les principales caractéristiques des BAP à l'état frais sont obtenues avec le rapport  $G/S=1$ , préconisée par plusieurs méthodes de formulation. Néanmoins, la plus

forte résistance en compression, facteur de durabilité de premier ordre, est obtenue par le rapport  $G/S = 1.6$  dont les caractéristiques à l'état frais sont les plus faibles. Le BAP avec le rapport  $G/S = 1,4$  a des propriétés à l'état frais proches de celles du BAP avec le rapport  $G/S = 1$  et une résistance en compression voisine de celle du BAP de rapport  $G/S = 1.6$ , il constitue ainsi un bon compromis entre les propriétés à l'état frais et celle à l'état durci. Pour ces raisons, la variante du BAP avec le rapport  $G/S = 1,4$  a été retenue comme composition témoin et qui a servi pour formuler les bétons autoplaçants fibrés ;

- Quelque soit le type de fibres, polypropylène (P) ou palmier dattier (D), leur introduction dans les BAP, entraîne une diminution des propriétés d'autoplaçance :

- L'emploi des fibres de palmier dattier et de polypropylène augmente la teneur en air occlus. Par conséquent, la masse volumique apparente des BAP diminue aussi mais faiblement.

- La résistance en compression des BAP fibrés décroît avec l'introduction et l'augmentation du dosage en fibres. Les fibres de palmier dattier entraînent une plus faible perte de résistance que les fibres de polypropylène

- La cinétique de durcissement en compression des BAP est légèrement influencée par l'introduction des fibres en particulier celles de palmier dattier.

- L'ajout de fibres au BAP entraîne une amélioration notable de la résistance en flexion par rapport au béton témoin (non fibré) ;

- L'augmentation de la résistance en flexion est fonction du dosage et de la nature des fibres, les fibres de palmier dattier garantissent les meilleurs résultats.

- L'augmentation du dosage en fibres de polypropylène n'entraîne pas une amélioration notable au de delà de  $900 \text{ g/m}^3$ , au contraire on relève une diminution de la résistance en flexion. Alors que l'augmentation du dosage en fibre de palmier dattier à  $1200 \text{ g/m}^3$  donne de meilleures résistances.

- L'utilisation des fibres permet de réduire le retrait. Cette réduction dépend du dosage et de la nature des fibres. Le retrait des BAP fibrés est approximativement divisé par un facteur de deux par rapport à celui du BAP témoin pour le dosage de  $600 \text{ g/m}^3$  et par un facteur de trois à neuf pour les dosages de  $900$  et  $1200 \text{ g/m}^3$  en fonction de la nature des fibres ;

- Les fibres de palmier dattier sont plus efficaces que les fibres de polypropylène. La diminution du retrait est obtenue avec tous les dosages, mais le dosage de  $1200 \text{ g/m}^3$  constitue le dosage optimal.

- L'incorporation des fibres dans le BAP introduit une porosité supplémentaire (Chikhi 2016).
- Les BAP avec fibre de palmier dattier ont des coefficients d'absorption d'eau capillaire légèrement inférieurs à ceux des BAP avec fibre de polypropylène.
- Le dosage de 600 g/m<sup>3</sup> et la longueur de 20 mm de la fibre de palmier dattier ont donné les meilleures valeurs des paramètres d'autoplaçance, en termes d'étalement, de pouvoir de remplissage et de stabilité au tamis ;
- Le dosage de 600 g/m<sup>3</sup> et la longueur de 20 mm de la fibre de palmier dattier ont donné les meilleures résistances en compression ;
- La longueur de la fibre de palmier dattier de 12 mm entraîne les plus fortes réductions des résistances en compression ;
- L'augmentation du dosage des fibres de palmier dattier entraîne une diminution de la résistance en compression et de la cinétique de durcissement
- La résistance en traction par flexion augmente avec l'augmentation de la longueur et du dosage des fibres de palmier dattier ;
- L'augmentation de la longueur des fibres permet de réduire légèrement le retrait. Cependant l'accroissement du dosage de 600 à 900 (g/m<sup>3</sup>) réduit le retrait et l'augmentation du dosage en fibres de 600 à 1200 (g/m<sup>3</sup>) diminue le retrait par un facteur de 5.
- L'absorption d'eau capillaire dépend de la longueur et du dosage en fibres, par conséquent, pour chaque longueur de fibre, il existe un dosage maximal qui permet d'obtenir une absorption d'eau capillaire minimale.

L'emploi des fibres végétales de palmier dattier a donné des résultats intéressants. Cependant, une question mérite d'être posée concernant la durabilité des BAP avec fibres végétales ? Les fibres végétales ont été utilisées depuis longtemps dans la matrice argileuse et ont montrées un bon comportement à l'abri de l'eau ; qu'en sera-t-il pour la matrice cimentaire ?

## **LES ANNEXES**

## ANNEXES

### Résultats sur l'absorption des trois longueurs de fibres de palmier dattier.

Longueur de la fibre	1min	5min	15min	60min	2h	4h	8h	24h	48 h	3j	4j	du 18 au 21j
<b>12 (mm)</b>	61,73	66,02	75,75	92,01	95,54	99,6	101,57	109,36	112,13	121,95	129,05	181,48
<b>20 (mm)</b>	47,67	58,72	71,3	83,69	88,62	89,41	94,01	114,91	115,91	120,14	123,47	131,85
<b>30 (mm)</b>	55,21	66	76,01	89,14	92,56	95,13	100,88	113,55	117,38	122,49	126,34	147,00

### Évaluation de la quantité de fibres

Il est bien connu que Les fibres de polypropylène ont une masse volumique apparente supérieure à celle des fibres de palmier dattier. Le nombre de fibres de polypropylène est donc bien plus élevé pour une quantité équivalente de fibres que celui des fibres de palmier dattier. Un calcul a été réalisé pour déterminer cela, le tableau qui suit détermine les pesés nécessaires pour cette appréciation:

### Analyse de la concentration en fibres.


Type de fibre	Nombre de fibre	Masse des fibres (gr)	Nombre de fibre pour 1kg	moyenne
<b>PD (12mm)</b>	10	0.024	416 666	411 929
	20	0.049	408 163	
	30	0.073	410 958	
<b>PD (20mm)</b>	10	0.030	333 333	333 333
	20	0.060	333 333	
	30	0.090	333 333	
<b>PD (30mm)</b>	10	0.043	232 558	231 070
	20	0.087	229 885	
	30	0.130	230 769	

Notice technique  
Edition Mars 2008  
Numéro 1.80  
Version n°153.2008  
SIKA VISCOCRETE® 3045

## SIKA VISCOCRETE® 3045

Plastifiant/Réducteur d'eau de nouvelle génération pour bétons prêts à l'emploi.

Conforme à la Norme NF EN 934-2 Tab. 1 et 2

<b>Présentation</b>	SIKA VISCOCRETE 3045 est un plastifiant réducteur d'eau non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron.
<b>Domaines d'application</b>	<p>SIKA VISCOCRETE 3045 permet d'obtenir un long maintien de rhéologie (&gt;1h30). Il est donc parfaitement adapté à l'industrie du BPE et à l'utilisation sur chantier.</p> <p>SIKA VISCOCRETE 3045 permet la fabrication de :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ bétons plastiques à fluides,</li> <li>■ bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice,</li> <li>■ bétons pompés sur longues distances.</li> </ul> <p>Dans les bétons fluides, SIKA VISCOCRETE 3045 améliore la stabilité, limite les risques de ségrégation et rend la formule moins sensible aux variations d'eau et des constituants.</p>
<b>Caractères généraux</b>	<p>SIKA VISCOCRETE 3045 est un plastifiant réducteur d'eau qui confère au béton les propriétés suivantes :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ haute réduction d'eau,</li> <li>■ maintien prolongé de la rhéologie,</li> <li>■ robustesse vis-à-vis de la ségrégation,</li> <li>■ bel aspect de parement au décoffrage.</li> </ul>
 <p>The image shows the Sika logo on the left, which is a red circle with 'SIKA' and '3045' inside. To the right is a performance bar with three yellow sections on top and red sections on the bottom. The sections are labeled 'RHÉOLOGIE', 'RÉSISTANCES INITIALES', and 'RÉDUCTION D'EAU'. Below these labels are the numbers 4, 2, and 3 respectively.</p>	
<b>Caractéristiques</b>	
<b>Aspect</b>	Liquide marron/vert.
<b>Conditionnement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>■ Fût de 250 kg</li> <li>■ Conteneur perdu de 1110 litres</li> <li>■ Vrac</li> </ul>
<b>Stockage</b>	<p>Dans un local fermé, à l'abri de l'ensoleillement direct et du gel, entre 5 et 30 °C. Le produit peut geler, mais, une fois dégelé lentement et réhomogénéisé, il retrouve ses qualités d'origine. En cas de gel prolongé et intense, vérifier qu'il n'a pas été déstabilisé.</p>
<b>Conservation</b>	6 mois dans son emballage d'origine intact
<b>Données techniques</b>	
densité	1,11 ± 0,02



pH	5 ± 1
Teneur en ions Cl <sup>-</sup>	≤ 0,1 %
Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq.	≤ 2,5 %
Extrait sec	38,4 ± 1,8 %
<b>Conditions d'application</b>	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,25 à 2,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKA VISCOCRETE 3045 : 0,3 % à 0,8 %.
<b>Mise en œuvre</b>	
	SIKA VISCOCRETE 3045 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
<b>Précautions d'emploi</b>	
	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.

## Mentions légales

Produit réservé à un usage strictement professionnel

Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile.

«Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»



Sika El Djazair  
08 route de l'Arbaa, 10111 Eucalyptus  
Alger ALGERIE  
www.sikaelجزائر.com

Tel: 213 (0) 21 50 21 64  
213 (0) 21 50 10 62 à 65  
Fax: 213 (0) 21 50 22 08  
Email: sika.commercial@dr.sika.com





SNC BEXCAR BENBRAHIM ET ASSOCIES  
Siège Social : BORDJ EL KADI SECTION 07 ILOT 18 OULED RAHMOUN – BP 71 BOUNOUARA  
EL-KHROUB, 25 100 Constantine, Algérie

E-mail : [bexcarb.dz@gmail.com](mailto:bexcarb.dz@gmail.com) [contact@bexcar.co](mailto:contact@bexcar.co) [www.bexcar.co](http://www.bexcar.co)

## Fiche Technique : Bexcarb 10N

Usine de Production : El-Khroub, Constantine.

Description de Production : Carbonate de Calcium naturel de la région d'El-khroub, du Djebel Oum Settas, il est constitué par des calcaires du Cénomaniens d'une grande blancheur, c'est un calcaire d'origine néritique caractérisé par une grande pureté chimique.

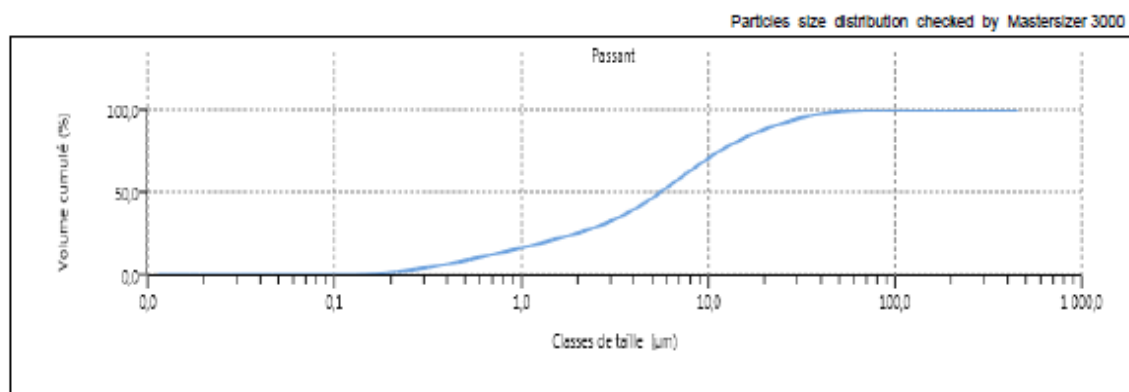
Analyse chimique du Produit :

CaCO <sub>3</sub>	MgO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>
≥ 99 %	0,16 %	0,18 %	0,13 %

Propriétés Physique du Produit :

Coupe d97	45	µm
Diamètre médian d50	7	µm
Particules % < 2 µm	22	
Blancheur (Elrepho) L*,a*,b*	95,50 / 0,33 / 2,07	
Dureté (Mohs)	3	
Humidité Maximum	0.4	%

Spécifications de Production :



Ces spécifications sont des valeurs moyennes résultantes de plusieurs mesures de production.

Principales Applications :

- \* Plastique : PVC
- \* Colles.
- \* Mastics.
- \* Enduits.



Ref: .....,/SDQENV/SCH5/2022	
Date	19/04/2023
Du	02/03/2023 AU 31/03/2023
Classe de Résistance: 42,5	

GICA Béton
Ciment Portland composé
CEM IIA-M(S-L) 42,5N

Caractéristique	Norme	Moyenne	Unité
-----------------	-------	---------	-------

**CARACTERISTIQUE PHYSICO-CHIMIQUES DU CIMENT**

		Valeur Moyenne	
SiO2	NA 5042	20,55	%
Al2O3	NA 5042	4,91	%
Fe2O3	NA 5042	2,90	%
CaO	NA 5042	61,22	%
Teneur en oxyde de magnésium (MqO)	NA 5042	1,11	%
Teneur en anhydrite sulfurique (SO3)	NA 5042	2,11	%
K2O	NA 5038	0,72	%
Na2O	NA 5038	0,11	%
Chlorures	NA5038	0,01	%
Perte au feu	NA5042	4,70	%
CaO libre	-	0,80	%
R.Ins	NA5042	1,30	%
Tricalcium aluminate (C3A)	-	8,11	%
Finesse Blaine	NA231	3476	cm <sup>2</sup> /g
Début du temps de prise	NA230	169	mn
Fin du temps de prise	NA230	274	mn
Expansion "le chatelier"	NA232	1,00	mm
Consistance	NA230	26,22	%

**RESISTANCE A LA COMPRESSION SUR MORTIER**

Comp 2 jours	NA234	16,78	Mpa
Comp 28jours	NA234	49,29	Mpa

Approuvé par: **LATEB-Djalil Faddine**  
 Directeur de HADJAR SOUD

