

Faculté : Sciences de l'ingénierat
Département : Génie Civil
Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Civil
Spécialité : Constructions Métalliques et Mixtes

Mémoire

Présenté en vue de l'obtention du Diplôme de Master

Thème:

**FORMULATION D'UN BAP AVEC FIBRES DE PALMIERS DATTIER,
EFFET DE LA LONGUEUR DES FIBRES SUR LES PROPRIETES
MECANIQUES**

Présenté par : *touahria karima*

Encadrant : *BEHIM Mourad*

Professeur Université Badji Mokhtar - ANNABA

Jury de Soutenance

Nom et prénom	Grade	Université	Président
BEHIM Mourad	Pr.	Badji Mokhtar Annaba	Président / Encadrant
ALIBOUCKETTA Tahar	MCA	Badji Mokhtar Annaba	Examineur
KHELIFI Walid	MCB	Badji Mokhtar Annaba	Examineur

Année Universitaire : 2020/2021

REMERCIEMENTS

Nous exprimons également toute notre parfaite gratitude et remerciement à **Allah**, le plus puissant qui nous a donné la force, le courage et la volonté de mener à bien ce travail, et à nos parents pour leur soutien dans chaque travail que nous avons effectués.

Nos sincères remerciements s'adressent à l'encadreur Monsieur le Professeur **Mourad BEHIM** pour l'intéressante documentation qu'il a mise à notre disposition, pour ses conseils judicieux et sa grande bienveillance durant l'élaboration de ce projet.

Ainsi nous remercions tous les membres de jury d'avoir accepté d'examiner notre travail. Nous tenons à remercier **Dr .DERDOUR** pour l'aide précieuse et la grande disponibilité. Un grand merci à l'ensemble des professeurs et enseignants et tous les techniciens du Laboratoire du département de génie civil, en particulier à monsieur **Kamel**, monsieur **Khair-Eddine**, pour leurs précieuses aides et aussi le chef du département **Dr FELAH Farid**.

Enfin, à tous ceux qui nous ont aidés de près ou de loin pour la réalisation de ce mémoire

Résumé

Les bétons autoplaçants (BAP) présentent plusieurs avantages qui sont à l'origine de leur développement croissant tels que la mise en place sans vibration et la pompabilité. Néanmoins, certains facteurs peuvent constituer des barrières quant à leur vulgarisation notamment la durabilité qui dépend d'un certain nombre de facteurs dont la fissuration. En effet la fissuration au jeune âge est la plus préjudiciable pour la durabilité du béton car elle favorise le transport d'agents agressifs au sein de l'ouvrage. Or, la fissuration précoce résulte du retrait qui accompagne le durcissement du ciment.

Le retrait est un phénomène normal mais qui peut être limité par l'emploi de fibres notamment les fibres végétales telles que la fibre de palmier dattier que nous proposons d'utiliser dans ce travail

L'objectif de ce travail est la valorisation des fibres de Palmier Dattier en les utilisant comme renfort dans les bétons autoplaçants. A cet effet, un BAP témoin a été formulé en optimisant deux paramètres que le rapport Gravier/ sable ($G/S = 1,4$) et $D_{max} = 16$ mm et dont la composition servira comme base pour l'élaboration des bétons d'étude.

Les BAP d'étude sont composés d'un BAP avec des fibres de polypropylène (BAP PP) de longueur de 12 mm comme BAP de référence et de trois BAP avec fibres de Palmier Dattier avec trois longueurs (12, 20, et 30) mm, comme béton d'études.

Les BAP d'études ont été caractérisés à l'état frais (étalement, capacité de remplissage et stabilité au tamis) afin de vérifier leur caractère autoplaçant et à l'état durci (retrait, résistance en compression, résistance en traction et absorption d'eau capillaire).

Les résultats obtenus montrent que l'introduction des fibres de polypropylène (PP) ou de palmier dattier (PD) dans les BAP entraîne une diminution des paramètres d'autoplaçance ce qui a nécessité des corrections notamment sur le dosage en superplastifiant.

L'incorporation des fibres de Palmier Dattier dans les BAP diminue significativement le retrait notamment le BAP avec fibre de 12mm de longueur.

Mots clés: béton autoplaçant, Retrait, fibres végétales, Caractéristiques mécaniques,

Abstract

Self-compacting concretes (SCC) have several advantages which are at the origin of their growing development such as placement without vibration and pumpability. However, factors can constitute barriers to their popularization including durability which depends on a number of factors including cracking. Indeed, early cracking is the most detrimental to the durability of concrete because it promotes the transport of aggressive agents within the structure. However, early cracking results from the shrinkage that accompanies the hardening of the cement.

Shrinkage is a normal phenomenon but can be limited by the use of fibers, for example plant fibers such as date palm fiber that we propose to use in this work

The objective of this work is to enhance the value of Date Palm fibers by using them as reinforcement in self-compacting concrete. For this purpose, a control BAP was formulated by optimizing two parameters that the Gravel / sand ratio ($G / S = 1.4$) and $D_{max} = 16$ mm and whose composition will be used as a basis for the preparation of concrete study.

The study BAPs are composed of a BAP with polypropylene fibers (BAP PP) of length of 12 mm as reference BAP and three BAP with Date Palm fibers with three lengths (12, 20, and 30) mm , as concrete studies.

The SCC studies were characterized in the fresh state (spreading, filling capacity and sieve stability) in order to verify their self-consolidating character and in the hardened state (shrinkage, compressive strength, tensile strength and absorption of capillary water).

The results obtained show that the introduction of polypropylene (PP) or date palm (PD) fibers in the SCC leads to a reduction in the self-placing parameters, which necessitated corrections, in particular on the dosage of superplasticizer.

The incorporation of Date Palm fibers in BAP significantly reduces shrinkage, especially BAP with a 12mm length fiber.

Keywords: self-consolidating concrete, Shrinkage, plant fibers, Mechanical characteristics

ملخص

تتمتع الخرسانة ذاتية القوية (SCC) بالعديد من المزايا التي تكمن في أصل تطورها المتزايد مثل الصب بدون اهتزاز وقابلية ضخ. ومع ذلك ، يمكن أن تشكل بعض العوامل حواجز أمام تعميمها ، ولا سيما المتانة التي تعتمد على عدد من العوامل بما في ذلك التشقق. في الواقع، يعتبر التشقق المبكر هو الأكثر ضررًا بمتانة الخرسانة لأنه يعزز نقل المواد العدوانية داخلها ومع ذلك، فإن التشقق المبكر ينتج عن الانكماش المصاحب لتصلب الأسمنت.

يعتبر الانكماش ظاهرة طبيعية ولكن يمكن الحد منها باستخدام الألياف، على سبيل المثال الألياف النباتية مثل ألياف نخيل التمر التي نقترح استخدامها في هذا العمل

الهدف من هذا العمل هو تعزيز قيمة ألياف نخيل التمر من خلال استخدامها كمقوية في الخرسانة ذاتية القوية. لهذا الغرض ، تم صياغة أداة تحكم (SCC) من خلال تحسين معدل معاملين: نسبة الحصى / الرمل ($G / S = 1.4$) و $D_{max} = 16$ مم والتي سيتم استخدام تركيبها كأساس لإعداد دراسة الخرسانة.

تتكون دراسة (SCC) من (SCC) بألياف البولي بروبيلين (SCC PP) بطول 12 ملم كمرجع وثلاثة (SCC) بألياف نخيل التمر بثلاثة أطوال (12، 20، 30) ملم، كدراسات ملموسة.

تميزت دراسات SCC بالحالة الطازجة (الانتشار ، سعة الملء ، ثبات الغربال) من أجل التحقق من صفة التماسك الذاتي وفي الحالة المتصلبة (الانكماش ، مقاومة الانضغاط ، مقاومة الشد وامتصاص الماء).

أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن إدخال ألياف البولي بروبيلين (PP) أو نخيل التمر (PD) في SCC يؤدي إلى انخفاض في معايير الوضع الذاتي ، الأمر الذي استلزم التصحيح ، لا سيما على جرعة الملدن الفائت.

إن دمج ألياف نخيل التمر في (SCC) يقلل بشكل كبير من الانكماش، وخاصة (SCC) مع ألياف بطول 12 مم.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة ذاتية التماسك ، الانكماش ، الألياف النباتية ، الخصائص الميكانيكية ، .

SOMMAIRE

Remerciements	ii
Résumé	iii
Abstract	iv
ملخص	v
Sommaire	vi
Liste des figures	ix
Liste des tableaux	xi

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.	
1. LES BETONS AUTOPLAÇANTS	6
1.1. Introduction	6
2. LES BETONS AUTOPLAÇANTS	7
3. PARTICULARITE DE LA COMPOSITION DES BETONS AUTOPLAÇANT	8
3.1. Volume de pate élevé	8
3.2. Quantité de fines (< 80µm) importante	8
3.3. Utilisation de super plastifiant	9
3.4. Un faible volume de gravillon	10
4. PARAMETRES INFLUENÇANT LES PROPRIETES DES BAP	10
4.1. Influence du rapport G/S	10
4.2. Influence du D max	11
5. DOMAINE D'UTILISATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS	11
6. CLASSIFICATION DES BETONS AUTOPLAÇANT	11
7. APPROCHES DE FORMULATION DES BAP	12
7.1. Approche Japonaise	13
7.2. Approche du laboratoire centrale des ponts et chaussées LCPC	13
7.3. Approche Suédoise	14
8. CARACTERISATION DES BETONS AUTO-PLAÇANT A L'ETAT FRAIS	14
8.1. Mobilité en milieux non confiné	14
8.1.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams « NF EN 12350-8 »	14
8.2. Mobilité en milieux confiné	15
8.2.1. Essai de la boîte en L (L-BOX test) (EN 12350-10)	15
8.2.2. Essai à l'anneau « J-ring » (EN 12350-12)	16
8.3. Stabilité au tamis (EN 12350-11)	16
9. CARACTERISTIQUE DES BETONS AUTO PLAÇANT A L'ETAT DURCI	16
9.1. Résistance mécanique	16
9.2. Retrait du béton	18
10. DURABILITE DES BAP	22
1.1.10.1. Introduction	22
11. BETON AUTOPLAÇANT FIBRE (BAPF)	23
11.1. Introduction	23
11.2. Les fibres	24

• Définition des fibres	24
11.3. Rôle des fibres	24
11.4. Différents types de fibres	25
11.4.1. Fibres synthétique	25
11.4.2. Fibres naturelles	26
• Définitions de fibres naturelles	26
• Classification des fibres naturelles	26
11.4.3. Les fibres végétales	27
• Définition des fibres végétales	27
11.4.3.1. Classification des fibres végétales	28
11.4.3.2. Composition chimiques des fibres végétales	29
11.4.3.3. Propriétés physiques des fibres végétales	30
• Propriétés mécaniques des fibres végétales	30
• Propriétés écologiques des fibres végétales	30
11.4.4. Fibres de Palmier dattier	30
11.5. Paramètres influençant les propriétés des composites renforcés par des fibres végétales	31
11.5.1. Influence de la quantité des fibres	31
11.5.2. Influence de la longueur de renfort	32
11.5.3. Influence de l'humidité	32
11.6. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état frais	32
11.7. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état durci	34
11.8. Durabilité des bétons autoplaçants fibrés	35
11.9. Conclusion	35

CHAPITRE II	
METHODE EXPERIMENTALES ET CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX	
II.1. Introduction	46
II.2. Matériaux utilisés	46
II.2.1. Le ciment	46
II.2.2. Le sable	47
II.2.3. Graviers	47
II.2.4. Fillers calcaire	47
II.2.5. Adjuvant	47
II.2.6. Eau de gâchage	48
II.2.7. Les fibres	48
II.2.7.1. Fibres de polypropylènes	48
II.2.7.2. Fibres de palmiers dattiers	49
II.3. Méthodes expérimentales	50
II.3.1. Analyse granulométrique	50
II.3.2. Mesure de la masse volumique apparente	51
II.3.3. Mesure de la masse volumique absolue	52
II.3.4. La porosité	52
II.3.5. Module de finesse	53
II.3.6. Propreté de sable et du gravier	53

II.3.6.1. Propreté du sable (Essai d'équivalent de sable)	53
II.3.6.2. Propreté du gravier	54
II.3.6.3 Résistance des granulats	54
II.3.6.4. Essai Micro Deval	54
II.3.6.5. Essai de Los Angeles	55
II.3.7. Confection et conservation des éprouvettes	55
II.3.7.1. Séquences de malaxage des BAP et des BAPF	55
II.3.7.2. Conditions des conservations des éprouvettes	56
II.4. Caractérisation des BAP à l'état frais	57
II.4.1. Essai d'étalement	57
II.4.2. Essai de la boîte en L	58
II.4.3. Essai de stabilité au tamis	59
II.4.4. Densité (la masse volumique)	61
II.5. Caractérisation à l'état durcis	61
II.5.1. Essai de compression	61
II.5.2. Essai de traction par flexion	62
II.5.3. Essai de retrait	62
II.5.4. Absorption d'eau par capillarité	65
II.6. Conclusion	66

CHAPITRE III FORMULATION DES BETON AUTOPLACONT ET BETONAUTOPLACONT FIBRES	
III.1. INTRODUCTION	70
III.2. FORMULATION DES BAP PAR LA METHODE JAPONAISE	70
III.3. FORMULATION DU BAP TEMOIN	71
III.3.1. Valeurs cibles	71
III.4.FORMULATION DES BAP FIBRES	74
III.4.1. Formulation des BAP avec ajout de fibres de polypropylène	74
III.4.2. Formulation des BAP avec ajout de fibres de palmier Dattier	76
III.5.Conclusion	80

CHAPITRE IV RESULTAT ET DUSCUTION	
IV.I.INTRODUCTION	85
IV.2.Résultats d'essais de béton autoplaçant à l'état frai	85
IV.2.1. Représentation graphique des résultats de l'étalement	85
IV.2.2. Représentation graphique des résultats de la boîte en L	86
IV.2.3. Représentation graphique des résultats de Stabilité au tamis	87
IV.2.4. Représentation graphique des résultats de T 500	88
IV.3.Résultats d'essais de béton autoplaçant à l'état durci	88
IV.3.1. Résistance à la compression	88
IV.3.2. La résistance à la traction par flexion	89
IV.3.3. Absorption d'eau par capillarité	90
IV.3.4. Retrait.	91
IV.4. Conclusion	92

LISTEDESFIGURES

CHAPITRE I

Figure I.1 :Le pont Akashi Kkaikyô	6
Figure I.2 :La tour Landmark Tower.	6
Figure I.3 : Volume relatif de pate de ciment différent pour un béton vibré et un BAP	8
Figure I.4 : Grande proportion en fine.	9
Figure I.5 : Action du super plastifiant- défloculation des grains de ciment	9
Figure I.6 : Essai d'étalement	15
Figure I.7 : Essai de la boîte en L	15
Figure I.8 : Essai d'étalement à l'anneau « J-ring »	16
Figure I.9 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP(SCC) et d'un BV correspondant	17
Figure I.10 : Résistance mécanique d'un béton de deux BAP (de formulation différente)	17
Figure I.11 : Phénomène du retrait	18
Figure I.12 : Relation entre la perte d'eau, l'humidité relative et le retrait de séchage de la pâte de ciment hydraté.	20
Figure I.13 : Comparaison des retraits de dessiccation d'un béton vibré et de cinq BAP	21
Figure I.14 : Taux d'évaporation d'eau d'un BAP avec différents E/C	21
Figure I.15 : illustration de l'apport du renfort par les fibres	24
Figure I.16 : Fibres de polypropylènes	25
Figure I.17 : Classification des fibres naturelles selon l'origine	27
Figure I.18 : Arbre de palmier dattier	31
Figure I.19 : effet de la teneur en fibre sur l'étalement du BAP (a) et sur le V-funnel.	34

CHAPITRE II

FigureII.1 : Fibres de polypropylènes	49
FigureII.2 : Fibres découpées selon les longueurs désirées	50
Figure II.3 : Courbes granulométriques des granulats.	51
Figure II.4 : Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau	51
Figure II.5 : Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.	52
Figure II.6 . Essais de l'équivalent de sable.	53
Figure II.7 : Préparation des moules pour la confection de BAP et BAPF.	56
Figure II.8 :Conservations des éprouvettes pour les essais mécaniques	57
Figure II.9 : Essai d'étalement au cône d'Abrams..	58
Figure II.10 :Essai de Boîte en L	59
Figure II.11 : Essai de stabilité au tamis exécutés au laboratoire.	60
Figure II.12 :Essai de compression.	62
FigureII.13 : Essai de traction par flexion.	62
FigureII.14 :Conservations des éprouvettes pour essais de retrait	63
FigureII.15 : Essai de retrait réalisé au laboratoire.	63
FigureII.16 : schémas descriptif de l'essai de retrait	64
Figure II.17 :essai d'absorption par capillarité.	66

CHAPITRE III

Figure III.1 : étalement de formulations avec présence de ségrégation BAP non valide.	72
Figure III.2 : stabilité de tamis de la formulation N°07	72
Figure III.3 : étalement d'une des formulations de référence	73
Figure III.4 : étalement de formulations N° 04 non acceptables	75
Figure III.5 : étalement d'une des formulations BAP PP	76
Figure III.6 : Etalement d'un BAP PD 12 (mm) retenue.	78
Figure III.7. Etalement d'un BAP PD 20 (mm) retenue.	79
Figure.III.8. Etalement d'un BAP PD 30 (mm) retenue.	80

CHAPITRE IV

Figure IV.1 : L'étalement en fonction de type de béton	85
Figure IV.2 : Le pouvoir de remplissage en fonction de type de béton.	86
Figure IV.3 : la stabilité au tamis en fonction de type de béton.	87
Figure IV.4 : le temps d'écoulement en fonction de type de béton.	88
Figure IV.5 : Variation de la résistance à la compression.	89
Figure IV.6 : Variation de la résistance à la traction par flexion	90
Figure IV.7 : Absorption d'eau par capillarité des BAP testés	91
Figure IV.8 : Variation de retrait dans le temps.	92

LISTEDESTABLEAUX

CHAPITR I

Tableau I.1. : Classification des bétons auto plaçant	12
Tableau I.2.: caractéristiques des différents types de fibres.	27
Tableau I.3. : Composition chimique de quelques fibres végétales.	30
Tableau I.4. : résultat des tests de béton frais	33

CHAPITR II

Tableau II.1. Composition chimique du ciment et minéralogique du clinker en (%)	46
Tableau II.2 : Caractéristique Physique de ciment CPJ-CMII/A42.	46
Tableau II.3 : Composition chimique du filler calcaire selon le fabricant.	47
Tableau II.4 : Caractéristiques des fillers calcaires .	47
Tableau II.5 : Propriétés physiques et chimiques du plastifiant, selon le fabricant	48
Tableau II.6. : Caractéristiques techniques des fibres de polypropylènes selon le fabricant	49
Tableau II.7. : Caractéristiques physique de la fibre de palmier dattier.	50
Tableau II.8 : Caractéristiques des matériaux.	55
Tableau II.9 : Classes d'étalement.	58
Tableau II.10 : Classes de capacité de remplissages.	59
Tableau II.11 : Classes de stabilité de tamis.	60

CHAPITR III

Tableau III.1. Quelques formulations testées sur BAP témoin.	71
Tableau III.2. Formulation n°07 du BAP témoin non retenue	72
Tableau III.3: Formulation N°09 du BAP témoin de référence retenue	73
Tableau III.4 : appellation des compostions utilisés dans cette études	74
Tableau III.5 : Résumé de quelques formulations du BAP PP exécutées.	74
Tableau III.6 : Formulation N°04 du BAP PP non retenue.	75
Tableau III.7 : Formulation n°04 du BAP PP retenue.	76
Tableau.III.8 : Résumé de quelques formulations du BAP PD12 exécutées	77
Tableau III.9 : Formulation N°06 du BAP PD12 retenue	78
Tableau III.10 : Résumé de quelques formulations du BAP PD20 (mm) exécutées	79
Tableau III.11 : Formulation N°03 du BAP PD20 retenue	79
Tableau. III.12 : Résumé de quelques formulations du BAP PD30 exécutées	80
Tableau. III.13 : Formulation N°02 du BAP PD30 retenue.	80

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau de construction qui trouve son utilisation dans tous les domaines du génie civil. A présent, il est le plus utilisé pour les avantages économiques et techniques qu'il présente.

Le développement du béton à l'échelle industrielle a conduit à la découverte des bétons autoplaçants (BAP), qui se caractérisent par une mise en place sans vibration. A cet effet les BAP se caractérisent par une grande fluidité leur permettant de couler sous l'effet de la pesanteur uniquement.

Les BAP doivent avoir par conséquent des propriétés bien déterminées à l'état frais à savoir la fluidité (étalement au cône d'Abrams), la capacité de remplissage (boite en L) et la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis). Pour assurer tout cela, l'utilisation du super plastifiant et l'addition (fines) s'avère nécessaire, c'est la spécificité des BAP par rapport aux bétons traditionnels

Le but de réaliser un béton autoplaçant qui résiste aussi bien en flexion qu'en compression a suscité de nombreuses recherches. Pour cela, et pour étudier ce comportement en flexion on ajoute des fibres dans la formulation du béton. Les fibres ont un rôle de renforcement qui corrige la fragilité du béton par la capacité de contrôler l'ouverture des fissures et la couture de la microfissuration et la macro-fissuration.

Nous connaissons tous que les BAP contiennent plus de pâte que le béton ordinaire, ce qui peut être à l'origine d'un problème de fissuration rapide due au retrait. L'ajout de fibres dans ce cas peut affecter des solutions techniques pour augmenter des performances mécaniques.

Pour autant, l'efficacité de l'introduction des fibres passe par, l'optimisation de la quantité de fibres à prévoir dans la formulation du BAP. La fibre de palmier dattier a été choisie dans cette étude au vu de ces caractéristiques mécaniques et son originalité. Nous avons aussi utilisé dans cette étude la fibre de polypropylène comme fibre témoin.

Ce travail constitue une partie d'un travail de thèse de doctorat consacré à l'évaluation des propriétés rhéologiques et mécaniques du béton autoplaçant optimisé en termes de rapport Gravier / sable et renforcé par deux types de fibres (Fibres de synthétiques et fibres végétales) avec des longueurs de 12, 20, et 30 (mm).

Pour étudier l'influence de ces fibres sur les propriétés du béton autoplaçant fibré à l'état frais et à l'état durci et en particulier vis à vis du retrait, ce mémoire est divisé en quatre (04) chapitres :

- **Le chapitre 1** Traite de la bibliographie et il est subdivisé à son tour en deux parties :
 - La première partie Traite des généralités et des notions sur le béton autoplaçant (BAP) : Constituants, méthodes de formulation, propriétés rhéologiques du BAP, et la durabilité.
 - La seconde partie concerne les bétons autobloquants fibrés : Méthodes de formulation, influence des fibres sur la rhéologie du béton autoplaçant, ainsi que les différents types de fibres et leurs caractéristiques.

- **Le chapitre 2** (partie expérimentale) qui est consacré la caractérisation des matériaux ainsi que les différents méthodes que nous avons suivie pour mener notre travaille sous les normes décrit de manière à aboutir une meilleure caractérisation.

- **Le chapitre 3** est consacré aux formulations des différents BAP. Ce chapitre est aussi diviser en deux parties :
 - La première partie regroupe les formulations des BAP témoins,
 - La deuxième partie rassemble les formulations des BAP d'étude (fibré)

- **Le chapitre 4** présente les résultats expérimentaux obtenus sous forme de graphes avec toutes les discussions concernant l'influence de la longueur des fibres de palmier dattier sur les caractéristiques à l'état frais et à l'état durci.

Enfin une conclusion générale résume les principaux résultats obtenus lors de cette étude.

CHAPITRE I
ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

SOMMAIRE CHAPITRE I

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE.	
1. LES BETONS AUTOPLAÇANTS	6
1.1. Introduction	6
2. LES BETONS AUTOPLAÇANTS	7
3. PARTICULARITE DE LA COMPOSITION DES BETONS AUTOPLAÇANT	8
3.1. Volume de pate élevé	8
3.2. Quantité de fines (< 80µm) importante	8
3.3. Utilisation de super plastifiant	9
3.4. Un faible volume de gravillon	10
4. PARAMETRES INFLUENÇANT LES PROPRIETES DES BAP	10
4.1. Influence du rapport G/S	10
4.2. Influence du D max	11
5. DOMAINE D'UTILISATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS	11
6. CLASSIFICATION DES BETONS AUTOPLAÇANT	11
7. APPROCHES DE FORMULATION DES BAP	12
7.1. Approche Japonaise	13
7.2. Approche du laboratoire centrale des ponts et chaussées LCPC	13
7.3. Approche Suédoise	14
8. CARACTERISATION DES BETONS AUTO-PLAÇANT A L'ETAT FRAIS	14
8.1. Mobilité en milieux non confiné	14
8.1.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams « NF EN 12350-8 »	14
8.2. Mobilité en milieux confiné	15
8.2.1. Essai de la boîte en L (L-BOX test) (EN 12350-10)	15
8.2.2. Essai à l'anneau « J-ring » (EN 12350-12)	16
8.3. Stabilité au tamis (EN 12350-11)	16
9. CARACTERISTIQUE DES BETONS AUTO PLAÇANT A L'ETAT DURCI	16
9.1. Résistance mécanique	16
9.2. Retrait du béton	18
10. DURABILITE DES BAP	22
1.1.10.1. Introduction	22
11. BETON AUTOPLAÇANT FIBRE (BAPF)	23
11.1. Introduction	23
11.2. Les fibres	24
• Définition des fibres	24
11.3. Rôle des fibres	24
11.4. Différents types de fibres	25
11.4.1. Fibres synthétique	25
11.4.2. Fibres naturelles	26
• Définitions de fibres naturelles	26
• Classification des fibres naturelles	26
11.4.3. Les fibres végétales	27

• Définition des fibres végétales	27
11.4.3.1. Classification des fibres végétales	28
11.4.3.2. Composition chimiques des fibres végétales	29
11.4.3.3. Propriétés physiques des fibres végétales	30
• Propriétés mécaniques des fibres végétales	30
• Propriétés écologiques des fibres végétales	30
11.4.4. Fibres de Palmier dattier	30
11.5. Paramètres influençant les propriétés des composites renforcés par des fibres végétales	31
11.5.1. Influence de la quantité des fibres	31
11.5.2. Influence de la longueur de renfort	32
11.5.3. Influence de l'humidité	32
11.6. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état frais	32
11.7. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état durci	34
11.8. Durabilité des bétons autoplaçants fibrés	35
11.9. Conclusion	35

CHAPITRE I – ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE SUR LES BETONS AUTOPLAÇANTS SANS ET AVEC FIBRES

1. LES BETONS AUTOPLAÇANTS

1.1. INTRODUCTION

Le béton auto-plaçant présente l'une des importantes avancées dans la technologie du béton. Au Japon, la densité de ferrailage est très importante, ce qui complique d'une part le coulage du béton et, nécessite d'autre part plusieurs moyens de vibrations et une main d'œuvre hautement qualifié. C'est pourquoi, en 1980, (Okamura et Ouchi, 1999) [01] ont proposés un concept de béton indépendant de la nécessité d'utiliser la technique de compactage.

Les bétons autoplaçant se distinguent des bétons vibrés principalement par ses propriétés à l'état frais, ce sont des bétons fluides et déformables capable de se mettre en place sous le seul effet de la pesanteur sans nécessité aucun moyens de vibration même dans les Coffrages les plus complexes et encombrés, restant homogènes au cours de l'écoulement (absence de ségrégation dynamique) et une fois en place (absence de ségrégation statique).

Pour obtenir un béton fluide, il ne s'agit pas d'ajouter de l'eau, au contraire, une telle manipulation conduit à des phénomènes de ségrégation entraînant une chute des performances. Il s'agit de trouver la composition optimale entre les différents constituants (gravier, sable, ciment, eau, ajouts et adjuvants), et de garantir l'absence de ségrégation et de ressuage. [02]

À titre d'exemple nous citerons quelques réalisations japonaises :



Figure I.1 Le pont Akashi Kaikyo. [3]

Figure I.2 La tour Landmark Tower. [4]

2. DEFINITION LES BETONS AUTOPLAÇANTS

Le béton autoplaçant (BAP) est un béton de ciment capable, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec résultat un produit très homogène. [5]

Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendant de la viscosité du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport eau/ciment est élevé ou si le béton contient un superplastifiant. [5]

Seulement, la fluidité n'est pas la seule propriété recherchée, car il faut bien s'assurer de l'homogénéité de l'ensemble pâte-granulats. De façon corollaire, le mélange du BAP doit être très stable lors de la mise en place et cela jusqu'à son durcissement. Ceci implique que le BAP doit présenter le minimum de tassement et de sédimentation des particules solides et éviter de présenter un ressuage trop fort, car cela génère une hétérogénéité des propriétés mécanique, telle qu'une chute d'adhérence des armatures en partie supérieure des levées par rapport à celles situées en zone inférieure lors du coulage. [5]

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'emploi d'un agent de viscosité afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité granulaire. [5]

Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton. [5]

Cette complexité amène à combiner différentes paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieur à celle des bétons ordinaires. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité de mélange et éviter par conséquent, la ségrégation. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En claire, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que

l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abime pas la déformabilité du béton. [5]

3. PARTICULARITE DE LA COMPOSITION DES BETONS AUTOPLAÇANT

3.1. Volume de pate élevé :

Le volume de la pâte des bétons autoplaçant est élevé par rapport à celui des bétons conventionnels, il est de l'ordre de 330 à 400 l/m³.

Le but de l'augmentation de ce dernier est d'assurer une bonne déformabilité et un remplissage correct des coffrages en séparons les gravillons afin de limiter leurs contacts et en facilitons leurs dispersions.

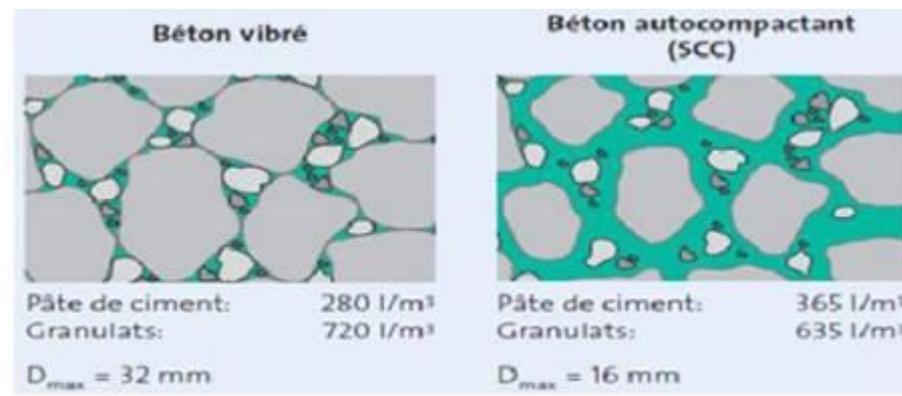


Figure I.3 : Volume relatif de pate de ciment différent pour un béton vibré et un BAP. [06]

3.2. Quantité de fines (< 80µm) importante :

Les compositions des bétons auto- plaçant renferment une quantité de fines importante afin de limiter les risques de ressuage et de ségrégation et pour assurer une maniabilité suffisante.

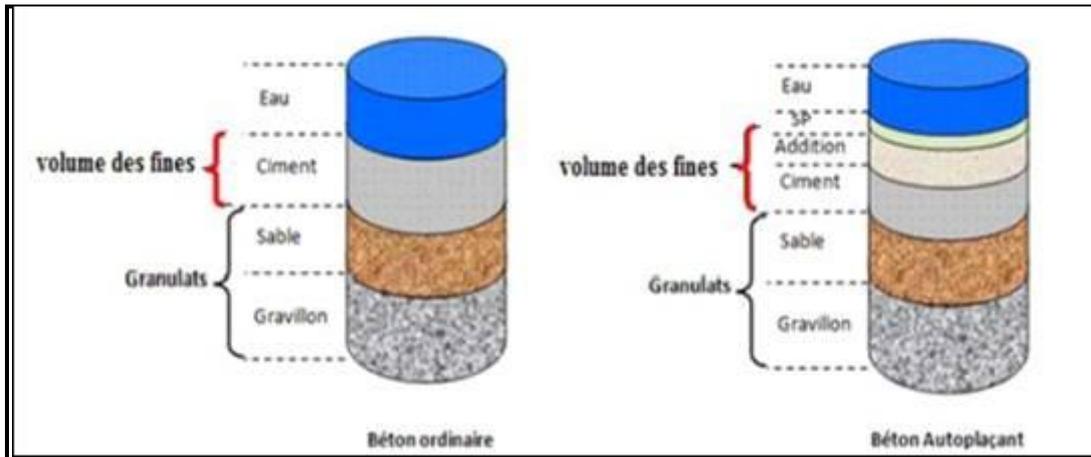


Figure I.4 : Grande proportion en fine. [06]

3.3. Utilisation de super plastifiant :

L'ajout des supers plastifiants permet d'obtenir des bétons très fluides. Cet ajout ne doit pas être très élevé (proche du dosage de saturation) sous peine d'augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de ségrégation et du ressuage. [07]

Le mode d'action des super plastifiants est extrêmement complexe, il peut être expliqué comme suit :

Lorsqu'ils sont en contact avec un milieu aussi polaire que l'eau, les grains de ciment, qui présentent un grand nombre de charges opposées (positive et négative) sur leur surface, tendent à s'agglomérer sous forme d'amas (floculation). Par conséquent, cette floculation piège un certain volume d'eau entre les grains de ciment qui n'est plus disponible pour assurer une bonne maniabilité au béton. [08]

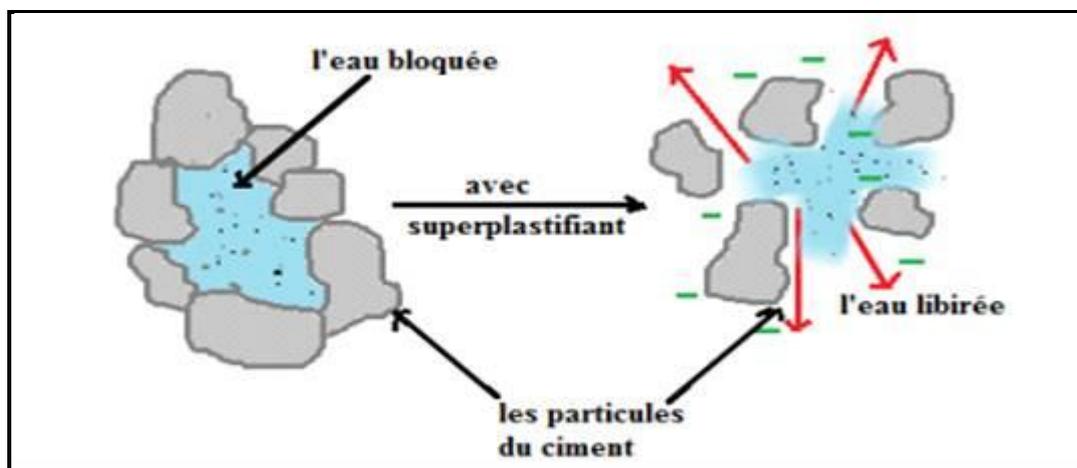


Figure I.5 : Action du super plastifiant- défloculation des grains de ciment [09].

Les superplastifiants en s'adsorbant à la surface des grains de ciment brisent cette dynamique. Ils neutralisent les différentes charges, et donnent la même charge électrostatique à chaque grain de ciment. Ces charges de même signe vont créer des forces répulsives entre les particules et, par conséquent, la dispersion des grains de ciment libère de l'eau qui est maintenant disponible à la lubrification du mélange d'où l'augmentation de la maniabilité.

3.4. Un faible volume de gravillon

Les risques de blocages augmentent avec l'augmentation du volume des gros granulats. Les bétons auto plaçant peuvent être réalisés avec des granulats roulés ou concassés, le diamètre maximal des gravillons dans un BAP est de 20 mm, l'augmentation du D_{max} conduit à des risques de blocages [10].

4. PARAMETRES INFLUENÇANT LES PROPRIETES DES BAP :

4.1. Influence du rapport G/S :

Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer la quantité optimale en gros granulats capable de donner un maximum d'ouvrabilité au béton. Ces études ont analysé l'impact de cette optimisation du béton à l'état frais sur les propriétés du béton durci. Selon (Yurugi et al,1989) [11], le volume de gros granulats dans le béton est le facteur le plus important pour le contrôle de la maniabilité et de la capacité de remplissage : plus la teneur en gros granulats augmente, la capacité de remplissage diminue.

(Okamura et al, Avril 2003) [12], mentionnent que le premier point dont il faut tenir compte lors de la formulation d'un béton auto plaçant est de limiter la teneur en gros granulats, car les bétons frais à faible dosage en granulats se caractérisent généralement par une haute résistance à la ségrégation.

Khayat et al. (1994)[13] ont déterminé les quantités optimales en gros granulats et en sable capables d'améliorer la fluidité des mélanges de béton en présence d'un agent colloïdal et de Superplastifiant. La quantité des granulats (granulats concassés lavés) a été de 300 l/m³ avec une teneur de 70% de granulats de diamètre maximum 14 mm et 30% de diamètre maximum 20mm. Quant à la quantité de sable, elle correspondait à un rapport Sable/Pâte (volumique) de 0,6. [14]

4.2. Influence du D max:

Dans le cas du béton auto plaçant, les gravillons sont caractérisés essentiellement par leur dimension maximale. Cette dimension est limitée à 20mm pour limiter le risque de blocage lors de la mise en place.

Mioura et al 1993 [15], ont étudié l'influence de la teneur en gros granulats (Diamètre maximal de 20 mm) sur le temps d'écoulement à travers un entonnoir circulaire, ils trouvent, que pour des volumes de gros granulats dépassant 380 l/m³, on assiste à des conditions de collisions et des frictions intergranulaires à la sortie de l'entonnoir.

Domone, 2013 [16] a fait une synthèse des travaux réalisés sur les 11 dernières années en donnant les principales compositions utilisées pour 51 applications industrielles. Il en ressort que les gravillons utilisés sont généralement concassés, leur diamètre n'excède guère 20mm.

5. DOMAINE D'UTILISATION DES BETONS AUTOPLAÇANTS :

Les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation des ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantiers, de bâtiment ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton, la plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.....). [17]

Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquels la mise en œuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire présentant [17] :

- densité de ferrailage importante
- forme et géométrie complexes : voiles, courbes,....
- voiles de minces et de grande hauteur : piles de pont
- voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière

6. CLASSIFICATION DES BETONS AUTOPLAÇANT :

Les BAP sont classés en trois catégories, suivant leur domaine d'utilisation, le classement s'effectue suivant [18] :

- la valeur de l'intervalle d'écoulement
- le type d'application (horizontal ou vertical)
- l'épaisseur (dans le cas des utilisations horizontale, et selon le tableau suivant :

Tableau I.1: Classification des bétons autoplaçant [18]

		Application horizontale				Application verticale	
		Epaisseur \leq 300mm		Epaisseur \geq 300mm			
	Longueur maximale de cheminement	< 5 (m)	Entre 5 et 10 (m)	< 5 (m)	Entre 5 et 10 (m)	< 5 m	Entre 5 et 10 (m)
Intervalle d'écoulement	$I \geq 100$	1		2a	2b	2a	2b
	$80 \leq I \leq 100$	2a	2b	2a	2b	2a	2b
	$I \leq 80$	3a	3b	3a	3a	3a	3b

- Catégorie 1 correspond aux BAP utilisés dans le cas de coulages horizontaux de faible épaisseur (inférieur ou égale à 300mm) et ayant un intervalle d'écoulement supérieur à 100mm. [18]
- Catégorie 2 couvre principalement les BAP utilisés pour des applications horizontales de forte épaisseur (supérieur à 300mm) ou pour des coulages courants en vertical. L'intervalle d'écoulement I supérieur ou égal à 80mm. [18]
- la catégorie 3 est réservée aux BAP pour lesquels l'intervalle d'écoulement I est inférieur à 80mm (parties d'ouvrage exiguës ou fortement ferrillées). [18]
- pour les catégories 2 et 3, on distingue de plus deux sous-classes (2a, 2b, 3a, 3b) en fonction de la longueur maximale de cheminement horizontal du BAP dans le coffrage (5m pour 2a et 3a, 10m pour 2b et 3b). [18]

7. APPROCHES DE FORMULATION DES BAP :

Plusieurs approches de formulation des BAP ont été élaborées à travers le monde (approche japonaise, approche suédoise, approche du LCPC) pour répondre aux exigences d'ouvrabilité de ce type de béton.

7.1. Approche Japonaise [19] :

Cette méthode est basée sur l'optimisation du mortier et minimisation du volume des gravillons, les étapes de formulation sont les suivant :

- Dosage des gravillons : les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume des grains et du volume total du système des grains+ vides. Elle dépend bien sûr le mode de compactage.
- Dosage en sable : le volume du sable est forfaitairement à 40% du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.
- Dosage du liant : la méthode ne précise pas comment dosé le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, les rapports massiques eau/ ciment et filler/ ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.
- Dosage en eau et en super plastifiant : le dosage en eau et en super plastifiant sont déterminés aux moyens d'essais sur mortier, on réalise des mesures d'étalement avec un mini-cône sur mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir.

7.2. Approche du laboratoire centrale des ponts et chaussées LCPC [20]

Cette approche consiste à développer un modèle mathématique à partir d'un modèle de suspension solide. Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité des armatures sur la compacité du béton et donc sur son ouvrabilité. La compacité du mélange est déterminée avec une précision inférieure à 1% à partir des caractéristiques des constituants suivants :

- Les distributions granulaires
- Les proportions du mélange
- La compacité propre
- La densité apparente

Ce modèle est utilisé pour prévoir l'évolution de l'ouvrabilité des bétons en fonction de leur composition, il sert aussi à :

- comprendre à évaluer l'influence des différents constituants sur les propriétés du béton

- choisir les matériaux qui permettent d'obtenir un béton avec des bonnes caractéristiques, que ce soit à l'état frais (ouvrabilité, stabilité) ou à l'état durci (résistance, retrait, fluage)
- prendre en compte la spécificité et la nature d'un projet lors de la formulation du béton.

7.3. Approche Suédoise [20] :

Cette méthode est basée sur la méthode Japonaise, le principe est d'intégrer l'approche de l'évaluation du risque de blocage dans le processus de formulation. Pour chaque rapport G/S on estime le volume de pâte critique pour le blocage, on retiendra ensuite le rapport G/S qui vérifié les propriétés rhéologiques recherchées.

Les dosages des fines, de l'eau et du super plastifiant sont ajustés pour avoir une viscosité suffisante et la résistance souhaitée.

Cette approche permet une meilleure optimisation du squelette granulaire. Cependant, on ne peut pas appliquer le critère de blocage à n'importe quel type de granulats.

8. CARACTERISATION DES BETONS AUTO-PLAÇANT A L'ETAT FRAIS :

Il existe plusieurs essais pour caractériser le BAP à l'état frais, dont les trois importantes caractéristiques sont les suivantes :

- Mobilité en milieux non confinés
- Mobilité en milieux confinés
- Stabilité au tamis, c'est-à-dire la résistance à la ségrégation

8.1. Mobilité en milieux non confiné

8.1.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams « NF EN 12350-8 » [21] :

L'essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump-flow) est largement utilisé, car il est facile à mettre en œuvre. Cet essai caractérise la fluidité et la vitesse d'écoulement du béton auto plaçant en l'absence d'obstacles.

Bénisse et al, 2018[22] ont donné certaines observations complémentaires sur cet essai :

- Les bords de la galette donnent une indication sur le ressuage ;

- Le traçage à la truelle des lignes sur la galette, nous permet d'observer la manière de l'écoulement des BAP ;
- La forme plus ou moins bombée de la galette indique l'homogénéité ou non du BAP.
- Ainsi, on considère l'essai de l'étalement comme un test de base pour contrôler la qualité des BAP [22]. Les BAP doivent présenter un étalement de diamètre compris entre 550 et 850mm. Il est aussi possible de mesurer le temps d'écoulement pour atteindre un étalement de 50cm (noté T50) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton.

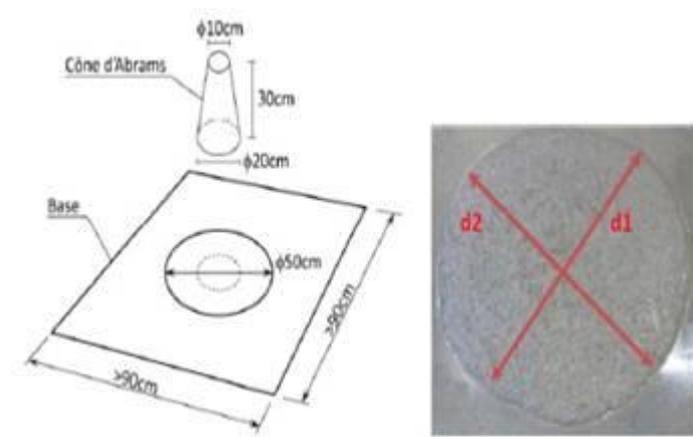


Figure I.6 : Essai d'étalement [23]

8.2. Mobilité en milieux confiné :

8.2.1. Essai de la boîte en L (L-BOX test) (EN 12350-10) [24] :

La boîte en L permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptable. Pour que le BAP soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs $H2/H1$) doit être supérieur à 0,8

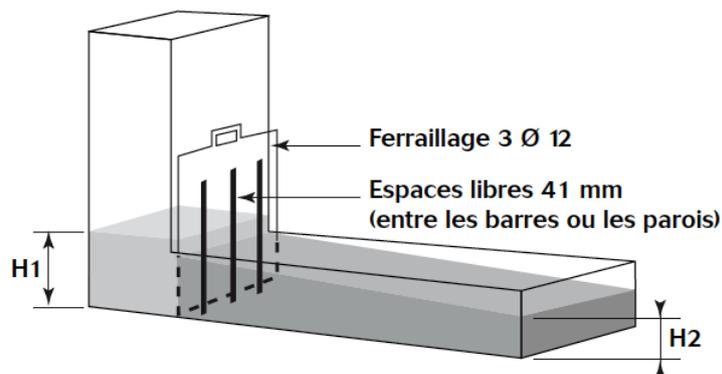


Figure I.7 : Essai de la boîte en L [24]

8.2.2. Essai à l'anneau « J-ring » (EN 12350-12) [27] :

L'essai d'étalement à l'anneau (J-ring) est un essai d'étalement au cône d'Abrams ou l'écoulement du béton est perturbé par une série d'armatures placées autour du cône (Figure I.8).

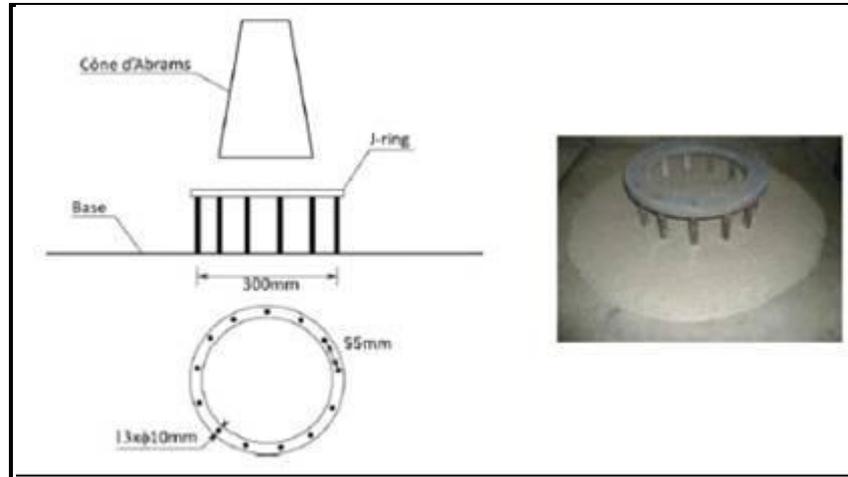


Figure I.8: Essai d'étalement à l'anneau « J-ring » [26]

8.3. Stabilité au tamis (EN 12350-11) [27] :

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons auto plaçant. L'essai de stabilité au tamis vise à qualifier le béton auto plaçant vis-à-vis du risque de la ségrégation, il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un BAP en laboratoire ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier. Il complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité.

9. CARACTERISTIQUE DES BETONS AUTO PLAÇANT A L'ETAT DURCI

9.1. Résistance mécanique

L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges [28].

Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense. Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suite [29].

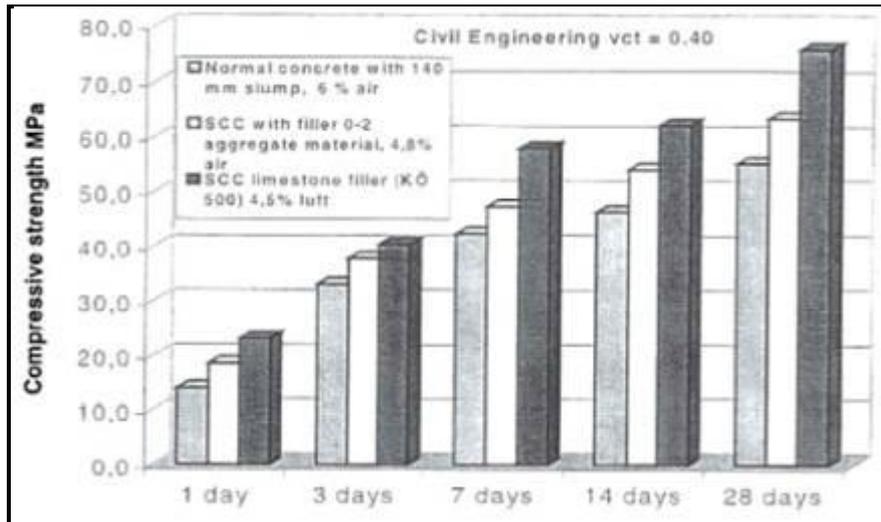


Figure I.9 : Evolution de la résistance mécanique d'un BAP(SCC) et d'un BV correspondant [30].

Différentes données ont été publiées [31], [32]. Sur l'évolution de la résistance mécanique des BAP contenant des fillers calcaires comparée à celle des bétons vibrés et soutiennent les affirmations précédentes (voir figure I.9)

De plus, certains auteurs affirment que cette augmentation de résistance est d'autant plus marquée pour les BAP que la finesse du filler (exprimée en valeur Blaine) est grande (Figure I.10). Cet effet tend lui aussi à s'annuler au-delà de 28 jours [33].

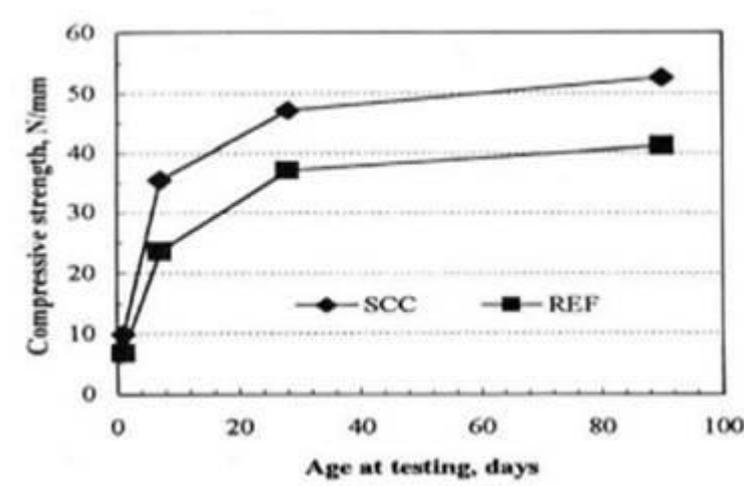


Figure I.10: Résistance mécanique d'un béton de deux BAP (de formulation différente) [32].

Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence sur l'évolution de la résistance mécanique du béton.

Ainsi, l'introduction d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges [34].

De même, certains superplastifiants utilisés pour contrôler la fluidité des formulations ont pour effets secondaires de retarder le temps de prise et d'augmenter le développement de la résistance mécanique. Etant donné la défloculation du liant hydraulique qu'ils engendrent, leur dosage important dans les BAP conduit à considérer que ceux-ci seront plus résistants que des bétons vibrés supposés similaires au départ [34].

9.2. Retrait du béton.

Le retrait est une variation dimensionnelle du béton en l'absence de chargement, dû à l'élimination d'une partie de l'eau de gâchage et aux réactions d'hydratation des grains de ciment. Le siège du retrait se situe dans la pâte du ciment. [35] Figure I.11

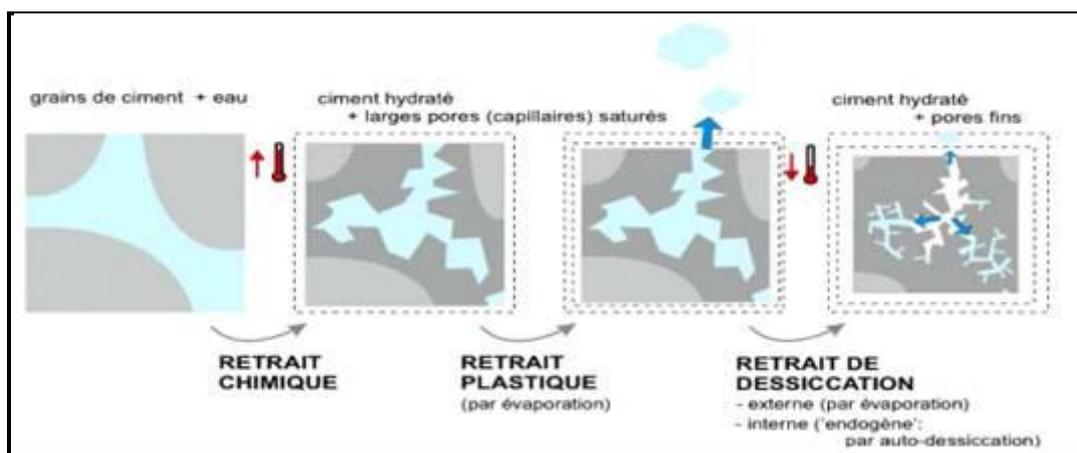


Figure I.11. Phénomène du retrait [35].

Au moment du coulage, le béton est un mélange de particule en suspension. Pendant cette période, dite dormante, les réactions d'hydratation commencent et les premiers hydrates se forment. Le volume de ces hydrates étant inférieur aux réactifs, ce qui conduit à un retrait chimique appelé la contraction de Le Chatelier [36].

Avant le début de prise, le béton se trouve en phase plastique non cohésive. Pendant cette période, l'eau de gâchage n'est pas encore liée aux constituants du ciment, elle n'est retenue que physiquement et mécaniquement donc elle peut s'évaporer comme elle peut être absorbée par un coffrage en bois trop sec ou par des granulats poreux non humidifiés, et le béton subit une contraction volumique nommée retrait plastique qui est une déformation libre

due à des phénomènes physico-chimiques (la gravité, les réactions d'hydratation, et les échanges thermiques avec l'extérieur) [37].

Détriché (1996), [38] trouve que ce retrait est d'origine exogène, la déformation engendrée se produit pendant un temps limité. Elle apparaît dès que la surface d'exposition est exempte de l'eau de ressuage et son début coïncide avec le début de la prise qui est aussi la fin du ressuage. La fin de la période du retrait coïncide à peu près avec la fin de la prise [38].

A partir du début de prise, le volume des hydrates augmente et forme un squelette de plus en plus dense. Comme l'eau dans les pores ne peut pas compenser la diminution du volume, elle se transforme en vapeur ; ce qui engendre des tensions capillaires et par la suite, une compression du squelette rigide (retrait d'auto-dessiccation). [38].

Après la prise, le béton subit trois types de retraits.

- **Le retrait thermique :**

Cette contraction se manifeste pendant un temps variant de quelques dizaines d'heures à quelques semaines après la mise en œuvre du béton. Elle est due au fait que les réactions d'hydratations du ciment sont fortement exothermiques. Ce retrait provoque l'élévation de la température au sein du béton et par la suite sa diminution jusqu'à la valeur initiale ; ce cycle est accompagné d'une expansion suivie d'une contraction [38].

- **Le retrait endogène :**

Contraction dû à l'hydratation du ciment, dit endogène parce qu'il est relié aux matériaux avec absence de tout échange d'eau avec l'extérieur. Connue sous le nom d'autodessiccation qui est une conséquence macroscopique de la contraction chimique qui augmente avec la diminution du rapport eau/ciment [39, 40].

Certains auteurs, Acher et al. (2004) [41], ont annoncé que les bétons autoplaçants particulièrement ceux confectionnés avec la fumée de silice ont un retrait endogène plus important à celui des bétons ordinaires du fait que la taille moyenne des pores est réduite [41]

- **Le retrait de séchage :**

Est un retrait de dessiccation qui se développe à partir de la surface de l'élément de béton durci exposé à l'air ambiant, son intensité dépend de la réserve d'eau disponible dans le matériau après les réactions d'hydratation, et donc directement du rapport E/C et de l'hygrométrie ambiante. L'eau contenue dans les pores s'évapore vers le milieu ambiant et crée une contraction de l'élément en béton [40].

La cause principale du retrait de séchage est l'assèchement progressif de la pâte de ciment. Lorsqu'on abaisse graduellement le taux d'humidité on observe que certaines catégories de pores s'assèchent en premier [42, 43].

- Dès que l'humidité est inférieure à 100 %, c'est l'eau libre dans les grands pores capillaires ($> 0,05 \mu\text{m}$) qui commence à s'échapper (zone A). Cette Figure I.09 perte d'eau provoque relativement peu de retrait.
- Pour des taux d'humidité compris entre 50% et 90%, C'est l'eau non-libre qui s'évapore. Cette évaporation provoque un retrait important (zone B).
- Lorsque le taux d'humidité devient inférieur à 50%, l'eau adsorbée dans les petits pores capillaires commence à s'évaporer. Ce processus produit des tensions capillaires qui compriment les parois des pores et provoquent une diminution de volume de la pâte.
- Pour un taux d'humidité inférieur à 30%, l'eau zéolithique (interlayée, qui n'est pas chimiquement combinée dans les structures de C-S-H mais retenue entre ses feuillets) devient instable et commence à s'évaporer. L'eau zéolithique est responsable des pressions de disjonction qui écartent les feuillets de C-S-H. Si cette eau disparaît le système se contracte et le volume diminue (retrait)

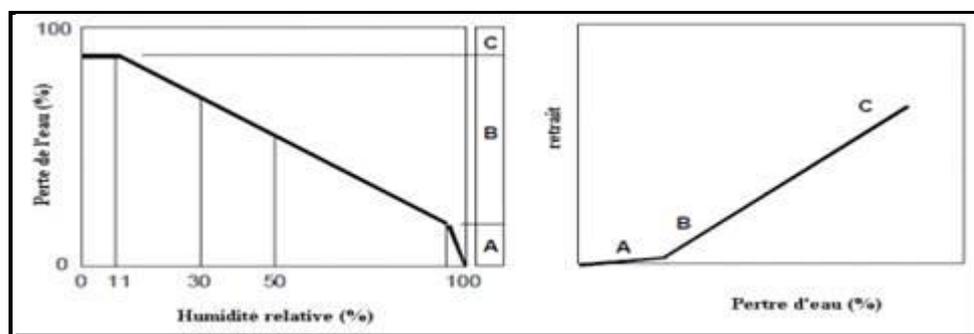


Figure. I.12 : Relation entre la perte d'eau, l'humidité relative et le retrait de séchage de la pâte de ciment hydraté [43].

La synthèse du document présenté ici ne s'attache qu'au retrait de séchage. Ce type de retrait hydrique permet de différencier au mieux les BAP des BV et les différents BAP de formulations variées. En effet, la quantité élevée des BAP en pâte, les rend susceptible d'être les plus Déformables.

Cependant, les données de la littérature ont tendance à ce contredire ; et ce parce que les formulations comparées sont bien différentes. Certains auteurs trouvent que les BAP sont

les plus susceptibles d'être déformés. Et que ce retrait est plus faible quand le rapport G/S des BAP est plus élevé [44].

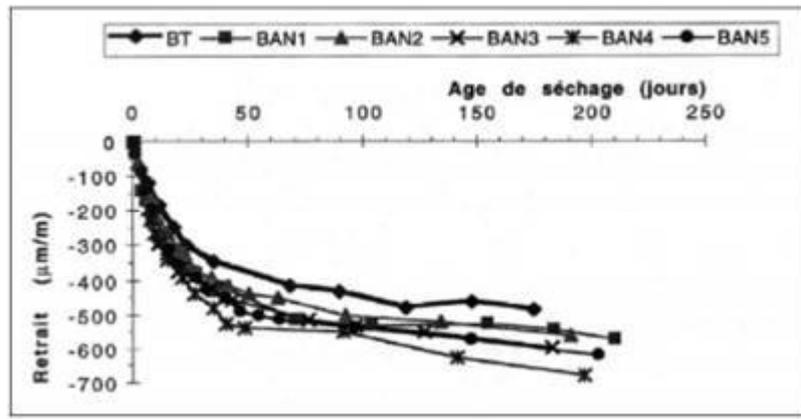


Figure I.13 : Comparaison des retraits de dessiccation d'un béton vibré et de cinq BAP [45]

Esping ,2007) [41] annonce que ce type de retrait est moins important dans les BAP que dans les bétons vibrés. En effet, augmenter le volume de la pâte pour une même quantité de l'eau et diminuer le rapport E/F réduit le retrait de séchage [41].

Contrairement au retrait endogène, le retrait de séchage décroît avec la diminution du rapport E/C

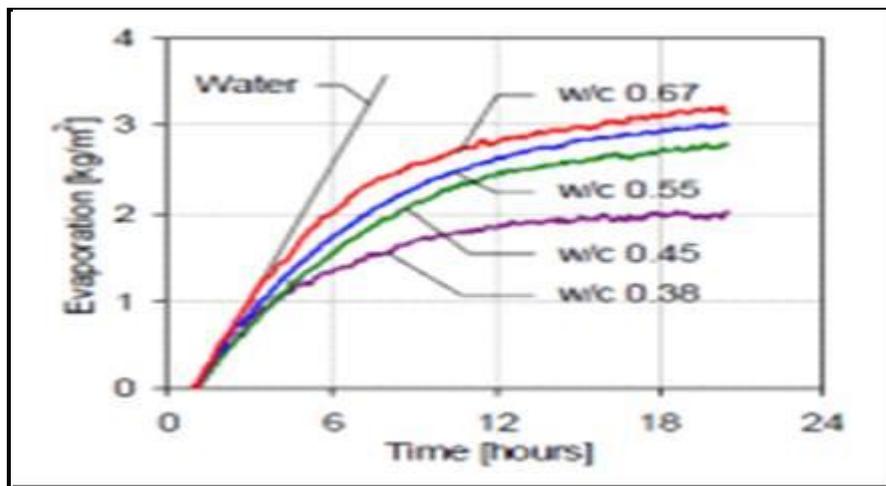


Figure I.14 : Taux d'évaporation d'eau d'un BAP avec différents E/C [42].

Vu l'utilisation des additions minérales dans les BAP, il est intéressant de connaître leurs effets sur son retrait. Les granulats retiennent le retrait de la pâte du ciment. Plus le volume de granulats est élevé, plus la stabilité dimensionnelle est importante. Une diminution

de la taille maximale des gros granulats, qui a comme conséquence d'augmenter le volume de pâte, engendre un retrait de séchage important [46].

10. DURABILITE DES BAP

10.1. Introduction

La durabilité peut être altérée par diverses actions physiques ou chimiques néfastes qui font intervenir l'écoulement de fluides (liquides ou gaz) à travers le béton. Par conséquent, la caractérisation dimensionnelle et la comparaison des BAP avec les bétons vibrés nécessitent la détermination de certaines propriétés physico-chimiques [47].

Le mécanisme de dégradation chimique du béton consiste à une décalcification progressive du béton au cours du temps en contact avec un environnement agressif. Cette dégradation provoque une augmentation de la porosité du béton qui modifie ces propriétés physico-chimiques et mécaniques. D'une part cette augmentation de porosité accélère le processus de transport (perméabilité ou diffusion) de matières et entraîne une accélération de la dissolution des hydrates (notamment la portlandite) [47].

D'autre part, ceci induit une modification des propriétés mécaniques comme la perte de résistance et la perte de rigidité. En plus, les sollicitations mécaniques créent des microfissures qui peuvent être des facteurs accélérant le processus de dégradation chimique. La durabilité peut être, donc, définie comme la résistance du béton aux agressions chimiques ou physiques, en maintenant son comportement et ses performances dans de bonnes conditions de service prévus pour l'ouvrage [47].

Ainsi, la perméabilité, la diffusion et l'absorption sont les trois principaux processus peuvent amener des substances agressives à pénétrer dans le béton et affecter ses qualités mécaniques et protectrices (à l'égard de la corrosion des armatures principalement). La perméabilité concerne le transfert de matière dû à un gradient de pression, la diffusion est le mécanisme par lequel un fluide se déplace sous l'action d'un gradient de concentration et l'absorption est le résultat de différence de tension de surface dans les capillaires.

D'autre part, les trois fluides naturels qui peuvent se déplacer selon les processus mentionnés ci-dessus et remettre en cause la durabilité du béton sont : l'oxygène, l'eau (contenant ou non des ions agressifs) et le dioxyde de carbone. La durabilité du béton dépend

donc de sa capacité à résister à la pénétration de ces fluides à l'intérieur du matériau suivant les trois mécanismes d'écoulement possibles [48].

L'influence des additions sur la matrice cimentaire dépend de la taille des particules, de leurs compositions chimiques et minéralogiques. Les plus fines d'entre elles permettent d'accroître la compacité du squelette granulaire et aussi de diminuer l'épaisseur et la porosité des auréoles de transition (interfaces pâte – granulats, zone plus poreuse avec des pores plus gros) [48].

La durée de malaxage est également un facteur important : un malaxage prolongé peut multiplier par deux le volume d'air occlus.

11. BETON AUTOPLAÇANT FIBRE (BAPF)

11.1. Introduction

On appelle « béton de fibre », le mélange homogène d'une matrice minérale (mortier ou béton) et d'éléments de renforts discontinu sous forme de fibres. C'est un matériau composite qui se présente sous forme d'un solide polyphasé dans lequel deux ou plusieurs constituants sont associés en vue de lui conférer, à l'échelle macroscopique et au moins dans certaines directions, un ensemble original de propriétés que les constituants pris isolément ne permettent pas d'atteindre. [49]

En combinant les fibres avec les BAP, il en résulte un BAP fibré (BAPF) avec des propriétés particulières à l'état frais et à l'état durci [50]. L'incorporation des fibres dans les compositions des bétons autoplaçants va étendre leurs avantages : comme l'amélioration des résistances mécaniques notamment la résistance à la traction par flexion, et la limitation des fissurations. Cependant les propriétés des BAP à l'état frais, les fibres peuvent être altérées. En effet, les fibres réduisent la maniabilité du béton frais caractéristique fondamentale des BAP, ce qui constitue une barrière devant leur utilisation.

Le caractère et la performance des BAPF changent dépendamment des propriétés du béton et des fibres. Les propriétés des fibres sont généralement leur concentration, leur dimension, leur orientation et leur distribution dans le béton. [51]

11.2. Les fibres

Nous appellerons fibre, tout matériau de forme élancée, dont le diamètre moyen est relativement petit, la plupart des fibres utilisées ont une longueur comprise entre 1 et 60 mm avec un élancement (rapport de la longueur sur le diamètre) de l'ordre de 30 à 300. La forme de la fibre est variable et contrôlée selon le comportement souhaité. [52]

11.3. Rôle des fibres :

Si le béton est soumis à un chargement, on constate, à un certain stade de chargement l'apparition des fissures. Les fibres incorporées dans le béton s'opposent au développement et à l'ouverture des fissures.

Le rôle principal des fibres :

- Contrôle la propagation des fissures
- Rendre le matériau plus ductile (moins fragile)

Le rôle général des fibres :

- Amélioration de la résistance à la traction par flexion
- Amélioration de la résistance du béton à jeune âge
- Réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures
- Bonne tenue au feu
- L'amélioration a résistance à la fatigue, à l'usure, à l'abrasion

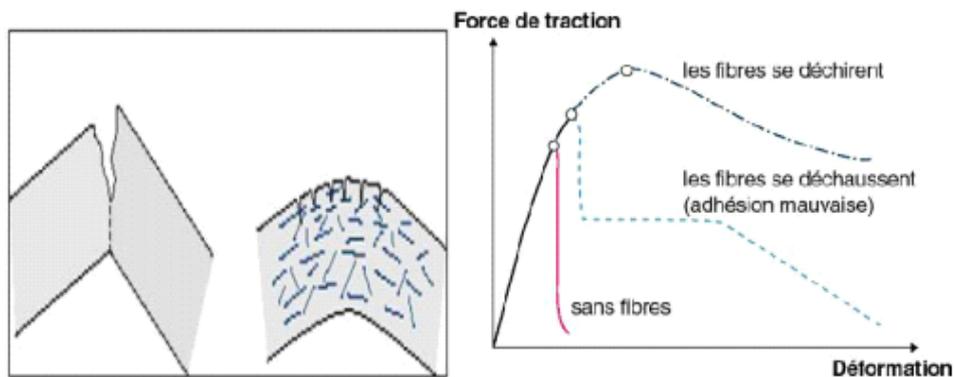


Figure I.15 : illustration de l'apport du renfort par les fibres [53]

Mode de travail des fibres en traction :

- Première phase : les fibres retardent l'apparition des microfissures
- Deuxième phase : les fibres coudent les microfissures et retardent l'apparition des fissures

- Troisième phase : Les fibres s'opposent à la formation des macro-fissures et s'opposent à l'ouverture des fissures.

11.4. Différents types de fibres :

Le choix de la fibre est en fonction des caractéristiques qu'on veut ajouter au béton et aussi selon leur prix, il existe plusieurs types de fibres ce qui les distingue c'est la nature, la dimension et les propriétés mécaniques :

- Fibres synthétiques : polypropylènes, polyester, polystyrène, aramide, acrylique...
- Fibres métalliques : acier, fonte
- Fibres végétales : palmier dattier, Alfa, coco, bois.....
- Fibres minérales : verre, amiante, Carbone
- Fibres animales : soie, poils, laine

11.4.1. Fibres synthétique :

La fibre synthétique est une fibre ou un fil produit à partir d'une matière synthétique. Une matière synthétique est une matière obtenue par synthèse de composés chimiques. Ces derniers viennent presque exclusivement d'hydrocarbures ou plus récemment d'amidon. Parmi les types de fibres synthétiques on trouve les fibres de polypropylènes.

Les polypropylènes, sont généralement des produits d'origine pétrolière, découverts en 1954 [49]. Ces matériaux sont très avantageux car ils sont largement disponibles et à faible prix, ils améliorent la résistance aux chocs et aux attaques en milieux alcalins et corrosifs, ils limitent l'ouverture des fissures.



Figure I.16: Fibres de polypropylènes

Les fibres de polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post fissuration (contrairement aux fibres métalliques). [54]

Les polypropylènes améliorent la tenue au feu des bétons, lorsque le béton est exposé à des températures élevées, l'eau contenue dans ces pores va se transformer en vapeur qui crée des contraintes internes et qui peut entraîner un écaillage en surface du béton. L'incorporation des fibres de polypropylène permet d'éviter ce problème, puisque ils fondent à des températures entre 140°C à 170°C créent de petits capillaires permettant à la vapeur d'eau de s'échapper et limitent l'éclatement de surface de béton. [54]

La fabrication du béton avec des fibres de polypropylène ne soulève pas de difficulté particulière. La répartition des fibres est facile et ne nécessite pas de précautions spécifiques lors du malaxage. L'utilisation de l'adjuvant permet de réaliser des bétons dont l'ouvrabilité est conservée. [54]

11.4.2. Fibres naturelles :

Les fibres naturelles sont de nature hydrophile, car elles sont dérivées de la cellulose qui contient des groupes hydroxyles fortement polarisés. [55]. Elles sont obtenues par transformation physiques et mécaniques d'une matière naturelle, sans modifier sa composition

- **Classification des fibres naturelles :**

- Fibres végétales : elles sont extraites des arbres, des plantes et des fruits
- Fibres animales : extraites à partir des poils d'animaux
- Fibres minérales : on trouve dans la nature des minéraux dont la texture est fibreuse, il s'agit d'une matière toxique comme l'amiante.

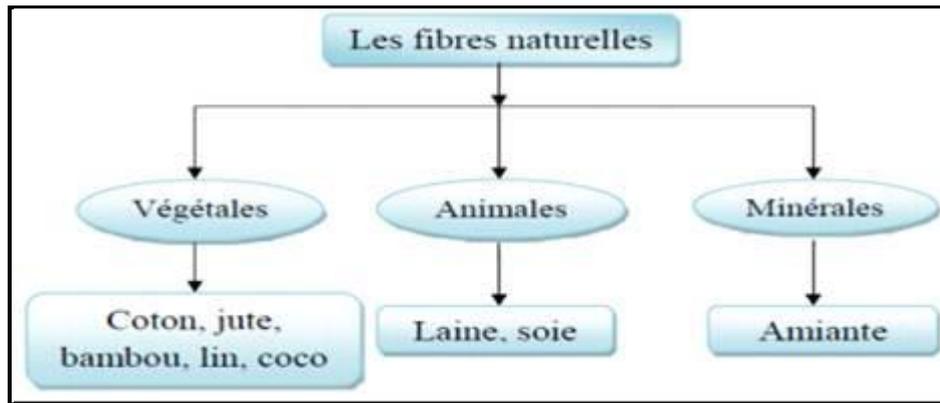


Figure I.17: Classification des fibres naturelles selon l'origine

Tableau I.2: caractéristiques des différents types de fibres. [56]

Fibres	Diamètres	Longueur (mm)	densité	R _t (MPa)	E (MPa)	Allongement à la rupture %	Coefficient de dilatation, (u/m)	R _{feu} temps Max °C
Acier	5-500	20-80	7,8	1000-3000	200	3-4	11	1500
Fonte	36*2600 de section	50-60	7,8	2500	140	1	-	1500
Verre	5-20	40-70	2,6	1500-300	80	2-3,5	9	800
Polypropylène	10-200	25-75	0,9	400-750	5-10	15-25	9	150
Polyester	-	-	1,4	700-850	8	11-13	-	-
Amiante	0,02-20	5	2,5-3,4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	Variab le	1,7-2	2000-3000	250-400	0,5-1,5	-	400-1500
sisal	10-50	1,50	1,5	-	130	3	-	

11.4.3. Les fibres végétales :

Les fibres végétales peuvent être considérées comme des composites naturels constituées essentiellement de fibrilles de cellulose, maintenues ensemble par une matrice composée principalement de lignine et d'hémicellulose. [57]

Récemment, dans le cadre du développement durable, de grands efforts sont réalisés par les chercheurs afin de développer des matériaux de construction qui respectent l'environnement. Parmi ces matériaux, les fibres végétales qui proviennent du secteur forestier ou agricole [57].

En raison de leurs avantages, l'utilisation des fibres végétales continue d'augmenter, ces matériaux écologiques ont un faible prix, une faible densité, ils proviennent d'une ressource renouvelable, ils possèdent des propriétés mécaniques élevées, ces fibres ont une structure poreuse qui leur confère une bonne isolation thermique et acoustique, leur manipulation est facile en raison de leur flexibilité.

Les fibres végétales font partie de la nouvelle génération de renforts qui respectent l'environnement et qui peuvent être incorporées dans diverses matrices afin de réaliser des matériaux écologiques, légers et à faible prix. [57]

L'application des fibres végétales dans le domaine de génie civil, c'est pour la fabrication des panneaux pour l'isolation et dans l'industrie du bâtiment, la fabrication des enduits et des peintures à base d'huile végétales pour renforcer la durabilité des éléments de construction renouvelables [47].

11.4.3.1. Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales sont classées selon plusieurs critères :

A partir de l'organe de la plante dont elles ont été extraites, les fibres végétales peuvent être classées en :

- Fibres de tiges (lin, jute, chanvre, ramie).
- Fibres de feuilles (sisal, yucca, manille)
- Fibres de bois (coton, coco) [50]

A partir de la teneur en hémicellulose et lignine, les fibres végétales peuvent être classées en :

- Fibres ligneuses (dures et rigides provenant de matériels ligneux tels que le bois d'œuvre, les résidus de l'industrie du bois)
- Fibres non ligneuses (douces, souples, issues de végétaux non ligneux souvent annuelles relativement moins riches en lignine tels que le chanvre, le sisal, le jute, le lin).
- A partir de la longueur, les fibres peuvent être classées en :
 - Fibres longues, dites libérienne, provenant des tiges et d'écorce de tiges de plantes annuelles. Elles sont douces. [50]
 - Fibres longues issues de feuilles ou de troncs d'arbre qui sont plus dures et plus rigides à cause de leur richesse en lignine. [50]

- Fibres courtes ou étoupes qui sont associées aux fibres longues. [50]

11.4.3.2. Composition chimiques des fibres végétales :

La composition chimique varie d'une plante à une autre ; et dépend de l'espèce, de l'âge de la plante et des conditions climatiques, de la composition du sol et de la méthode d'extraction utilisée [58].

Les différents composants sont :

- **La cellulose (glucide)** : principale composante des végétaux, la cellulose est un polymère naturel du premier plan. L'union de plusieurs molécules de cellulose permet d'obtenir des fibrilles et l'union des fibrilles constitue les fibres. [59]
- **Hémicellulose** : l'hémicellulose est un bio polymère constitutif de la paroi cellulaire végétale et une des composantes du bois. Elle a un rôle de liaison entre les fibres de cellulose.
- **La lignine** : après la cellulose et l'hémicellulose, la lignine forme la troisième famille de composés par ordre d'abondance dans les plantes et dans les écosystèmes terrestre ou domine la biomasse végétale morte ou vive. La lignine constitue la colle qui lie les fibres végétales entre elles ainsi que leurs parois.
- **La pectine** : les substances pectiques sont des macromolécules de nature glucidique, d'origine exclusivement végétale, composée essentiellement d'acide galacturonique [60]. Les pectines sont les composés les plus hydrophiles dans les fibres végétales en raison de la présence de groupes acides carboxyliques. [61]
- **Les cires** : les cires sont des lipides qui se trouvent dans une fine couche à l'extérieur des tiges. Les cires ont plusieurs fonctions, comme la protection physique contre les conditions environnementales défavorables et des insectes. Les structures peuvent être très complexes, mais parmi les lipides les plus courants se trouvent les hydrocarbures, les esters de cire, les cétones, les alcools et les acides gras. La structure et la composition de la couche des cires peuvent varier tout au long de la plante et de la tige. [62]

Tableau I.3 : Composition chimique de quelques fibres végétales. [63]

Fibres naturelles	Cellulose %	Hémicellulose	Lignine	Pectine	Graisse	Eau	Angle de micro fibrille (°)
Chanvre	70-74	17,9-22,4	3,5-5,7	0,9	0,8	6,2-12	2-2,6
Lin	71	18,6-20,6	2,2	2,3	1,7	8-12	5-10
Jute	61-71,5	13,6-20,4	12-13	0,2	0,5	12,5-13,7	8
Coton	85-90	5,7	-	0-1	0,6	7,85-8,5	-
Sisal	66-78	10-14	10-14	10	2	10-22	10-22
Ramie	68,6-76,2	13,1-16,7	0,6-0,7	1,9	7,5-17	0,3	7,5
Kenaf	45-57	21,5	8-13	3-5	-	-	-
Palmier dattier	41-45	6-10	30-40	-	1,2	-	-
Alfa	45	24	24	5	-	-	-

11.4.3.3. Propriétés physiques des fibres végétales :

Globalement, les fibres végétales sont déterminées physiquement par leurs densités, leurs diamètres, leur teneur en eau et leurs pourcentages d'absorption d'eau.

- **Propriétés mécaniques des fibres végétales:**

Les fibres végétales sont caractérisées par leurs résistances à la traction, leurs modules d'élasticité.

- **Propriétés écologiques des fibres végétales [64] :**

- Plus de confort pendant la manipulation et elles sont renouvelables.
- Propriété mécanique spécifiques importantes (résistance et rigidité)
- Renfort discontinue
- Bonne isolation thermique et acoustique
- Non abrasif pour les outillages

11.4.4. Fibres de Palmier dattier :

Comme le précise son nom, le palmier dattier appartient à une grande famille d'arbres à palmes et produits des dattes. L'Algérie au plan mondial, se classe à la 7ème position en termes de production des dattes. L'Algérie produit environ 10% de la production mondiale des dattes répartie dans les différentes régions de production [65].

Le palmier dattier a un stipe solitaire de couleur marron qui atteint jusqu'à 20 mètres de hauteur, et 60 cm de diamètre à l'âge adulte. Leur couronne se compose de plus d'une centaine de feuilles pennées qui mesurent plus de 5m de longueur. Le pétiole peut mesurer

jusqu'à un mètre et est recouvert d'épine sur ses bords. Les folioles sont de couleur verte, elles sont étroites, rigides et disposées de manière irrégulière sur le rachis [66]

Les palmiers dattiers possèdent une structure fibreuse, avec cinq types de fibres :

- (1) : fibres de bois du tronc ;
- (2) : fibres de tige au niveau des tiges des pédoncules et du support dattier ;
- (3) : fibres de feuilles au niveau des pédoncules ;
- (4) : fibres de surface autour de son tronc ou de base de palmes (pétiole) ;
- (5) : fibres de liffe (entre les Kornat, le tronc est recouvert d'une bourre fibreuse que l'on appelle le liffe)

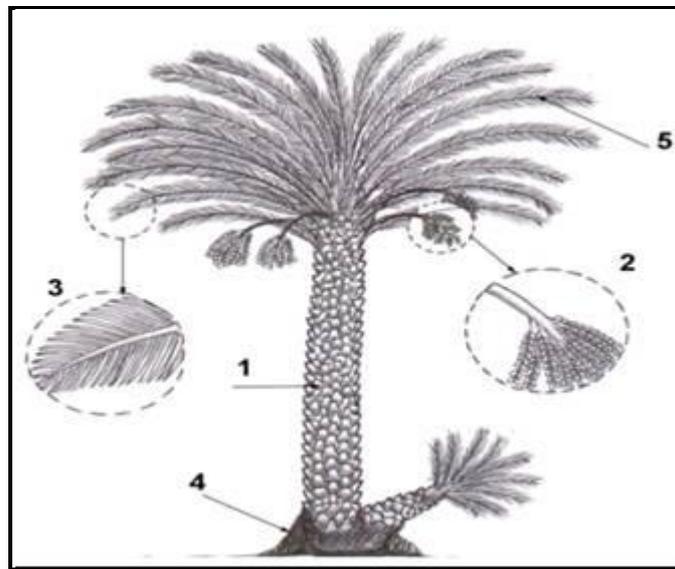


Figure II.18 : Arbre de palmier dattier [56]

Les fibres de palmiers dattiers sont incorporées dans les formulations des bétons compte tenu de leurs nombreux avantages, pour leur économie ou bien leurs rôles dans l'amélioration des performances des bétons.

11.5. Paramètres influençant les propriétés des composites renforcés par des fibres végétales :

11.5.1. Influence de la quantité des fibres :

L'augmentation du pourcentage de renforts améliore quasi systématiquement la rigidité du composite. Cependant, une trop grande quantité de renforts implique une adhésion plus difficile qui conduit à une baisse de performances dans certains cas. Il est assez peu

fréquent de trouver des composites qui contiennent un pourcentage de fibre supérieur à 50-60%, sans rencontrer de nombreuses difficultés lors du moulage. [67]

11.5.2. Influence de la longueur de renfort

Certains auteurs [67] trouvent que, les fibres longues ont des contraintes en traction plus faible que les fibres courtes, du fait que les premières ont de plus grandes chances de contenir des défauts de formations.

D'autres, Mansur et al, 2010 [68] ont étudiés le renforcement de mortier de ciment par des fibres de jute, ils ont trouvés que la résistance à la compression diminue avec l'augmentation de la longueur et le dosage des fibres. Ils ont trouvés aussi que les performances en traction et en flexion sont dépendantes de la longueur des fibres, dans un premier temps, ils disent que plus la longueur des fibres est importante, plus les deux résistances augmentent, cependant, au-delà d'une valeur critique les propriétés n'augmentent plus.

11.5.3. Influence de l'humidité

L'humidité est un point crucial qui évolue et intervient tout au long de la vie des matériaux composites due au caractère hydrophile de la fibre. Les fibres végétales sont à l'origine très sensibles aux conditions hygroscopiques. Cette sensibilité joue un rôle important sur l'adhésion mais aussi sur les caractéristiques mécaniques et physiques du produit final. [69]

11.6. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état frais :

Plusieurs travaux ont montrés, que plus le taux d'incorporation des fibres augmente, plus les caractéristiques de maniabilité et la capacité d'écoulement à l'état frais des bétons autoplaçants seront perdus.

(Anastasio, et al 2018) [70] ont démontré une diminution notable de la maniabilité et une augmentation de la ségrégation des BAP en fonction de la teneur en fibres.

Aussi, une expérience qui a été réalisée par (A. BELKADI et al,2015) [70], ou ils ont préparés quatre compositions, la première présente une formulation d'un BAP sans fibre (BAP témoin), une deuxième présente un BAP renforcé par les fibres d'Alfa (BAP-ALF), la

troisième composition présente un BAP avec les fibres de chanvre (BAP-CV) et la dernière était un BAP avec les fibres de polypropylène (BAP-PP).

La teneur des fibres pour les trois mélanges des BAP est la même (2Kg/m³), un léger ajustement sur la teneur en eau et du superplastifiant a été fait afin d'obtenir les caractéristiques à l'état frais acceptables pour les quatre mélanges.

Les résultats des tests de béton frais sont montrés dans le tableau (I.II.6):

Tableau I.4: résultat des tests de béton frais [71]

Types de l'essai	BAP-T	BAP-ALF	BAP-CV	BAP-PP
L'étalement	73	68	65,5	60,5
T50	2	3,9	2,4	2,62
J Ring	0,15	1,7	1,35	5,05
DJ	71,5	62	62,5	47,5
V entonnoir	10,73	11,98	9,39	8,44
Boite en L	0,91	0,84	0,86	0,45
Stabilité au tamis	15,4	5,412	2,48	4,043
Air occlus	1,9	2,6	2,1	1,27
densité	2,34	2,36	2,32	2,31

Cette expérience montre que l'ajout des fibres dans les mélanges des bétons autoplaçants influe négativement sur les propriétés des BAP à l'état frais.

Hamzaoui, et al, 2018[70], ont fait une étude expérimentale sur l'effet des fibres de polypropylène et métalliques sur la fluidité des BAP. Les caractéristiques de l'écoulement ont été évaluées en fonction de l'essai de l'étalement, le V-funnel et la boite en L. ils ont constatés qu'il est tout à fait possible d'atteindre les propriétés autoplaçantes avec l'utilisation d'un renfort fibreux, même si l'introduction des fibres et le type des fibres influencent la fluidité du béton

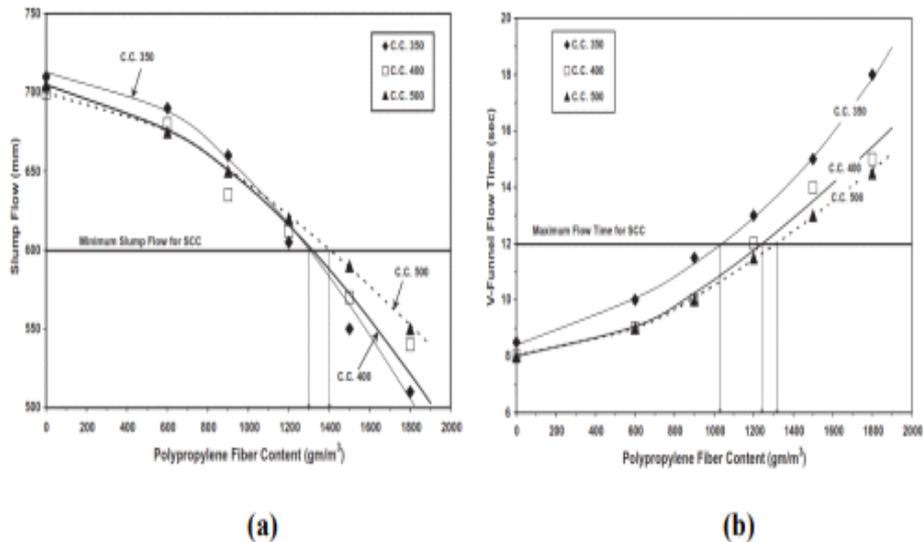


Figure I.19: effet de la teneur en fibre sur l'étalement du BAP (a) et sur le V-funnel. [70]

Les auteurs [69] trouvent que la teneur maximale des fibres pour obtenir un BAP est de 1300 à 1400 g/m³. Ils ont mentionné également que la maniabilité de BAP fibré est non seulement affectée par le volume de fibres et le type de fibre mais aussi par la composition du mélange. [69]

11.7. Influence des fibres sur les propriétés des BAP à l'état durci :

Des études ont été faites par A.BELKAIDI et al 2015, [71], sur quatre bétons autoplaçants, un témoin et les trois autres sont renforcés par les fibres végétales et fibres synthétiques, ils trouvent que l'inclusion des fibres réduit la résistance en compression et en traction. Ils voient que la cinétique de l'évolution de la résistance entre les BAP fibrés et le BAP témoin est différente. A court terme la différence de la résistance en compression est d'environ 20 à 42% par rapport au BAP témoin, mais à 28 jours l'écart s'est réduit à 12 et 14%.

D'autres part la résistance à la traction par flexion, au jeune âge, ou ils trouvent que la différence entre les résistances soit de l'ordre de 31%, à 28 jours, le comportement s'est réduit à 7,5%. Ces résultats, confirment les recherches de la littérature, qui disent que la matière cellulosique qui se trouve dans les fibres végétales joue un rôle de retardateur de prise. Ils expliquent aussi les résultats trouvés par le fait que l'incorporation des fibres dans les matrices cimentaires augmente le volume des vides et diminue la compacité du béton. [71],

M.BEHIM et al,2015) [72], démontre que l'introduction des fibres dans les compositions des BAP entraîne une légère diminution des résistances en compression. Ils ont expliqué cette considération par le fait que l'incorporation des fibres perturbe la compacité du matériau et entraîne la formation d'une porosité supplémentaire, notamment à l'interface fibre-matrice cimentaire. Par contre ils ont trouvés une amélioration des résistances en traction par flexion.

Les fibres végétales de DISS ont donnée des résistances supérieures que les fibres de polypropylène, cette différence est due à la surface rugueuse des fibres de DISS qui favorisent l'adhérence avec le matériau cimentaire.

11.8. Durabilité des bétons autoplaçants fibrés :

De nombreuses études ont montrés que l'ajout des fibres dans les mélanges des bétons autoplaçants affecte sa durabilité. L'incorporation des fibres végétales (fibres de DISS) et polypropylène, entraîne une augmentation de la porosité des bétons, cette augmentation est plus distinguée pour les BAP renforcés des fibres végétales que les fibres de polypropylènes [73].

Les fibres diminuent la compacité des bétons et favorisent la formation des pores capillaires supplémentaires à l'interface fibre-matrice cimentaire, qui sont connectés avec le milieu extérieur. [74].

Corinaldesi et al, 2018 [50], ont montré que l'incorporation des fibres dans les BAP réduit la perméabilité aux ions chlorures de sodium avec une concentration de 10% dans une solution aqueuse.

L'essai de la carbonatation accéléré réalisé par LAIFA, W [54], montre que les BAP renforcés de fibres présentent des profondeurs carbonatées supérieures à celles du BAP sans fibres.

11.9. Conclusion

Le renforcement des matrices cimentaires par les fibres végétales augmente jour après jour, et prend un champ très large d'application, compte tenu des caractéristiques

physiques, mécaniques et chimiques de ces renforts, aussi grâce à leur disponibilité et leur faible prix de revient.

L'ajout des fibres permet le passage du béton d'un comportement rigide à un comportement ductile, ces derniers s'opposent à la formation, à la propagation et à l'ouverture des fissures.

Les bétons autoplaçants fibrés doivent avoir les mêmes propriétés de base que les BAP non fibrés : étalement maximal, non ségrégation, non ressuage, non blocage, etc. [70]

L'incorporation des fibres dans les bétons autoplaçants influe négativement sur leurs propriétés à l'état frais notamment sur l'ouvrabilité.

Certains chercheurs se sont trouvés les mêmes résultats sur l'effet des fibres sur le comportement mécanique en compression des BAP renforcés par les fibres, ils ont trouvé que ce renforcement n'améliore pas cette résistance.

L'incorporation des fibres dans les compositions des BAP influe positivement sur l'amélioration des résistances mécaniques en traction, par contre d'autres constatent que cet ajout n'a pas d'intérêt et les résistances en traction des BAP avec fibrage sont les mêmes que les BAP témoins sans fibrage.

Ce chapitre nous a permis de connaître les notions de base sur lesquelles nous allons organiser notre travail, le chapitre qui suit concerne notre partie expérimentale.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [01] OKAMURA H et OUCHI M (1999).Self-compacting concrete development, present use and future, In: 1erinternational RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Skarendahl A, Petersson O, editors, RILEM publications S.A.R.L, France, p3-14. Cité par Tahar, ALI-BOUCETTA.
- [02] Arch. GieWollaert, Béton autoplaçant, 2005
- [03] OKAMURA. H. , OZAWA , K. (1994), “Self compactable high performance concrete in Japan” ACI International Workshop on high Performance Concrete, Bangkok, Thailand.
- [04] HAYAKAWA , M., MATSUOKA,Y., YOKOTA, K. (1995).”Application of super workable concrete in the construction of 70_story building in Japan” ACI SP 154.
- [05] guidebeton.com le béton autoplaçant-Guide béton
- [06] A. EL Hilali. Etude expérimentale de la rhéologie et du comportement des bétons autoplaçants (BAP) : influence des fines calcaires et des fibres végétales. Thèse de doctorat en génie civil. Université Cergy-Pontoise, 2009. P38-50. Cité par BOUDRAA Sarra.
- [07] ZAHOUANI Hassan, TOUAITI Abdelaziz. En vue de l’obtention du diplôme de master Génie civil. Université KasdiMerbah. Ouargla 2011.
- [08] Mohamed YAGOUB. Evaluation de la qualité du béton de fibre in situ cas de BAP avec des fibres mixtes. (master thesis). Université Mohamed Khider Biskra. 2009
- [09] N. REBBOUH. Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants. Projet de fin d’étude de l’école national polytechnique. Alger p08-40. 2006. Cité par BOUDRAASarra.
- [10] Tahar ALI-BOUCETTA.Contribution laitier granulé et la poudre de verre sur les propriétés d’écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances. Thèse de doctorat en génie civil. Université Badji Mokhtar Annaba. 2014.
- [11] NAAMAOUI née HADDADOU Naima. Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre. Thèse de doctorat en science et génie des matériaux. Université M’Hamed bougara- Boumerdes. 2015
- [12] OKAMURA H, OUCHI M, « self-compacting concrete », journal of advanced concretetechnology, vol, 1, No. 1, 5-15, April 2003. Cité par NAMMAOUI née HADDADOU Naima.
- [13] KHAYAT K H, “Workability, Testing, and Performance of SelfConsolidationgConcrete”, ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999.

- [14] MEDAR MOHAMED AMINE; DJADIBOUALEM. En vue l'obtention du diplôme Master Spécialité Génie de matériaux .UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES.2015 – 2016.
- [15] MIURA N, TAKKDA N, CHIKAMATSU R, SOGO S. Application of super workable concrete to reinforced concrete structures with difficult construction conditions, ACI SP 140, High performance concrete in severe environments, Detroit, p. 163-186, 1993. Cité par NAMMAOUI née HADDADOU Naima.
- [16] CHIBANI Naouel. Formulation et propriétés des bétons autoplaçants (BAP) a base de granulats recyclés : cas des fines de marbre. Magister en génie civil, Université Larbi Ben M'hidi, Oum-El-Bouaghi. 2013
- [17] SERIDI Said. Mémoire de Master en génie civil. « comportement de BAP à haute température ». 2013/2014. Cité par KOUICI Abir
- [18] AFGC. Documents scientifiques et techniques. « Recommandations pour l'emploi des bétons autoplaçants ». Janvier 2008
- [19] FARES Hanaa. Propriétés mécaniques et physico-chimique de bétons autoplaçants exposé à une température élevée, thèse de doctorat à l'université de CergyPontoise, Décembre 2009. Cité par KOUICI Abir
- [20] Z. ABIB. Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants, thèse de magister USTHB, 2004.Cité parBOUASTIA Khaoula
- [21] NF EN 12350-8, Essai d'étalement au cône d'Abrams sur béton autoplaçant à l'état frais. Juin 2010
- [22] BELKAIDI Ahmed Abderraouf. Contribution à l'étude de la durabilité et les performances des bétons autoplaçants (fibres végétales, milieu agressif, formulation, modélisation). Thèse de doctorat en génie civil, 2018
- [23] « R. Dupain/ R.Lanchon / J.C. Saint-Arroman » Granulats, sols, ciments et bétons edition 2000. Cité par KOUICI Abir.
- [24]NF EN 12350-10, Essai du taux de remplissage à la boîte en « L » sur béton autoplaçant à l'état frais.Juin 2010
- [25] NF EN 12350-12, Essai d'écoulement à l'anneau sur béton autoplaçant à l'état frais.Juin 2010
- [26] OKAMURA H, OUCHI M, self-compacting concrete, journal of advanced concrete technology. Vol 1 p 5-15, 2003. Cité par KOUICI Abir.
- [27] NF EN 12350-11, Essai de stabilité au tamis sur béton autoplaçant à l'état frais. Juin 2010

- [28] DE LARRARD F, «Concrete mixture-proportioning - A scientific approach» , ModernConcrete Technology Series, N°9, E&FN SPON, 1999.
- [29] PERA J., HUSSON S. and GUILHOT B, «Influence of finely ground limestone on cement hydration», Cement and Concrete Composites, 1999.
- [30] GIBBS J.C. and ZHU W, « Strength of hardened self-compacting concrete», Proceedings of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7),Stockholm, Suède, septembre 1999.
- [31] SONEBI M. and BARTOS P.J.M, «Hardened SCC and its bond with reinforcement», Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden, Septembre 1999.
- [32] PETERSSON Ö. « Limestone powder as filler in self-compacting concrete – Frost resistance and compressive strength», Proceedings of 2nd International Symposium onSelf-Compacting Concrete, Tokyo, Japon, octobre 2001.
- [33] FELEKOGLU B., YARDIMCI M. Y. and BARADAN B., «A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete», Proceedings of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 33), Reykjavik, Iceland, août 2003.
- [34] SHI C., WU Y., SHAO Y. and RIEFLER M., «Comparison of two design approaches for self-consolidating concrete», First North American Conference on the Design andUse of Self-Consolidating Concrete, ACBM center, novembre 2002.
- [35] Boeraeve. R. P., 2009 - Cours de Béton armé. 11p
- [36] Toma. G., 1999 - Comportement des bétons aux jeunes âges. Thèse de PhD. Université Laval. Québec. Canada. 264p.
- [37] Esping. O., Löfgren. I., 2006. - Investigation of early age deformation in selfcompacting concrete”, 2nd International Symposium on Advances in Concrete Science. Quebec. Canada. PP: 11-15
- [38] Dieryck. V., Desmyter. J., 2005 – Le béton auto-compactant. PP: 491- 502. In Apers. J.,Broucke. A., Denoël. J.F., Hardy. P., Vandewalle.L., 2006 - Technologie du béton.Groupement Belge du Béton. 582p.
- [39] Esping. O., 2006. - Investigation of autogenous deformation in self-compacting concrete.International RILEM Conference on Volume Changes of Hardening Concrete. Lyngby.Denmark. PP: 273-282.
- [40] Haouas. A., 2007 – Comportement au jeune âge des matériaux cimentaires –

- Caractérisation et modélisation chimico-hydro-mécanique du retrait. Thèse de doctorat. Ecole Normale de Cachan. Cedex. France. 204p.
- [41] Acher. P., Torrenti. J.M., Ulm. F.J., 2004 – Comportement du béton au jeune âge. Ed.Lavoisier. Paris, France, 186p
- [42] Esping. O., 2007- Early age properties of self-compacting concrete – Effects of fine aggregate and limestone filler. Department of Civil and Environmental Engineering. Building Technology. Chalmers University of Technology. Sweden. 206p
- [43] Gagné. R., 2007 – Durabilité et réparation des bétons. Université de Sherbrooke. Département de Génie Civil. 62p.
- [44] Eric. P., Koehler. E.P., Fowler. D.W., 2007 - Aggregates in Self-Consolidating Concrete. Final Report ICAR Project 108. Aggregates Foundation for Technology, Research, and Education (AFTRE). International Center for Aggregates Research (ICAR). The University of Texas at Austin. 353p.
- [45] Assié. S., 2004 – Durabilité des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat. Institut national des sciences appliquées de Toulouse. France. 249p.
- [46] Betonson BV, NL., Degussa., Doka Schalungstechnik GmbH., Hanson., Holcim., 2005 -The European Guidelines for Self-Compacting Concrete Specification, Production and Use. 63p
- [47] FELEKOGLU B., YARDIMCI M. Y. and BARADAN B., «A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete», Proceedings of 3rd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 33), Reykjavik, Iceland, Août 2003.
- [48] Nevilles. A.M., 2000 – Propriétés des bétons. Edition Eyrolles, Paris, France, 755p
- [49] NAAMA OUI née HADDADOU Naima. Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre. Thèse de doctorat en science et génie des matériaux. Université M'Hamed bougara- Boumerdes. 2015
- [50] Tahar TIOUA. Contribution à l'étude des bétons autoplaçant renforcés de fibres végétales en environnement chaud et sec. Thèse de doctorat en génie civil, Université de Ouargla, Mars 2018
- [51] SAHMARAN, M. , YAMAN, L, O. Hybrid fiber reinforced self-compacting concrete with a high-volume coarse fly ash. Construction and building materials, vol. 21, n° 1, p.150-156, 2007. KASSIMI, F. optimisation et performances mécaniques et structurales des bétons autoplaçants fibrés, Mémoire de maîtrise en sciences

- appliquées. Spécialité : génie civil, université de Sherbooke, Canada, 2008. NAMMAOUI née HADDADOU Naima, élaboration et caractérisation de béton autoplçant fibré avec ajout de poudre de marbre. Thèse de doctorat en science et génie des matériaux. Université M'Hamed bougara- Boumerdes, 2015. Cité par TIOUA Tahar
- [52] Ben Amara. D., « formulation et comportement d'un béton de sable de la région de Biskra renforcés de fibres métalliques », mémoire de magister, université de Annaba, Algérie (2002). Cité par MELAIS Fatma Zohra.
- [53] Fritih. Y., « Apport d'un renfort de fibres sur le comportement d'éléments en béton autoplçant armé », thèse de doctorat, université de Toulouse, France, (2009), 246p. Cité par MELAIS Fatma Zohra.
- [54] NASSAH Dalila. Influence de la quantité de fibres naturelles (alfa) et commerciales (polypropylène) sur les propriétés physico-mécaniques des mortiers fibrés. Mémoire de master, université M'Hamed Bougara- Boumerdes. 2017
- [55] AMROUNE Salah. Caractérisation mécaniques et étude de l'endommagement des matériaux composites renforcés par des fibres de palmiers dattiers. Thèse de doctorat, université 8 mai 1945 Guelma. 2016.
- [56] Akchiche. H., « Contribution à la modélisation du retrait et du fluage des bétons et mortiers renforcés par des fibres de palmier dattier en régions désertiques », mémoire de magister, université KasdiMerbah, Ouargla, Algérie, (2007) 145p. Cité par MELAIS Fatma Zohra.
- [57] ACHOUR Abderraouf. Etude des performances des mortiers renforcés de fibres naturelles. Thèse de doctorat en génie civil, Université AboubakrBelkaid Tlemcen, 2017.
- [58] Moktari Abdessamed, « influence des ajouts de fins minérales sur les performances mécaniques des bétons renforcé de fibre végétales de palmier dattier », Université de Kasdi Merbah Ouargla option génie civil, 2006.
- [59] Cours Master I « le bois et ses dérivés », Tahar ALI-BOUCETTA, Docteur à l'université Badji Mokhtar Annaba.
- [60] S. Bouzouita, « Optimisation des interfaces fibre/matrice de composites à renfort naturel ». thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon France, (2011), 179p. Cité par BOUHANK Salim.
- [61] E. Rogge, « Extraction et étude des propriétés physiques et mécaniques des fibres d'Alfa (Esparto Grass) en vue d'application Textiles ». Rapport de recherches dans le cadre

- du programme ERASMUS, Ecole Nationale Supérieure d'Ingénieurs SudAlsace, Mulhouse, France, (2010), pp, 1-84. Cité par BOUHANK Salim.
- [62] BOUZOUITA Sofien. « optimisation des interfaces fibre-matrice de composite à renfort naturel ». thèse de doctorat, Ecole centrale de Lyon, France, Janvier 2013.
- [63] Bates. J, « les fibres naturelles pour les composites », KU LEUVEN, Octobre 2014.
Cité par KOUICI Abir
- [64] SONEBI M, BARTOS P. J. M, « Hardened SCC and its bond with reinforcement », Proceeding of first international RILEM symposium on self-compacting concrete (PRO 7), Stockholm, sweden, pp. 275-289, 13-15 September 1999. Cité par NAMMAOUI née HADDADOU Naima.
- [65] Daghefel Azzedine, «Etude du comportement à la rupture du béton polymère renforcé par des fibres végétales », mémoire de master, université de M'sila, Juin 2012.
- [66] BOUHANK Salim. Elaboration de matériaux composites PVC / fibres de Genet d'Espagne : formulation et caractérisation. Thèse de doctorat, université Ferhat ABBAS, Sétif, 2017.
- [67] MAGNINOT Camille, « contribution à la formulation et la caractérisation d'un éco-matériaux de construction à base d'agro ressource. Thèse de doctorat en génie civil, université de Toulouse III, Paul Sabatier, 2010.
- [68] F.R Cichocki, J.L Thomason, « Thermo-elastic anisotropy of a natural fiber ». Composites science and technologie, (2002), Vol, 62, pp. 669-678. Cité par BOUHANK Salim.
- [69] BELKAIDI Ahmed Abderraouf. Contribution à l'étude de la durabilité et les performances des bétons autoplaçants (fibres végétales, milieu agressif, formulation, modélisation). Thèse de doctorat en génie civil, 2018.
- [70] BELKAIDI A, AMOURI C, GUETTALA A, HOUARI H, ZENDAOUI A, « contribution à l'étude des performances rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçants (BAP) avec des fibres végétales (chanvre et Alfa), rencontre universitaire de génie civil, Bayonne, France, 2015.
- [71] A. S, El-Dieb, M.M.Redataha (2012). "Flow characteristics and acceptance criteria of fiber-reinforced self-compacted concrete (FR-SCC)" Construction and Building Materials 27: 585-596. Cité par BELKAIDI Ahmed Abderraouf.

- [72] M BEHIM, T ALI-BOUCETTA, W LAIFA, TURATSINZE A. Caractérisation d'un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène et Diss. Synthèse de l'université d'Annaba, Numéro 29, Octobre 2014.
- [73] LAIFA Walid. « contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de Diss sur les propriétés des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat en génie civil, université Badji Mokhtar Annaba, 2013.
- [74] OUCIEF Hocine, « les bétons autoplaçants a fibrage mixtes : leur réponse mécanique et bases de leur optimisation ». Thèse de doctorat d'état en génie civil, université Badji Mokhtar Annaba, 2006

CHAPITRE II

METHODE EXPERIMENTALES ET

CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX

CHAPITRE II

METHODE EXPERIMENTALES ET CARACTERISTIQUE DESMATERIAUX

Sommaire chapitre II

CHAPITRE II METHODE EXPRIMENTALES ET CARACTERISTIQUE DES MATERIAUX	
II.1. Introduction	46
II.2. Matériaux utilisés	46
II.2.1. Le ciment	46
II.2.2. Le sable	47
II.2.3. Graviers	47
II.2.4. Fillers calcaire	47
II.2.5. Adjuvant	47
II.2.6. Eau de gâchage	48
II.2.7. Les fibres	48
II.2.7.1. Fibres de polypropylènes	48
II.2.7.2. Fibres de palmiers dattiers	49
II.3.Méthodes expérimentales	50
II.3.1. Analyse granulométrique	50
II.3.2. Mesure de la masse volumique apparente	51
II.3.3. Mesure de la masse volumique absolue	52
II.3.4. La porosité	52
II.3.5. Module de finesse	53
II.3.6. Propreté de sable et du gravier	53
II.3.6.1. Propreté du sable (Essai d'équivalent de sable)	53
II.3.6.2. Propreté du gravier	54
II.3.6.3 Résistance des granulats	54
II.3.6.4. Essai Micro Deval	54
II.3.6.5. Essai de Los Angeles	55
II.3.7. Confection et conservation des éprouvettes	55
II.3.7.1. Séquences de malaxage des BAP et des BAPF	55
II.3.7.2. Conditions des conservations des éprouvettes	56
II.4. Caractérisation des BAP à l'état frais	57
II.4.1. Essai d'étalement	57
II.4.2. Essai de la boîte en L	58
II.4.3. Essai de stabilité au tamis	59
II.4.4. Densité (la masse volumique)	61
II.5. Caractérisation à l'état durcis	61
II.5.1. Essai de compression	61
II.5.2. Essai de traction par flexion	62
II.5.3. Essai de retrait	62
II.5.4. Absorption d'eau par capillarité	65
II.6. Conclusion	66

1. INTRODUCTION :

La partie bibliographie nous a permis d'étudier et de programmer notre mémoire sur des bases sur lesquelles on peut référer nos résultats.

Ce second chapitre sera destiné à la description et l'origine de chaque matériau sur le quelle s'appuient notre étude. Dans ce même chapitre nous allons aussi mettre en valeur les différents essais de caractérisations des matériaux pour la confection de notre béton auto-plaçant ainsi que les différents essais (à l'état frais et durci) sur le quelle il doit être contrôlés.

2. MATÉRIAUX UTILISÉS

2.1. Le ciment

Le ciment employé dans cette étude est un CEM II/A 42.5 N qui provient de la cimenterie de Hadjar-Soud, il répond à la norme Algérienne NA 442 (NA 442, 2005) [1]. Les différentes caractéristiques chimico-physiques et mécaniques du ciment utilisé sont données dans les tableaux (2.1 et 2.2) (cf. fiche technique Annexe A).

Tableau II.1 : Composition chimique du ciment et minéralogique du clinker en (%)

COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS	
C₃S	55 – 65	Clinker	≥ 74
C₂S	10 – 25	Gypse	4 – 6
C₃A	8 – 12	Calcaire	0
C₄AF	9 – 13	Laitier	≤ 20

Tableau II.2 : Caractéristique Physique de ciment CPJ-CMII/A42.

caractéristiques physiques	
Consistance normale, %	≥ 25
Début de prise, mn	≥ 60
Fin de prise, mn	150 – 250
Expansion a chaud, mm	≤ 10mm
Surface spécifique Blaine cm²/g	3300-4000

2.2. Le sable

Deux sables sont utilisés dans cette étude, le premier est un sable siliceux fin, provenant de la région Djamaa dont le module de finesse soit de **1.89**.

Le deuxième est un sable de carrière, résultant de concassage des roches de calcaire au même titre que les graviers, qui provient de la localité d'Enof el Ghedir (Skikda) caractérisé par un module de finesse de **2.91**.

2.3. Graviers :

Le gravier est un matériau inerte qui entre dans la composition du béton pour former le squelette granulaire. Dans notre étude, nous avons utilisées deux fractions de graviers de dimensions (**3/8 ; 8/16**) (mm) provenant de la région d'Enof Ghdir (Skikda).

2.4. Fillers calcaire

Le filler utilisé dans notre travail est un filler de calcaire composée essentiellement de calcite CaCO_3 avec une teneur supérieure à 70%. Après récupération et broyage des roches de calcaire à une finesse supérieure à celle du ciment. La composition chimique du filler calcaire est donnée dans le **Tableau II.3**.

Tableau II.3 : Composition chimique du filler calcaire selon le fabricant.

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Cl	K ₂ O	SO ₃	PAF
Teneur %	55	0.11	0.50	0.06	0.20	0.08	0.27	0.01	0.06	42.5

Les résultats obtenus après la caractérisation du filler calcaire sont réunis dans le **Tableau II.4**

Tableau II.4: Caractéristiques des fillers calcaires .

Caractéristiques	Unités	Calcaire
<i>Masse volumique apparente</i>	<i>kg/m³</i>	790
<i>Masse volumique absolue</i>	<i>g/cm³</i>	2.70
<i>Refus au tamis 0.08 mm</i>	<i>%</i>	4.3

2.5. Adjuvant

Dans notre sujet de recherche, nous avons utilisé un type d'adjuvants fabriqués par la société Algérienne SIKA .C'est un plastifiant réducteur d'eau sous l'appellation «

VISCCOCRETE 3045 », non chloré et prêt à l'emploi, à base de polycarboxylates modifiés, qui se présente sous la forme d'un liquide marron .il permet d'obtenir un long maintien de rhéologie (>1H30).

SIKA VISCCOCRETE 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. Les propriétés physiques et chimiques de l'adjuvant utilisé sont présentées dans **le Tableau II.5**.

Tableau .II.5: Propriétés physiques et chimiques du plastifiant, selon le fabricant

Etat physique	Liquide
Couleur	Marron /Vert
Densité	1.11±0.02
Ph	5±1
Teneur en ions Cl	≤0.1%
Teneur en ions Na2O	36.04±1.8%

2.6. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges des bétons est une eau potable du robinet, qui alimente le laboratoire de génie civil de l'université d'ANNABA.

2.7. Les fibres

2.7.1. Fibres de polypropylènes :

Les fibres de polypropylène ont été utilisées dans les formulations des BAPF avec une longueur de 1,2 cm et un dosage de 600 g/m³.

Les fibres de polypropylène sont directement ajoutées dans le béton, en maintenant le dosage des ingrédients.



Figure II.1 : Fibres de polypropylènes

Les caractéristiques techniques des fibres de polypropylène sont regroupées dans le **Tableau II.6** :

Tableau II.6. : Caractéristiques techniques des fibres de polypropylènes selon le fabricant.

Matériel	Polypropylène
Couleur	Blanc
Diamètre	25($\pm 10\%$) μm
Longueur	12(10%) mm
Densité	0.91g/cm ³
Point de fusion	160_170° C
Point d'ignition	570° C
Nombre de fibres par kg	120 $\times 10^6$

2.7.2. Fibres de palmiers dattiers :

Parmi les fibres végétales les plus abondantes, on peut citer les fibres de palmier dattier. Dans le sud Algérien, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques (DARI 1997) [2].

Nous avons utilisé les fibres de palmier dattier dans nôtres étude, dans l'avantage qu'ils sont naturellement tissés, elles sont formées par la superposition de trois plaques de treillis, Comme le montre la **Figure II.2**.

Les fibres sont donc retirées du tronc du palmier sous forme de plaque para-rectangulaire de longueur **300-500 (mm)** et de largeur **200-300 (mm)**. Ensuite elles seront traitées. Le traitement consiste à séparées les plaquettes de fibre en fibres (fils d'épaisseur environ **1mm**) ensuite elles seront coupées aux longueurs différentes **12, 20 et 30 (mm)**[3].



Figure II.2: Fibres découpées selon les longueurs désirées

Tableau II.7. : Caractéristiques physique de la fibre de palmier dattier.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Diamètre	Mm	1
Densité apparente	g/cm ³	0.58
Densité apparente	g/cm ³	1.1
Absorption d'eau après 10 mins sous l'eau pour fibres de 1,2cm.	%	80

3. METHODES EXPERIMENTALES

3.1. Analyse granulométrique

La **Figure II.3** présente les analyses granulométriques réalisées sur les graviers et les sables utilisés dans les formulations. L'essai, par voie sèche selon la norme NF P 18-560[4], et qui consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon.

On peut apercevoir sur la figure II.3 une évolution monotone croissante et continue, indiquant que les fractions utilisées se distinguent par une granularité homogène les prédestinant à l'utilisation à juste titre dans la composition des BAP.

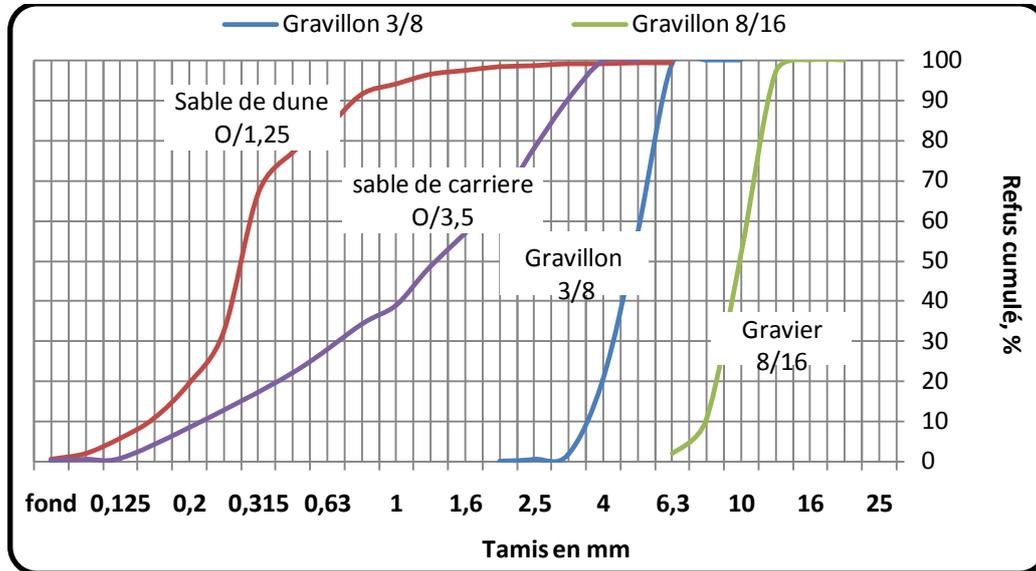


Figure. II.3 Courbes granulométriques des granulats.

3.2. Mesure de la masse volumique apparente

La masse volumique apparente est la masse d'un corps par unité de volume y compris les vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme (NF EN 1097-3)[5].

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. Cet essai est répété trois fois pour chaque matériau. La moyenne des essais constitue la masse volumique absolue. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

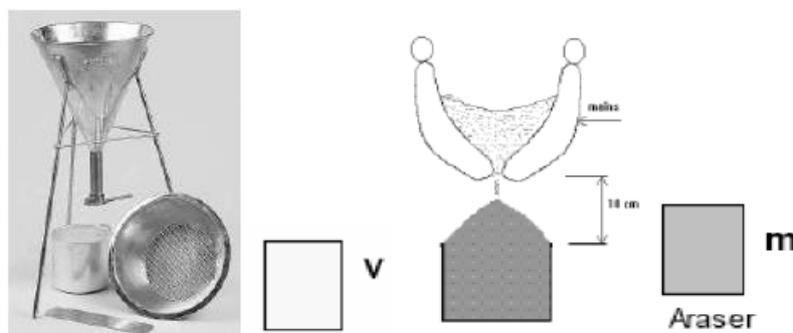


Figure. II.4: Détermination de la masse volumique apparente d'un matériau.

$$\rho_{\text{app}} = \frac{M}{V} \text{g/cm}^3 \dots\dots\dots(1)$$

M_s : la masse du de l'échantillon sec.
 V : le volume apparent.

3.3. Mesure de la masse volumique absolue

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau. La différence de volume rapporté à la masse de matériau nous donne la masse volumique absolue. Cet essai est réalisé selon la norme(NF EN 1097-3)[5]. Cet essai est répété trois fois pour chaque matériau. La moyenne des essais constitue la masse volumique absolue.

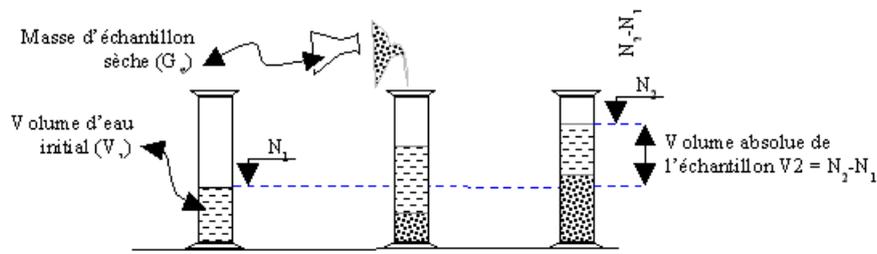


Figure. II.5: Détermination de la masse volumique absolue d'un matériau.

$$\rho_{\text{Abs}} = \frac{M_s}{V_{\text{abs}}} \dots\dots\dots(2)$$

M_s : la masse du de l'échantillon sec
 V : le volume absolue que est égale a $N_2 - N_1$

3.4. La porosité

A partir de la masse volumique absolue on déduit la porosité qui a été défini par la formule suivante :

$$P = \left(1 - \frac{\rho_{\text{app}}}{\rho_{\text{abs}}}\right) \times 100 \dots\dots\dots(3)$$

P : la porosité.
 ρ_{abs} : masse volumique absolue.
 ρ_{app} : masse volumique apparente.

3.5. Module de finesse

La norme **XP P 18-540** [6] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le 1/100ème de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : (5, 2.5, 1.25, 0.63, 0.315, 0.16) mm.

3.6. Propreté de sable et du gravier

3.6.1. Propreté du sable (Essai d'équivalent de sable)

Le degré de propreté du sable est fourni par l'essai d'équivalent de sable selon la norme P 18-597[7]. L'essai est effectué sur la fraction 0/5 mm du matériau à étudier. On lave l'échantillon selon un processus normalisé, et on laisse reposer le tout. Au bout de 20 minutes, on mesure les éléments suivants :

- Hauteur h_1 : sable propre + éléments fins.
- Hauteur h_2 : sable propre seulement.

Cet essai est répété trois fois. La moyenne des essais constitue la valeur d'équivalent de sable.

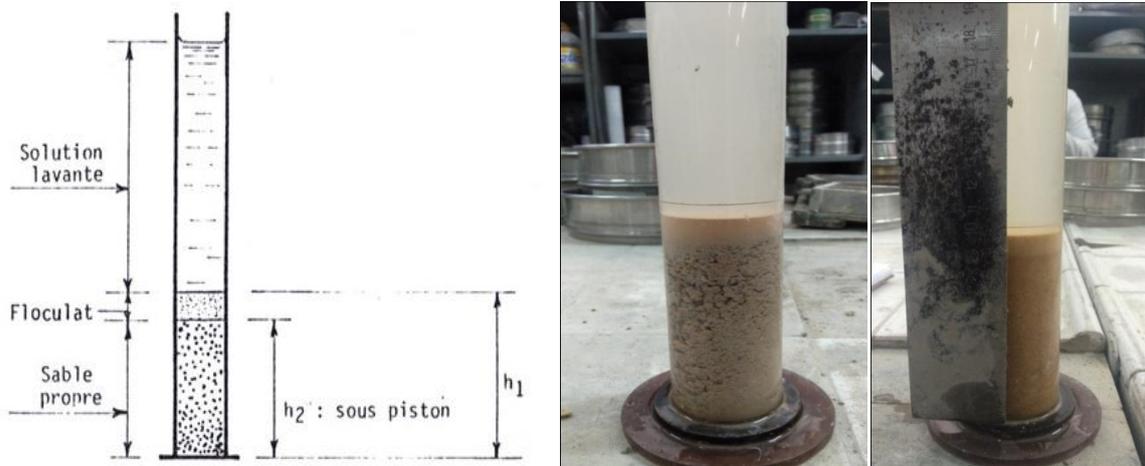


Figure II.6.Essais de l'équivalent de sable.

On déduit l'équivalent de sable (ES) qui, par convention :

$$ES = \frac{h_1}{h_2} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

3.6.2. Propreté du gravier

A l'instar de ce qui se pratique pour les sables, les graviers doivent être propres avant leur utilisation dans la fabrication des bétons.

- **Principe**

Contrairement aux sables, les graviers présentant des classes granulaires relativement grossières. Ainsi, le principe de séparation des agrégats des éléments fins ne se fera pas par sédimentation mais par lavage

- **Matériel utilisé**

- Tamis de maille 0.5 mm
- un sceau d'eau

- **Mode opératoire**

- Peser un kg de gravier soit M_0 et le placer dans le tamis,
- Laver l'échantillon jusqu'à ce que l'eau qui traverse la tamis soit claire, Matériel utilisé. Tamis de maille 0.5 mm et un sceau d'eau.
- Essuyer l'excès d'eau à l'aide d'un chiffon et peser la nouvelle masse, soit M_1
- Calculer la propreté : $P (\%) = \frac{M_0 - M_1}{M_0} * 100$. Le gravier est propre si P (quantité d'éléments fins) $\leq 5\%$.

3.6.3. Résistance des granulats

Lors de la fabrication de béton, le malaxage est la source de frottement intense entre les grains, si les granulats ne sont pas assez résistants, ils peuvent se casser en produisant des sables ou des éléments fins [8]. Pour connaître la résistance des granulats, les deux essais suivants sont réalisés

3.6.4. Essai Micro Deval

L'objectif de cet essai est de déterminer la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme (P18-572)[9] permet de déterminer le coefficient de Micro Deval.

$$C_{MD} = 100 \times \frac{m}{M} \dots\dots\dots (5)$$

M : masse de l'échantillon 500 ou 10.000 g selon la classe choisie,
m : masse du tamisât au tamis de 1,6 mm

3.6.5. Essai de Los Angeles:

Décrit par la norme (P18-573)[10], l'essai LOS ANGELES permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottements réciproques des éléments d'un granulat. Ce mode opératoire s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des chaussées et bétons hydrauliques.

$$LA = 100 \times \frac{m}{500} \dots \dots \dots (6)$$

m : Tamisât au tamis 1.6 mm, (m=M-m')

M : Masse sèche de l'échantillon

m' : refus au tamis 1.6mm

Tableau II.8 : Caractéristiques des matériaux.

Caractéristique	Unité	sable siliceux	Sable de carrière	Gravier 3 / 8	Gravier 8 / 16
ρ_{app}	g /cm ³	1.62	1.60	1.54	1.59
ρ_{abs}	g /cm ³	2.59	2.79	2.70	2.68
Porosité	%	38	43	43	41
M_f	%	2.91	1.89	/	/
Equivalent de sable	%	89.7	88	/	/
Los Angeles	%	/	/	22	22
Micro Deval	%	/	/	9.29	9.29

3.7. Confection et conservation des éprouvettes :

3.7.1. Séquences de malaxage des BAP et des BAPF :

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant, le mode opératoire et la préparation de notre béton autoplaçant et du béton autoplaçant fibré sera comme suit :

- Vérifier en premier le nombre et l'état des moules cubique /prismatique nécessaires pour les essais. Ces derniers doivent être graissés à l'aide d'une huile pour faciliter le décoffrage **Figure II.7**
- la bétonnière doit être pré mouillée pour limiter une absorption supplémentaire de l'eau de gâchage par les parois de la bétonnière.

- Les fibres sont initialement imbibées dans l'eau durant 10 min, avant le malaxage des bétons (cas de BAPF). Ce prémouillage est nécessaire pour réduire les migrations d'eau de la pâte de ciment vers les fibres.
- Introduction des différentes fractions granulaires dans la bétonnière, dans l'ordre décroissant, suivie de l'ajout des fines (ciment et addition). Nous avons mélangé les fibres avec une quantité de fines)
- Mettre la bétonnière en marche pour homogénéiser le mélange à sec pendant 60 secondes.
- Laisser le malaxeur en marche : Introduction 75% d'eau et malaxage pendant 2 minutes.
- Arrêt du malaxage durant 30 secondes et procédé au raclage de la cuve et des palettes afin de ramener le mortier collé, dans la masse du béton.
- Introduction de 25% d'eau restante, dont laquelle la totalité du volume du super plastifiant est diluée. Suivi ensuite de malaxage pendant 3 minutes. La durée totale du malaxage soit de 6 minutes. Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration.



Figure. II.7 : Préparation des moules pour la confection de BAP et BAPF.

3.7.2. Conditions des conservations des éprouvettes (Figure II.8)

Après la fabrication des d'éprouvettes, les moules sont conservés dans une pièce à température ambiante, et démoulés après 24h. Une fois démoulées, les éprouvettes sont conservées jusqu'au moment de l'essai comme suit :

Une série d'éprouvettes a été immergée sous l'eau dans un bac au laboratoire et conservée sur des échéances de **2, 7 et 28 jours**, pour les essais de caractérisation mécanique ainsi que pour contrôler les propriétés de transfert des BAP et BAP fibré.



Figure. II.8 : Conservation des éprouvettes pour les essais mécaniques.

4. CARACTERISATION DES BAP A L'ETAT FRAIS

Trois essais spécifiques ont été élaborés dans notre étude permettant de caractériser les BAP et les BAPF à l'état frais avant d'accepter une composition comme étant celle d'un BAP. On présentera les essais qui ont été utilisés dans cette étude : essai d'étalement (Cône d'Abrams, SF), la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis, SR) et le taux de remplissage (la boîte en L, PL)

4.1. Essai d'étalement (Figure. II.9)

La fluidité des BAP en milieu non confiné est caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essais d'étalement) décrit dans la norme **EN 12350-8**[11].

- **Matériel nécessaire**

- Une plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de côté.
- Cône d'Abrams disposant d'un empattement à sa base afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur.
- Mètre ou règle de 90 cm ou plus.

- **Mode opératoire**

- Placer la plaque sur une surface horizontale plane.
- Humidifier la surface de la plaque

- Placer le cône au centre de la plaque et équiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir.
- Remplir le cône en une seule fois sans le soumettre à aucune agitation ou aucun compactage mécanique.
- Retirer l'entonnoir, rasoir si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.
- Soulever le cône verticalement sans faire obstacle à l'écoulement du béton.

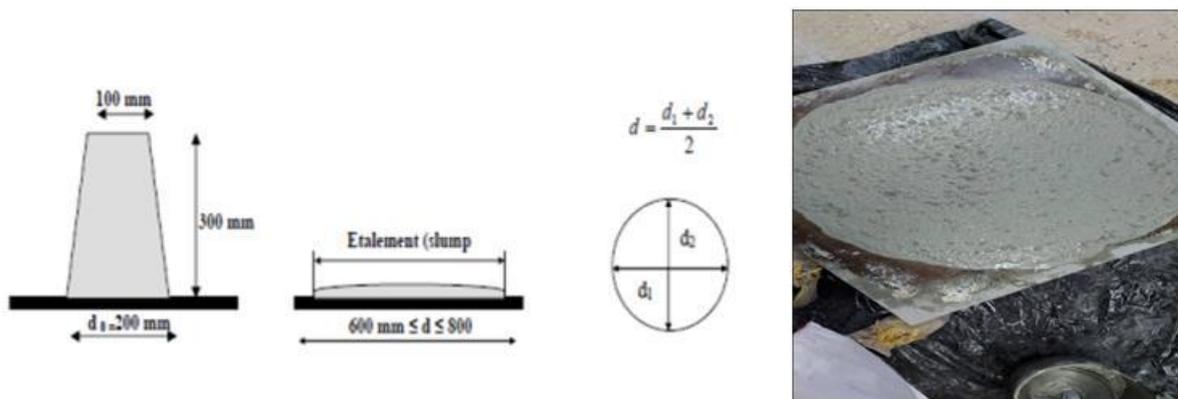


Figure. II.9 : Essai d'étalement au cône d'Abrams.

- Une fois que l'écoulement du béton est stabilisé mesurer le plus grande diamètre d'étalement sur deux cotés perpendiculaires (d_1 , d_2).
- Calculer le diamètre moyenne d'étalement : $D_{moy} = (d_1 + d_2) / 2$.

Tableau. II.9 : Classes d'étalement.

Essais	étalement au cône d'Abrams
Classes	$55 \leq SF1 \leq 65 \text{ cm}$
	$65 \leq SF \leq 75 \text{ cm}$
	$75 \leq SF3 \leq 85 \text{ cm}$

4.2. Essai de la boîte en L (Figure. II.10)

La mobilité du BAP en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armée, sont mesurées avec l'essai de la boîte en L, décrit dans la norme **NF EN 12350-10**[12]

- **Matériel nécessaire**
 - Boîte en forme de L.
 - Règle d'arasement.

- Règle pour mesurer.
- **Mode opératoire**
- Placer la boîte en L sur une surface plane.
- Nettoyer la boîte en L et l'humidifier immédiatement avant d'effectuer l'essai.
- Fermer la trappe.
- La partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres), sans aucune agitation ou aucun compactage mécanique.
- Araser le sommet de la boîte à l'aide de la règle d'arasement.
- Laisser le béton reposer pendant (60 ± 10) s.
- Ouvrir complètement la trappe.
- Une fois l'écoulement achevé mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1.

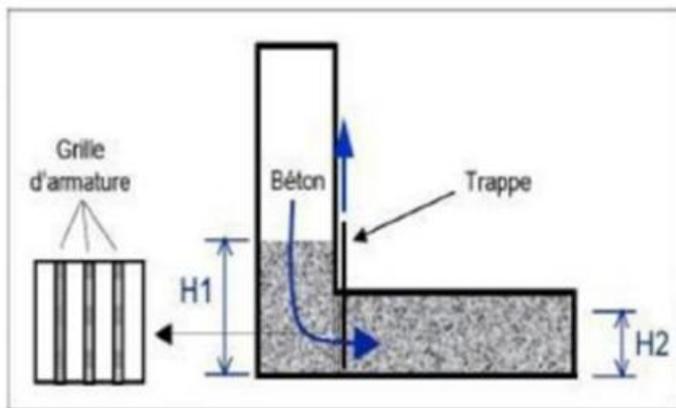


Figure. II.10:Essai de Boîte en L.

Les valeurs préconisées par la norme **NF EN 12350-10** sont données au tableau II.10

Tableau. II.10 :Classes de capacité de remplissages.

Essais	Boîte en L
Classes	PL1 ≤ 0.8 à 2 barres
	PL2 ≤ 0.8 à 3 barres

4.3. Essai de stabilité au tamis (Figure. II.11)

C'est essai permet d'évaluer le risque de ségrégation et d'étudier le ressuage du BAP, qui doit être stable et conserver une composition homogène sous l'effet de la gravité, décrit dans la norme **NF EN 12350-11**[13].

- **Matériel nécessaire**

- Seau + couvercle.
- Tamis 5 mm diamètre + fond du tamis.
- Balance.

- **Mode opératoire**

- Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau (Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement < 30s).
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 mn. Peser le fond et le tamis vides, après peser le fond seul.
- Poser tamis+fond sur la balance et faire la tare.
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
- Noter le poids réel lu de l'échantillon.
- Attendre 2 mn.
- Faire la tare. et Peser le fond avec la laitance.

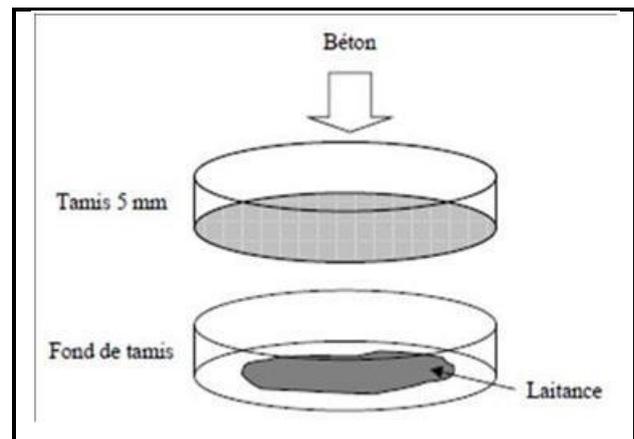


Figure. II.11 : Essai de stabilité au tamis exécutés au laboratoire.

Le pourcentage de la laitance : $\frac{M_{ps}-M_p}{M_c} \times 100 \dots \dots \dots (7)$

M_{ps} : la masse du fond de tamis plus la laitance écoulée, en gramme.

M_p : la masse du fond de tamis, en gramme.

M_c : la masse initiale du béton placé sur le tamis, en gramme.

Les valeurs préconisées par la norme **NF EN 12350-13** sont données au tableau II.11

Tableau. II.11 : Classes de stabilité de tamis.

Essais	Stabilité au tamis
Classes	$SR1 \leq 20 \%$ $SR2 \leq 15 \%$

4.4. Masse volumique

La masse volumique est une grandeur qui caractérise le poids d'un matériau par unité de volume. Elle est exprimée en kilogramme par mètre cube (**kg/m³**), décrit dans la norme **NF EN 12 350-6**[14]. Après le malaxage et les essais principaux des BAP à l'état frais on mesure la masse volumique.

- **Matériel nécessaire**

- Des éprouvettes
- Balance

- **Mode opératoire**

- Nettoyage et lubrification les éprouvettes.
- Peser les éprouvettes vide m vide.
- Remplir les éprouvettes avec le béton et peser m rempli

- Calculer la masse volumique ρ : $\rho_{app} = \frac{M_r - M_v}{v}$ (**kg/m³**).....(8)

M_r : la masse du récipient rempli de matériau en kg

M_v : la masse du récipient vide en kg.

V : volume du récipient en m³

5. Caractérisation à l'état durcis

5.1. Essai de compression (Figure II.12)

Les échantillons utilisés pour déterminer la résistance mécanique en compression du béton étudié sont des éprouvettes cubiques de dimensions (10x10x10) cm à l'aide d'une presse hydraulique de capacité maximale de 2000 KN aux échéances de **,2, 7,et 28 jours**.

La résistance en compression a été évaluée suivant la norme **NF EN 12390-3** [15].



Figure II.12 : Essai de compression.

5.2. Essai de traction par flexion (Figure. II.13)

Cet essai a pour but de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton. L'essai consiste à écraser des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse de capacité maximale de 150 KN aux échéances de **2, 7, et 28 jours**. La résistance en traction a été évaluée suivant la norme **NF EN 12390-5**. [16]

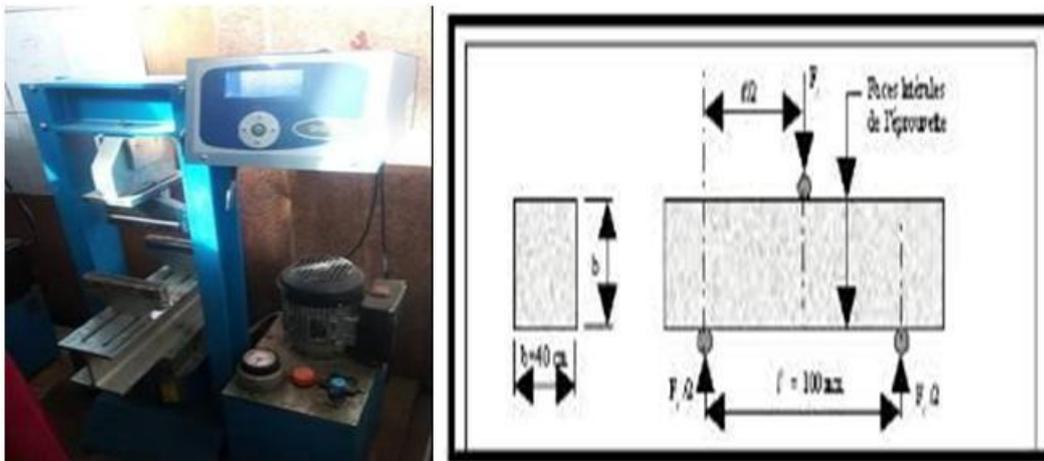


Figure. II.13: Essai de traction par flexion.

5.3. Essai de retrait

Les formulations conçues pour l'essai de retrait ont été effectuées dans la même journée afin de garder les mêmes conditions climatiques des éprouvettes.

L'essai du retrait s'effectue sur éprouvette prismatique, de dimensions (7x7x28) cm. Les éprouvettes sont démoulées 24 heures après le coulage et sont conservées dans une armoire isolée, permettant le maintien de la température entre (21 à 26 °C) et l'humidité entre (50 à 69%) (**Figure II.14**).

L'armoire est munie d'un comparateur pour prélever quotidiennement les valeurs de l'humidité, alors que le maintien de la température est garanti grâce à un mini climatiseur.

Nous avons exécuté 3 éprouvettes par échéances retrait: 1jour, 2jours, 3 jours 7jours, 14 jours, 28jours et 50 jours.



Figure. II.14. Conservations des éprouvettes pour essais de retrait.

Les éprouvettes sont équipées de plots métalliques à chaque extrémité. L'éprouvette est placée verticalement entre une bille métallique et un capteur, qui permet le suivi de sa longueur (**Figure. II.15**) et (**Figure. II.16**). Les mesures se font pendant les 28 jours [17]. Il est décrit dans la norme **NF P 15-433** [18]



Figure. II.15 : Essai de retrait réalisé au laboratoire.

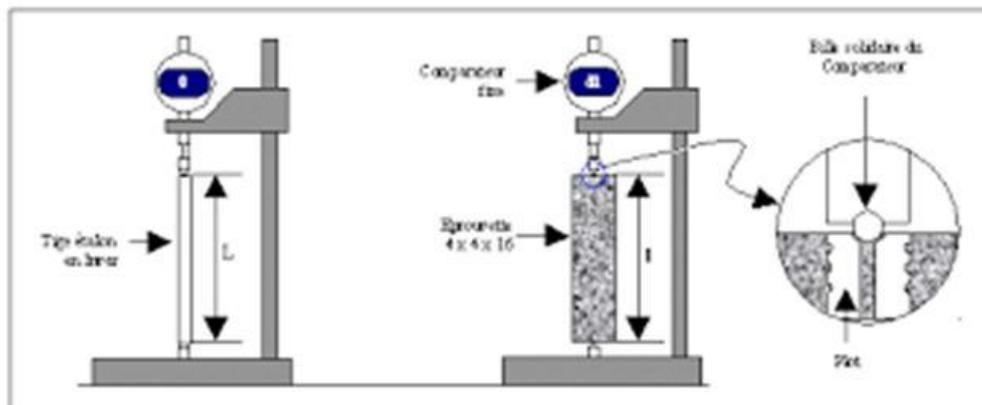


Figure. II.16 : schémas descriptif de l'essai de retrait.

- **Matériel nécessaire**
 - Des éprouvettes
 - un refractomètre de mesure
- **Mode opératoire**

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur $L = 280$ mm. Soit $dl(t)$ la valeur lue sur le comparateur au temps t ; l'éprouvette a une longueur au temps considéré :

$$l = L + dl(t) \dots \dots \dots (9)$$

Soit $l(t_0)$ la longueur de l'éprouvette au temps t_0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \dots \dots \dots (10)$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \dots \dots \dots (11)$$

$\Delta l(t)$ est obtenu en faisant la moyenne sur les 3 éprouvettes issues du même moule. Lorsque les éprouvettes sont conservées dans l'air, $\Delta l(t)$ est généralement négatif et l'on parle alors de retrait de l'éprouvette. Lorsque l'éprouvette est conservée dans l'eau, $\Delta l(t)$ peut être positif: il y a alors gonflement.

5.4. Absorption d'eau par capillarité

L'essai a été réalisé suivant la recommandation de l'AFPC-AFREM [19] sur des échantillons de BAP et BAP fibrés de forme cylindrique et de dimensions (11x5) après une cure humide de 28 jours. Il consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C.

L'essai nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire.

La procédure de pré-conditionnement des échantillons est la suivante :

- Les échantillons sont séchés dans une étuve ventilée à $80 \pm 2^\circ\text{C}$, jusqu'à ce que la variation de masse entre deux pesées espacées de 24 heures soit inférieure à 0,1%.
- La surface latérale des disques, celle-ci a été préalablement recouverte d'une feuille
- D'aluminium auto - collant.
- Les échantillons sont placés sur des supports espacés les uns des autres et
- Immergées sous l'eau sur une hauteur de **3 mm**. Des trous à la hauteur d'immersion ont été afin de réguler le niveau d'eau.
- La masse d'eau absorbée est déterminée par pesées successives des éprouvettes aux échéances de 0, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h et 24h. Avant chaque pesée, la face de

l'échantillon en contact avec l'eau est essuyée avec un papier absorbant afin d'éliminer la pellicule d'eau superficielle.

On peut déterminer le coefficient d'absorption capillaire pour chaque échéance t par l'équation suivante :

$$C_{at} = \frac{M_t - M_0}{A} (\text{kg/m}^2) \dots \dots \dots (12)$$

C_{at} : Coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m^2).

M_t : Masse de l'éprouvette à une échéance donnée (kg).

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

A : la section de l'éprouvette au contact de l'eau (m^2).

L'absorptivité est définie par la vitesse d'absorption par remontée, elle est obtenue par une régression linéaire de l'ensemble des mesures qui se trouvent dans un domaine d'évolution linéaire du coefficient d'absorption C_{at} , généralement entre 1 et 8 heures :

$$C_a = C_{a8} - \frac{C_{a1}}{\sqrt{8}} \dots \dots \dots (13)$$

C_a : est l'absorptivité ($\text{Kg/m}^2/\text{h}^{1/2}$).

C_{a8} et C_{a1} : sont respectivement le coefficient d'absorption à 8 et 1 heures.



Figure II.17 : Essai d'absorption par capillarité.

6. CONCLUSION

A travers ce chapitre nous avons présenté les matériaux utilisés dans notre étude et leurs caractéristiques. Pour cela on s'appuie sur un ensemble d'essais qui décrivent les caractéristiques des différents constituants utilisés pour la formulation de nos BAP avec et sans fibres (ciment, additions minérales, granulats, adjuvants, eau et fibres). Nous présenterons ensuite les méthodes expérimentales qui permettent de caractériser les bétons autoplacants et leurs particularités de point de vue propriétés à l'état frais et durci.

Le chapitre suivant, permet de mettre en évidence les différentes compositions des BAP, la méthode de formulation ainsi que les corrections apportées pour satisfaire les paramètres d'autoplaçance.

REFERENCES DU CHAPITRE II

- [1] NA 442, 05, « ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».2005.
- [2] DARI, K. analyse des systèmes agronomiques dans les oasis algériennes, étude technico-économique. Département agronomie, université d’Ouargla, 1997.
- [3] TIOUA, T. Contribution à l’étude des bétons autoplaçant renforcés de fibres végétales en environnement chaud et sec présentée en vue de l’obtention du diplôme de doctorat 3ème cycle, université kasdi Merbah – Ouargla.
- [4] NF P 18-560, « granulats - analyse granulométrique par tamisage -, septembre 1990.
- [5] NF EN 1097-3, essais de détermination des masses volumiques apparentes et absolues des granulats. Aout 1998.
- [6] XP P 18-540, « Granulats - Définitions, conformité, spécifications. », Octobre 1997
- [7] P 18-597, « Granulats - Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines, Décembre 1990.
- [8] BELKAIDI Ahmed Abderraouf. Contribution à l’étude de la durabilité et les performances des bétons autoplaçants (fibres végétales, milieu agressif, formulation, modélisation). Thèse de doctorat en génie civil, 2018.
- [9] P 18-572, « Granulats-Essai d’usure micro- DEVAL – GRANULATE. MICRO-DEVAL VERSCHLEISSPRUFUNG », Décembre 1990.
- [10] P 18-573, « Granulats- Essai de Los Angeles- GRANULATE. LOS ANGELES PRUEFUNG », Décembre 1990.
- [11] NF EN 12350-8. Essai pour béton frais, partie 8 : béton autoplaçant, essai d’étalement au cône d’Abrams, juin 2010.
- [12] NF EN 12350-10. Essai pour béton frais, partie 10 : béton autoplaçant-essai à la boîte en l, juin 2010.
- [13] NF EN 12350-11. Essai pour béton frais, partie 11 : béton autoplaçant-essai de stabilité au tamis, juin 2010.
- [14] NF EN 12 350-6. Essai pour béton frais partie 6 : masse volumique, décembre 1999.
- [15] NF EN 12390-3. Essais pour béton durci - partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes, 2012.
- [16] NF EN 12390-5. Essais pour béton durci - partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvettes, 2012.
- [17] https://www.memoireonline.com/05/18/10219/m_Formulation-et-performances-d-un-beton-autoplaant-incorporant-des-granulats-en-caoutchouc21.html.
- [18] NF P15-433 Février 1994 Méthodes d'essais des ciments - Détermination du retrait et du gonflement.
- [19] L’AFPC AFREM, « durabilité des bétons », 1997.

CHAPITRE III
FORMULATION DES BETON AUTOPLACONT ET
BETONAUTOPLACONT FIBRES

CHAPITRE III
FORMULATION DES BETONS AUTOPLACONT ET
BETONSAUTOPLACONT FIBRES

Sommaire chapitre III

CHAPITRE III FORMULATION DES BETON AUTOPLACONT ET BETONAUTOPLACONT FIBRES	
III.1. INTRODUCTION	70
III.2. FORMULATION DES BAP PAR LA METHODE JAPONAISE	70
III.3. FORMULATION DU BAP TEMOIN	71
III.3.1. Valeurs cibles	71
III.4. FORMULATION DES BAP FIBRES	74
III.4.1. Formulation des BAP avec ajout de fibres de polypropylène	74
III.4.2. Formulation des BAP avec ajout de fibres de palmier Dattier	76
III.5. Conclusion	80

1. INTRODUCTION

Après avoir caractérisé et déterminé l'origine et la caractérisation de nos matériaux de notre mémoire dans le chapitre précédent, le présent chapitre se consacre pour l'exécution et le choix des formulations qui garantit les critères d'autoplaçance.

Ce chapitre est partagé en deux parties :

La première partie est consacrée à la formulation des bétons autoplaçants d'étude (témoin) et la seconde concerne la formulation des bétons autoplaçant avec introduction des fibres de polypropylène comme fibrage témoin et les fibres de palmier dattier comme fibrage d'étude, en utilisant la méthode Japonaise avec un rapport G/S = 1.4 et $D_{max} = 16$ mm.

2. FORMULATION DES BAP PAR LA METHODE JAPONAISE

La méthode de formulation des bétons autoplaçants est la suivante :

- **La teneur volumique en gravillons** : est fixée à 50% du volume de solide, ce pourcentage permet de prévenir le risque de blocage si le mortier est correctement formulé.
- **le volume de sable** : est fixé à 40% du volume total du mortier, Pour assurer une bonne ouvrabilité
- **Optimisation de la pâte** : l'estimation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40%.
- **Dosage du liant** : La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m³. Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance.
- **Dosage de l'eau et du super plastifiant** : Les dosages en eau et en superplastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur béton, dont le volume de sable est fixé à 40 %.
- **Données fixées pour la formulation des BAP:**
 - Un dosage en ciment de l'ordre de 350 kg/m³
 - Un rapport $(E/C+F) = 0,35$; [1]
 - Un rapport $(F/C+F) = 0,33$; [1]
 - Une dimension maximale des gros granulats de l'ordre de 16 mm
 - Un rapport G/S de 1,4.

3. FORMULATION DU BAP TEMOIN

3.1. Valeurs cibles

- **A l'état frais :**
 - Nous voulons atteindre un BAP avec un étalement qui varie entre 66 et 75 cm
 - Un taux de remplissage à la boîte en L $\geq 0,8$
 - Une stabilité au tamis ($\leq 20\%$)
- **A l'état durci :**
 - Résistance mécanique en compression égale ou supérieur à 30 MPa, dans le cas de

BAPT et le BAPF ;

Le **Tableau III.1.** Démontre tous les formulations exécutées de notre béton témoin, nous avons visé des objectifs pour le choix de notre BAP de référence.

Les objectifs visés dans ce travail sont :

Tableau III.1. Quelques formulations testées sur BAP témoin.

Constituants	Ciment	Eau	Sable dune	Sable carrière	Gravillon	Gravier	Fillers calcaire	SP	Etalement
Formulations	kg/m ³							(%)	(mm)
1	350	182	384	278	440	430	172	1	620
Changement de séquence de malaxage									
2	350	182	384	278	440	430	172	1	710 Ségrégation
3	350	182	384	278	440	430	140	1	725 Ségrégation
4	350	183	384	278	440	430	200	0.95	695 Ségrégation
5	350	180	384	278	440	430	200	0.95	750 Ségrégation
6	350	180	384	278	440	430	220	0.91	510
7	350	180	384	278	440	430	220	0.99	735
8	350	190	384	278	440	430	220	0.95	795 ségrégaions
9*	350	182	384	278	440	430	240	0.95	720
10	350	182	384	278	440	430	300	0.95	470

* Formulation retenue pour la suite du travail



Figure III.1 : Etalement des formulations avec ségrégation BAP non valide.

La **figure III.1** montre un état de ségrégation caractérisé par un amoncellement de gros granulats au milieu de la galette et présence de ressuage en bordure

Tableau III.2. Formulation n°07 du BAP témoin non retenue.

Constituent	G/S= 1,6 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Etalement (mm)	T 500 (sec)	Boîte en L	Stabilité au tamis (%)
	Massique	Volumique					
	Kg/m ³	Litre					
Ciment	350	116.27		735	<u>1.8</u>	1.00	<u>28.00</u>
Fillers	220	81.48					
Eau	180	180					
Sable siliceux	384	150					
Sable de carrière	278	103.34					
Gravier (3/8)	440	162.96					
Gravier (8/16)	430	160.44					
Plastifiant	5.643	5.08					
Total	2288	960					

La figure III.2 montre l'essai de stabilité au tamis.



Figure III.2 : stabilité de tamis de la formulation N°07.

Cette formulation a donnée une bonne galette sans aucun signe de ségrégation ni de ressuage, une bonne stabilité et une vitesse d'écoulement correspondant a la première classe de viscosité apparente ($VS1 < 2$ secondes) de BAP Figure III.2.

Tableau III. 3: Formulation N°09 du BAP témoin de référence retenue.

Constituants	G/S= 1,6 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Étalement (mm)	T 500 (sec)	Boite en L	Stabilité au tamis (%)					
	Massique	Volumique										
	Kg/m ³	Litre										
Ciment	350	116.27										
Fillers	240	88.88										
Eau	182	182										
Sable siliceux (0 /1,25)	384	150										
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34										
Gravier (3/8)	440	162.96										
Gravier (8/16)	430	160.44										
Plastifiant	5.605	5.04										
Total	2397	969		720	2.00	0.95	15.80					

Nous avons choisi cette formulation de béton témoin car elle répond à tous les critères demandés (**Figure III.3**).



Figure III.3 : étalement d'une des formulations de référence.

4. FORMULATION DES BAP FIBRES

- Désignation des BAP

Les désignations des BAP sont données dans le tableau III.4

Tableau.III.4. : appellation des compositions utilisés dans cette études :

Type des bétons	BAP avec ajouts
BAP PP	Béton autoplaçant avec ajouts de polypropylène
BAP PD12	Béton autoplaçant avec ajouts de palmier dattier 12 mm
BAP PD20	Béton autoplaçant avec ajouts de palmier dattier 20 mm
BAP PD30	Béton autoplaçant avec ajouts de palmier dattier 30 mm

4.1. Formulation des BAP avec ajout de fibres de polypropylène

Le **Tableau.III.6** représente les différentes formulations des BAP renforcés de fibres de polypropylène, avec un dosage de fibre de 600 (g/m³), et de longueur de 12 (mm) (Dosage et longueur recommandés par le fournisseur).

Tableau.III.5. Résumé de quelques formulations du BAP PP exécutées.

Constituants Formulations	Ciment (Kg/m ³)	Eau (Kg/m ³)	Sable dune (Kg/m ³)	Sable carrière (Kg/m ³)	Gravillon (Kg/m ³)	Gravier (Kg/m ³)	Fillers calcaire (Kg/m ³)	polypropylène (kg/m ³)	SP, (%)	Étalement (mm)
	Formulation 1	350	182	384	278	440	430	240	0.6	0.95
Formulation 2	350	182	384	278	440	430	240	0.6	1	580
Formulation 3	350	182	384	278	440	430	240	0.6	1.3	620
Formulation 4	350	182	384	278	440	430	240	0.6	2	665
Formulation 5	350	210	384	278	440	430	240	0.6	2	760 ressuage
Formulation 6*	350	182	384	278	440	430	240	0.6	2.2	755

* Formulation retenue pour la suite du travail

Tableau III.6. Formulation N°04 du BAP PP non retenue.

Constituants	G/S= 1,4 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Étalement (mm)	T500 (sec)	Boîte en L	Stabilité au tamis (%)				
	Massique	Volumique									
	Kg/m ³	Litre									
Ciment	350	116.27						665	3.50	0.74	10
Fillers	240	88.88									
Eau	182	182									
Sable siliceux (0 /1,25)	384	150									
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34									
Gravier (3/8)	440	162.96									
Gravier (8/16)	430	160.44									
Polypropylène	0.6	0.65									
Plastifiant	11.8	10.63									
Total	2317	975									

**Figure III.4 :** étalement de formulations N° 04 non acceptables

La **Figure. III.4** montre que cette formulation Nous a donner une galette uniforme sans ressuage ni ségrégation, par contre nous avons, rencontré un problème de blocage au niveau de la boîte en L.

A cause de ce blocage nous avons opté pour la dernière formulation pour garder les bons critères d'autoplaçance.

Tableau III.7. Formulation n°04 du BAP PP retenue.

Constituants	G/S= 1,4 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Étalement (mm)	T 500 (sec)	Boîte en L	Stabilité au tamis (%)				
	Massique	Volumique									
	Kg/m ³	Litre									
Ciment	350	116.27						755	2.00	0.88	15.00
Fillers	240	88.88									
Eau	182	182									
Sable siliceux (0 /1,25)	384	150									
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34									
Gravier (3/8)	440	162.96									
Gravier (8/16)	430	160.44									
Polypropylène	0.6	0.65									
Plastifiant	12.98	11.69									
Total	2318	976									

**Figure III.5 :** étalement d'une des formulations BAP PP

4.2. Formulation des BAP avec ajout de fibres de palmier Dattier

- **Calcul du dosage de fibres**

Dans le but de garder les mêmes taux volumiques de fibrage et vu les différences des masses volumiques des fibres de polypropylène et de Palmier Dattier, le dosage massique de la fibre de Palmier Dattier dans les BAP a été majoré par un coefficient (K) qui est égal au rapport des masses volumiques des deux types de fibres [2].

- Coefficient correcteur du dosage de la fibre de Palmier dattier :

$$K = \frac{\rho_{PD}}{\rho_{PP}} \dots \dots \dots (1)$$

K: coefficient correcteur

ρ_{PD} : densité de la fibre de palmier dattier en (g/cm³).

ρ_{PP} : densité de la fibre de polypropylène en (g/cm³).

Le dosage massique des fibres de palmier dattier est déterminé par la relation suivante

$$M_{PD} = K.M_{PP} \dots \dots \dots (2)$$

M_{PD} : dosage massique des fibres de palmier Dattier en (kg)

M_{PP} : dosage massique des fibres de polypropylène en (kg)

Les différentes formulations des BAP renforcés de fibres de palmiers dattier de longueur de **12 (mm)** avec un dosage volumique équivalent à celui des fibres de polypropylène sont présentées au **Tableau.III.9**.

Tableau.III.8. Résumé de quelques formulations du **BAP PD12** exécutées.

Constituants	Ciment (Kg/m ³)	Eau (Kg/m ³)	Sable dune (Kg/m ³)	Sable carrière (Kg/m ³)	Gravillon (Kg/m ³)	Gravier (Kg/m ³)	Fillers calcaire (Kg/m ³)	Palmier dattier (kg/m ³)	super plastifiant (%)	Etalement (mm)
Formulation 1	350	182	384	278	440	430	240	0.9	0.98	555
Formulation 2	350	182	384	278	440	430	240	0.9	1	560
Formulation 3	350	182	384	278	440	430	240	0.9	1.8	650
Formulation 4	350	182	384	278	440	430	240	0.9	1.9	660
Formulation 5	350	182	384	278	440	430	240	0.9	2	675
Formulation 6*	350	182	384	278	440	430	240	0.9	2.1	695

* Formulation retenues pour la suite du travail

Tableau III.9. Formulation N°06 du BAP PD12 retenue.

Constituants	G/S= 1,4 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Etalement (mm)	T 500, (sec)	Boite en L	Stabilité au tamis (%)
	Massique	Volumique					
	Kg/m ³	Litre					
Ciment	350	116.27		695	2.50	0.80	13.23
Fillers	240	88.88					
Eau	182	182					
Sable siliceux (0/1,25)	384	150					
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34					
Gravier (3/8)	440	162.96					
Gravier (8/16)	430	160.44					
Palmier dattier	0.9	0.65					
Plastifiant	11.8	10.63					
Total	2317	975					

Nous avons opté pour cette dernière formulation N° 06 pour le blocage que nous avons rencontré au niveau de la boite en L des autres formulations.

**Figur III.6.** Etalement d'un BAP PD 12(mm) retenue.

Le présent **Tableau.III.11** présente les différentes formulations des BAP renforcés de fibres de palmiers dattier de longueur de **20 (mm)** avec le même dosage volumique équivalent à celui des fibres de polypropylène.

Tableau.III.10. Résumé de quelques formulations du **BAP PD20 (mm)** exécutées.

Constituants	Ciment	Eau	Sable dune	Sable carrière	Gravillon	Gravier	Fillers calcaire	Palmier dattier	super plastifiant	Etalement
	(Kg/m ³)								(%)	(mm)
1	350	182	384	278	440	430	240	0.9	0.98	610
2	350	182	384	278	440	430	240	0.9	1.5	660
3*	350	182	384	278	440	430	240	0.9	2	720

* Formulation retenues pour la suite du travail

Tableau III.11. Formulation N°03 du **BAP PD 20** retenue.

Constituants	G/S= 1,4 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Etalement (mm)	T 500 (sec)	Boîte en L	Stabilité au tamis (%)
	Dosage						
	Massique, Kg/m ³	Volumique, litre					
Ciment	350	116.27	720	2.46	0.82	18.42	
Fillers	240	88.88					
Eau	182	182					
Sable siliceux (0/1,25)	384	150					
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34					
Gravier (3/8)	440	162.96					
Gravier (8/16)	430	160.44					
Palmier dattier	0.9	0.65					
Plastifiant	11.8	10.63					
Total	2317	975					

**Figure III.7.** Etalement d'un BAP PD 20 (mm) retenue.

Le **Tableau.III.13** résume les formulations des BAP renforcés de fibres de palmiers dattier de longueur de **30 (mm)** avec le volumique équivalent à celui des fibres de polypropylène.

Tableau. III.12. Quelques formulations du BAP PD30 réalisées

Constituants	Ciment (Kg/m ³)	Eau (Kg/m ³)	Sable dune (Kg/m ³)	Sable carrière (Kg/m ³)	Gravillon (Kg/m ³)	Gravier (Kg/m ³)	Fillers calcaire (Kg/m ³)	Palmier dattier (kg/m ³)	super plastifiant (%)	Etalement (mm)
Formulation 1	350	182	384	278	440	430	240	0.9	0.98	665
Formulation 2	350	182	384	278	440	430	240	0.9	1.6	715

* Formulation retenue pour la suite du travail

Tableau. III.13. Formulation N°02 du BAP PD30 retenue.

Constituants	G/S= 1,4 Dmax= 16 mm		Résultat à l'état frais	Etalement (mm)	T 500 (sec)	Boîte en L	Stabilité au tamis (%)
	Dosage						
	Massique, Kg/m ³	Volumique en litre					
Ciment	350	116.27	715	1.99	0.88	19.0	
Fillers	240	88.88					
Eau	182	182					
Sable siliceux (0/1,25)	384	150					
Sable de carrière (0/3,5)	278	103.34					
Gravier (3/8)	440	162.96					
Gravier (8/16)	430	160.44					
Palmier dattier	0.9	0.65					
Plastifiant	9.44	8.50					
Total	2314	973					



Figure.III.8. Etalement d'un BAP Palmier Dattier 30 (mm).

5. CONCLUSION

Dans ce chapitre est exposée la méthode de formulation des différentes BAP. La méthode de formulation utilisée est la méthode japonaise.

Ce chapitre est divisé en deux parties :

La première partie est consacrée à la formulation et l'optimisation du BAP témoin en termes de rapport ($G/S = 1,4$ et $D_{max} = 16$ mm) pour satisfaire les critères d'autoplaçance notamment l'étalement projeté qui est de 65 à 75 (cm)

La deuxième partie concerne la formulation des BAP fibrés à partir de la composition du BAP témoin. L'introduction des fibres dans les BAP a dégradé les paramètres d'autoplaçance, ce qui a conduit à opérer des corrections dans le dosage en superplastifiant pour satisfaire les prescriptions normatives concernant les BAP (étalement, capacité de remplissage et stabilité au tamis).

Références du chapitre III

- [1] Z. ABIB, Formulation et caractérisation des bétons autoplaçants, thèse de magister USTHB, 2004.
- [2] LAIFA Walid. « Contribution à l'étude des effets du laitier cristallisé et des fibres de Diss sur les propriétés des bétons autoplaçants. Thèse de doctorat en génie civil, Université Badji Mokhtar Annaba, 2013.

CHAPITRE IV

RESULTAT ET DUSCUTION

CHAPITRE IV RESULTAT ET DISCUSSION

Sommaire chapitre IV

CHAPITRE IV RESULTAT ET DISCUSSION	
IV.1.INTRODUCTION	85
IV.2.Résultats d'essais de béton autoplaçant à l'état frais	85
IV.2.1. Représentation graphique des résultats de l'étalement	85
IV.2.2. Représentation graphique des résultats de la boîte en L	86
IV.2.3. Représentation graphique des résultats de Stabilité au tamis	87
IV.2.4. Représentation graphique des résultats de T 500	87
IV.3.Résultats d'essais de béton autoplaçant à l'état durci	88
IV.3.1. Résistance à la compression	88
IV.3.2. La résistance à la traction par flexion	89
IV.3.3. Absorption d'eau par capillarité	90
IV.3.4. Retrait.	91
IV.4. Conclusion	92

1. INTRODUCTION

Après avoir mis en place les formulations de BAP de référence et BAP fibrés, nous avons présenté dans ce chapitre les résultats de l'influence de l'introduction des fibres sur les propriétés rhéologiques des bétons, ensuite nous avons mené une étude comparative entre un béton autoplaçant sans fibre BAPT, un BAP avec la fibre (longueur 12 mm) de polypropylène et un BAP avec la fibre végétale de palmier dattier de 12, 20 et 30 (mm) de longueur.

Le but de cette comparaison est l'étude de l'influence des fibres sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et durci.

2. RESULTATS:

2.1. Sur l'étalement

Les résultats de l'étalement sont présentés sur la **figure IV.1** :

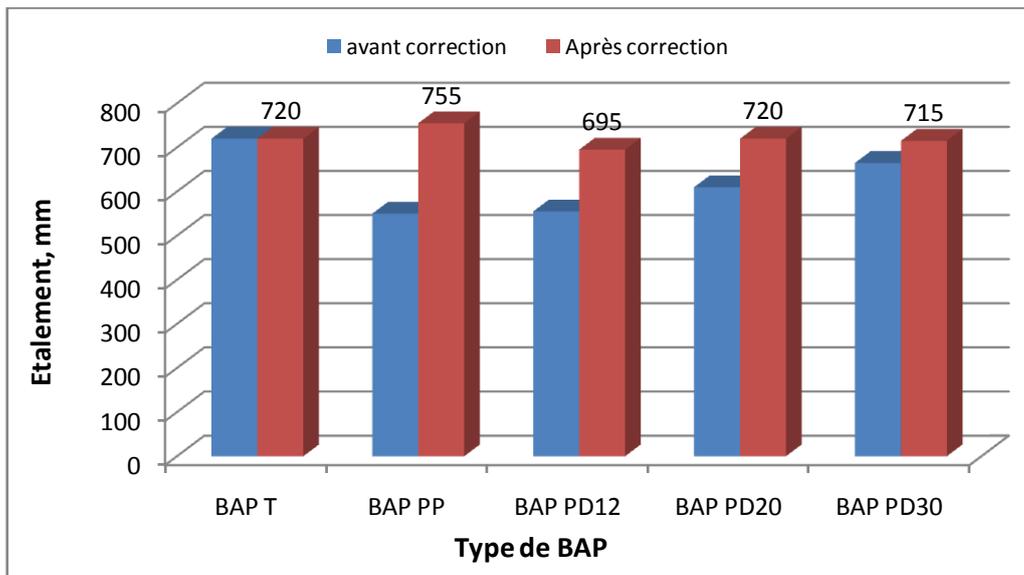


Figure IV.1 : L'étalement en fonction du type de béton.

- **Discussion**

Les BAP se caractérisent par des étalements qui s'inscrivent dans le domaine des valeurs projetées (650 – 750, mm) correspondant à la classe 2 selon la norme 206-9 [2]

L'introduction des fibres influe sur l'étalement quelque soit le type et la longueur, ce qui peut être expliqué par le fait que l'écoulement est gêné par les frottements (fibres -

matrice) et (fibres – fibres). Le BAP PP garantie le plus grand étalement en raison de l'état de surface des fibres (lisse) dont les forces de frottement plutôt faibles par rapport a celles des fibres de palmier Dattier qui se caractérisent par un contour rugueux.

Un deuxième élément peut aussi expliquer le comportement des BAP PP par le fait que les fibres de polypropylène sont a caractère hydrophile (non – absorbant) contrairement aux fibres de Palmier Dattier qui sont fortement hydrophobes.

L'influence de la longueur de la fibre est aussi un paramètre à prendre en considération. En effet les fibres courtes entraînent une plus grande perte de fluidité, ce qui pourrait être expliqué par le fait que pour un même dosage, le nombre de fibres courtes est supérieur a celui des fibres plus longues. Plus le nombre de fibres augmente et plus l'encombrement augmente.

On peut tirer comme enseignement de ces premiers résultats : le dosage en fibre a une influence sur l'ouvrabilité mais plus encore le nombre, la longueur, l'état de surface et la matière de la fibre. En effet, les fibres végétales ont subit un prémouillage avant leur introduction dans le malaxeur.

2.2. Présentation graphique des résultats de la boîte en L

Les résultats obtenus sur le taux de remplissage sont présentés sur la figure IV- 2

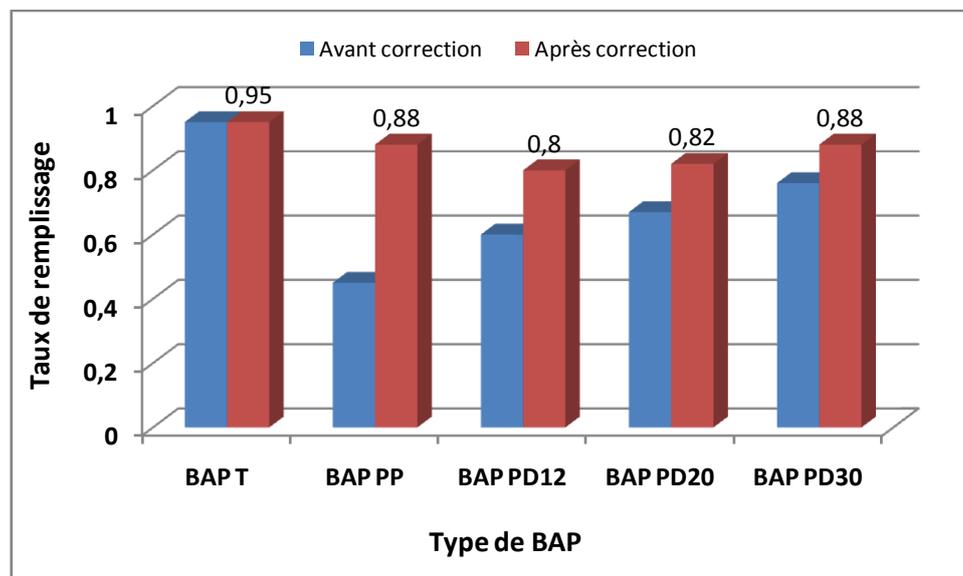


Figure IV.2 : Le pouvoir de remplissage en fonction de type de béton.

- **Discussion**

L'analyse des résultats présentés sur la **Figure IV.2** montrent que le pouvoir de remplissage est fortement influencé par l'incorporation des fibres. Cependant tous les BAP fibrés assurent le taux de remplissage prescrit par la norme EN 206-9 (2010) [2].

2.3. Présentation graphique des résultats sur la Stabilité au tamis :

Les résultats obtenus sur la stabilité au tamis sont présentés par la figure IV. 3.

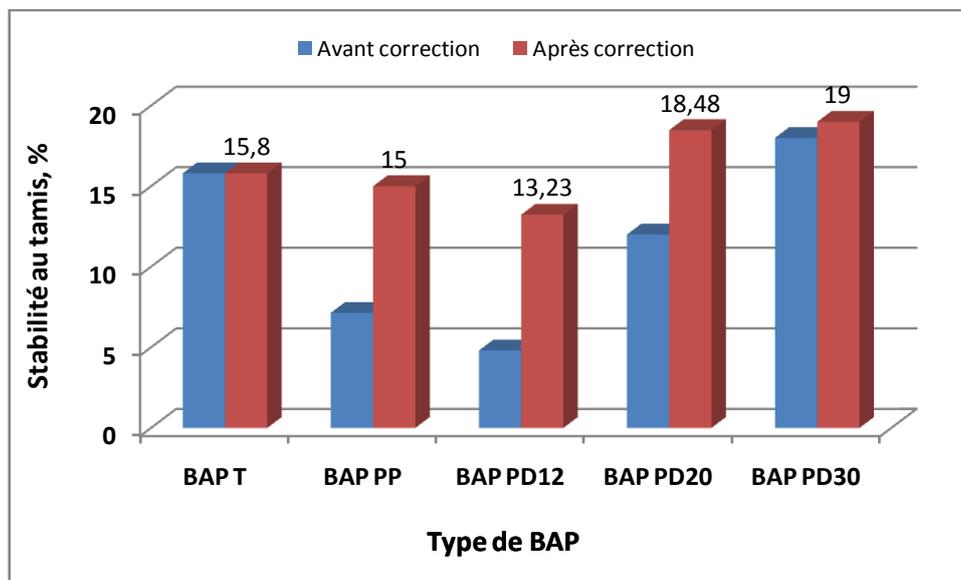


Figure IV.3 : la stabilité au tamis en fonction de type de béton.

- **Discussion**

Les résultats obtenus sur l'essai de stabilité au tamis et présentés sur la **figure IV.3**, montrent une influence peu significative du fibrage des BAP et particulier pour le BAP PP et le BAP PD 12. Par contre on note une influence plus nette pour les fibres de Palmier Dattier d'une plus grande longueur (20 et 30) mm. En effet, les BAP PD 20 et BAP PD 30 appartiennent à la deuxième classe de stabilité au tamis ($SR_2 \leq 20\%$) qui se caractérise par une faible résistance à la ségrégation. Alors les BAP PP et BAP PD 12 sont de la première classe ($SR_1 \leq 15\%$) et qui ont une meilleure résistance à la ségrégation statique.

2.4. Représentation graphique des résultats de la viscosité apparente (T 500)

Les résultats obtenus sur le temps d'écoulement pour atteindre un diamètre de 500mm sont présentés sur la figure IV. 4.

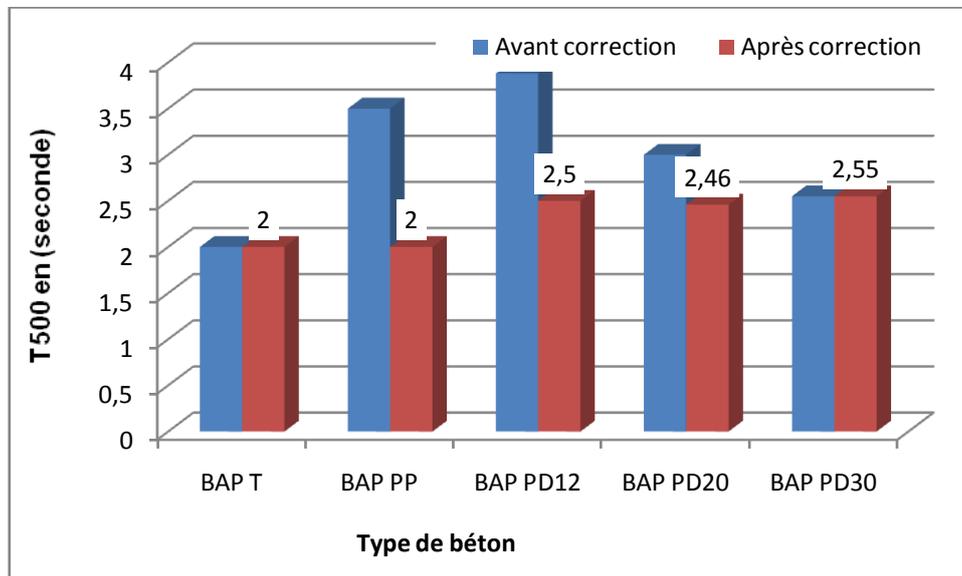


Figure IV.4 : le temps d'écoulement en fonction de type de béton.

- **Discussion**

On peut noter une augmentation du temps d'écoulement de tous les BAP fibrés avant d'apporter une correction sur le dosage en superplastifiant, en raison de l'introduction des fibres. Après optimisation du dosage en superplastifiant la viscosité apparente est augmentée, mais reste dans la même classe (VS2, $T \geq 2$ secondes, Norme EN206-9 (2010), ce qui correspondrait à des applications sur des éléments verticaux ou inclinés.

3. RESULTATS D'ESSAIS DE BETON AUTOPLAÇANT A L'ETAT DURCI

3.1. Résistance à la compression :

Les résultats obtenus sur les résistances mécaniques en compression sont présentés par la figure IV.4.

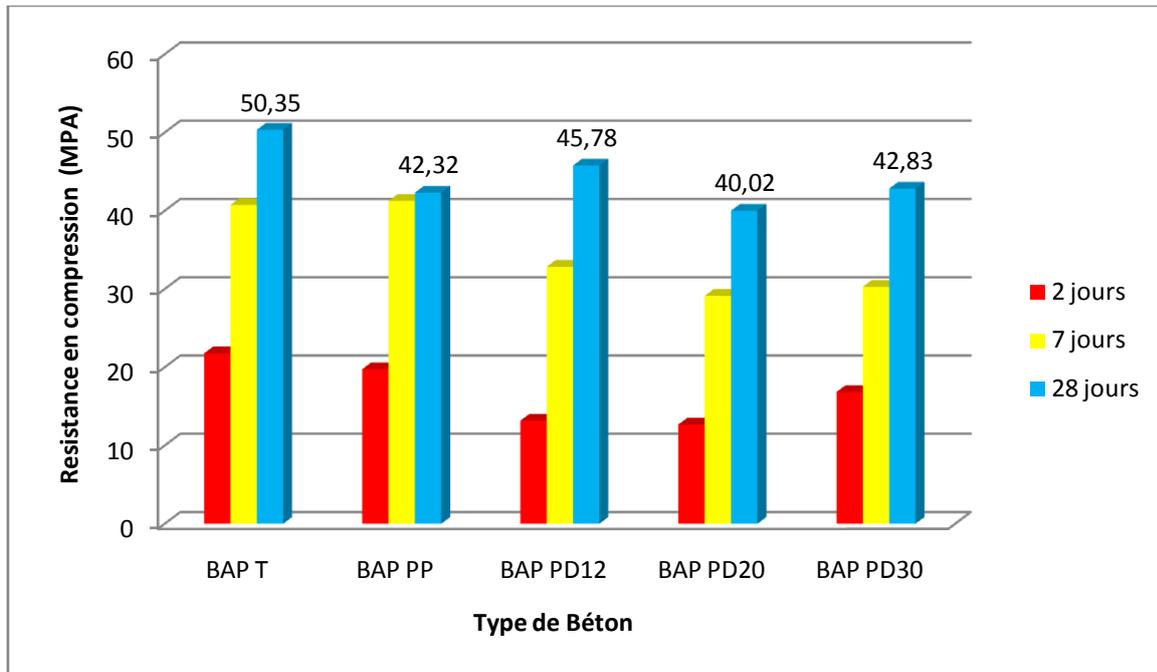


Figure IV.5 : Variation de la résistance à la compression.

- **Discussion**

L'introduction des fibres dans le béton de façon générale entraîne une perte de résistance en compression en raison de la formation d'une porosité supplémentaire à l'interface fibre – béton. Celle – ci dépend vraisemblablement du taux (nombre de fibres), de la nature et de la longueur des fibres. En effet les fibres courtes garantissent les meilleures résistances.

3.2. Résistance à la traction par flexion :

Les résultats obtenus sur les résistances mécaniques en traction par flexion sont présentés par la **figure IV.6**.

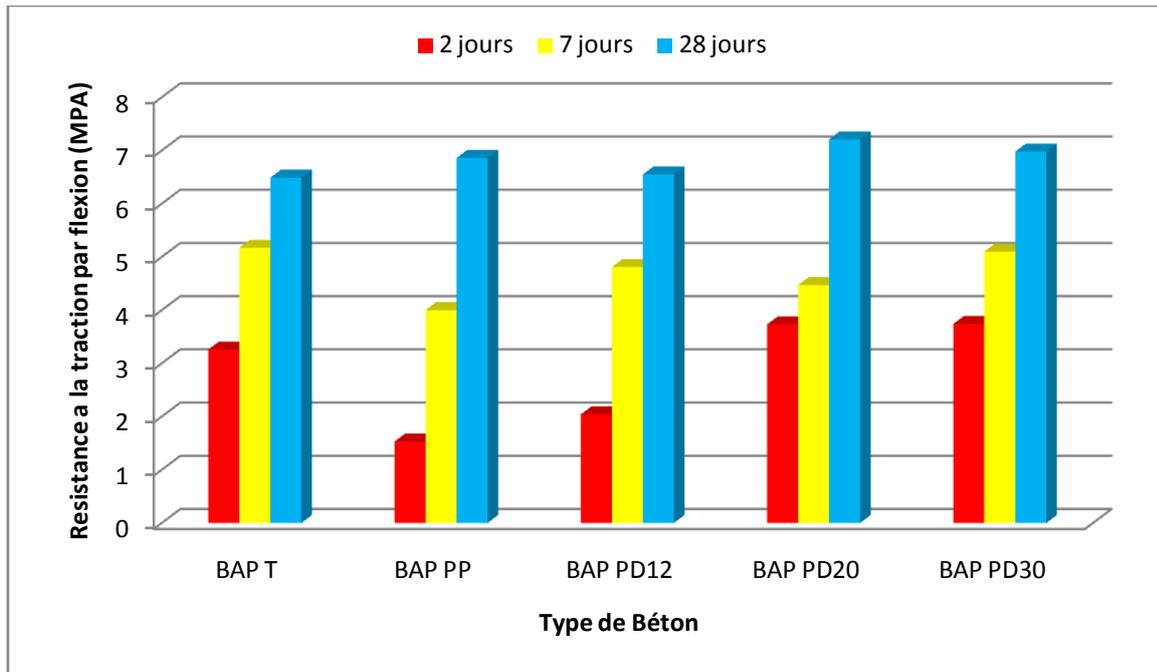


Figure. IV.6 : Variation de la résistance à la traction par flexion

- **Discussion**

La figure (IV.6) présente les résistances en traction par flexion des BAP fibrés.

Les résultats obtenus montrent l'effet bénéfique de l'utilisation des fibres dans le BAP même s'il est peu significatif. En effet, les résultats escomptés en terme d'amélioration de la résistance en traction par flexion sont de second ordre, car le rôle principal des fibres dans le béton est la limitation de la fissuration et l'amélioration de la ductilité.

3.3. Absorption d'eau par capillarité

Les résultats obtenus sur l'absorption d'eau par capillarité sont présentés par la **Figure IV.6**

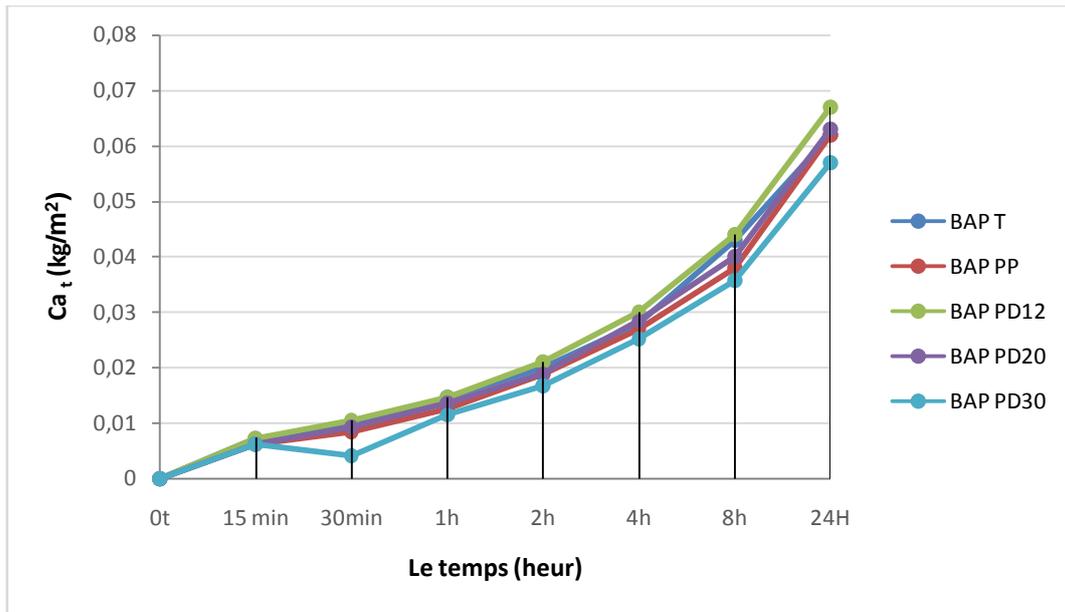


Figure IV.7: Absorption d'eau par capillarité des BAP testés

DISCUSSION

Les résultats montrent que, le coefficient d'absorption de tous les bétons étudiés augmente avec le temps. Cependant les BAP fibrés (BAP PP, BAP PD) présentent une absorption capillaire légèrement supérieure à celle du BAP sans fibres (BAPT), ce qui peut être expliqué par le fait que l'incorporation des fibres dans le béton entraîne la formation d'une porosité supplémentaire à l'interface (fibre – béton).

3.4. Retrait

Les résultats obtenus sur le retrait sont présentés par la **figure IV.7**

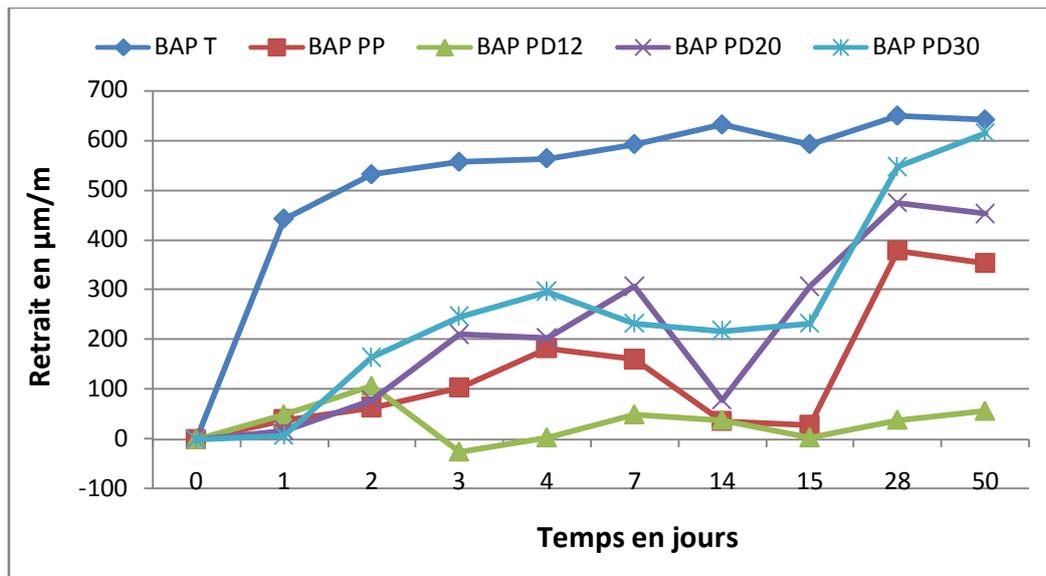


Figure IV.8: Variation de retrait dans le temps.

• Discussion

La figure IV.8 montre l'évolution du retrait total des BAP en fonction du temps. L'introduction des fibres dans le BAP réduit sensiblement le retrait. Ce constat est très net aussi bien à courts termes qu'à longs termes. Le retrait du BAP T est multiplié par un facteur de l'ordre de 8 à un jour par rapport au retrait des BAP fibrés. Au delà de cette échéance, les retraits des BAP fibrés restent inférieurs à celui du BAP T excepté le BAP PD 30 dont la valeur du retrait est comparable à celle du BAP T à 50 jours. Il faut aussi signaler que statistiquement certaines valeurs sont erronées et perturbent ainsi l'interprétation des résultats.

Le BAP PD 12 se caractérise par le retrait le plus faible par rapport aux autres BAP fibrés ce qui peut être expliqué probablement par la longueur limitée à 12 mm.

A cet effet un travail d'amélioration de la composition des BAP appelés à être fibrés est nécessaire. Le taux de fibrage, la longueur, la nature des fibres constituent les principaux paramètres à optimiser pour obtenir les résultats satisfaisants.

4. CONCLUSION

Le taux de fibrage (le nombre de fibre), la longueur, la nature des fibres constituent les principaux paramètres influençant aussi bien les propriétés des BAP à l'état frais que l'état durci.

Les résultats obtenus peuvent être résumés comme suit :

- **Sur le béton frais**

- La maniabilité du béton diminue par l'ajout de fibres.
- Le pouvoir de remplissage et la stabilité (la viscosité apparente) sont aussi affectés par l'introduction des fibres et peuvent limiter leur application.

- **Sur béton Durci**

- Il est établi que l'introduction des fibres dans les bétons entraîne une légère perte de résistance en compression. Or la résistance en compression du BAP PD 20 enregistre une diminution de l'ordre de 10 MPa (20%).
- Le but principal de l'introduction des fibres dans les bétons est le contrôle de la propagation des fissures et l'amélioration de la ductilité. Les résultats confirment cette théorie. Le taux de fibrage est un paramètre important, mais plus encore, le nombre de fibres et leurs longueurs constituent des paramètres aussi importants

REFERENCES CHAPITRE IV

- [1] NF EN 12350-8 Novembre 2010 Annulée le 17/08/2019 Essai pour béton frais –
Partie : béton auto-plaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams
- [2] EN 206-9 (2010) , Règles complémentaires pour les BAP

CONCLUSION GENERALE

Les enseignements tirés de ce travail peuvent être résumés comme suit :

- **Sur le béton frais**
 - Les propriétés des BAP à l'état frais diminuent avec l'ajout des fibres. Cette perte des paramètres d'autoplaçance dépend du nombre, de la longueur
 - Plus le nombre et la longueur et la nature (caractère hydrophobe) des fibres est important, plus les paramètres d'autoplaçance sont dégradés. Il était donc nécessaire d'apporter des ajustements sur la composition des BAP fibrés ou alors formuler un BAP témoin en prévoyant les pertes des propriétés des BAP frais, de sorte que la composition de la matrice conserve les paramètres d'autoplaçance après fibrage.
- **Sur béton Durci**
 - Il est établi que l'introduction des fibres dans les bétons entraîne une légère perte de résistance en compression. Les résultats obtenus sont en harmonie avec les données bibliographiques.
 - Le but principal de l'introduction des fibres dans les bétons est le contrôle de la propagation des fissures et l'amélioration de la ductilité. Les résultats confirment cette théorie. Le taux de fibrage est un paramètre important, mais plus encore, le nombre de fibres et leurs longueurs constituent des paramètres aussi importants.
- **Protection de l'environnement et développement durable**
 - L'amélioration même peu significative de la résistance en traction par flexion peut être considérée comme un autre avantage de l'emploi des fibres.
 - L'emploi des fibres végétales au delà des résultats obtenus est intéressant sur le plan environnemental et le développement durable et probablement sur le plan économique qui reste à vérifier en l'absence d'études.
 - Les fibres peuvent avoir des effets antagonistes sur les BAP :
 - ✓ Diminution du retrait du béton durci
 - ✓ Diminution de la résistance en compression du béton durci
 - ✓ Dégradation des paramètres d'autoplaçance du béton frais.
 - Il est conviendrait d'établir un compromis entre ces effets pour aboutir a un optimum en termes de dosage et de longueur de fibres.



Fiche technique

FIBRES DE POLYPROPYLÈNE

Description

Fibres synthétiques de polypropylène modifié pour une utilisation dans le béton et les mortiers renforcés de fibres.

Les fibres de polypropylène réduisent la formation de fissures de retrait plastique sur le béton et augmentent l'impact et la résistance aux chocs. Les fibres synthétiques augmentent également la résistance à l'abrasion dans les planchers en béton et réduisent le saignement. De plus, ils améliorent l'élasticité et la cohésion des mortiers et des chapes lors de la mise en place.

Certifié avec le marquage CE, selon la norme EN 14889-2.

Domaines d'application

Les fibres de polypropylène sont spécialement conçues afin d'être utilisées dans les cas où des fissures sont créées en raison du retrait ou des déformations plastiques, par exemple en cas de grandes dalles de béton, des

éléments préfabriqués en béton, des planchers chauffants, etc. Ils sont utilisés là où la cohésion des chapes ou du béton est nécessaire lors de la mise en place, par exemple en cas de dalles inclinées, etc. Les fibres de polypropylène sont également utilisées dans des applications de béton projeté (gunite) afin d'augmenter le compactage et la densité du béton projeté.

Caractéristiques techniques

Matériel:	polypropylène modifié
Couleur:	blanc
Diamètre:	25 (±10%) µm
Longueur:	12 (±10%) mm
Densité:	0.91 g/cm ³
Point de fusion:	160-170 °C
Point d'ignition:	570 °C
Nombre de fibres par kg:	120×10 ⁶

Module d'élasticité:	1.6 GPa
Résistance à la traction:	400 (±10%) N/mm ²
Allongement à la traction:	25 (±10%)

Mode d'emploi

Les fibres de polypropylène sont directement ajoutées au béton ou au mélange de mortier, en maintenant le dosage des ingrédients.

Consommation

600-1200 gr/m³ de béton ou de mortier de ciment.

Conditionnement

- 900gr Sac en papier dispersable.
- 600gr Sac plastique.

Stockage

Au moins 5 ans de la date de production, dans des emballages fermés, stockés en conditions sèches.

Remarques

Les fibres de polypropylène ne remplacent pas le renforcement statique du béton.

ISOMAT S.A.
BUILDING CHEMICALS AND MORTARS
BUREAUX PRINCIPAUX - USINE
17^{ème} km Thessaloniki - Ag. Athanasios
C.P. 1043, 570 03 AG. ATHANASIOS, GRECE
Tél.: +30 2310 576 000, Fax: +30 2310 722 475
www.isomat.fr e-mail: france@isomat.eu

Les informations techniques et les instructions fournies dans ce document sont basées sur la connaissance et l'expérience du Département de la Recherche et du Développement de notre entreprise et sur les résultats d'applications dans la pratique du produit à long terme. Les recommandations et suggestions se rapportant à l'utilisation du produit sont fournies sans aucune garantie, puisque les conditions du site pendant les applications sont hors du contrôle de notre société. Par conséquent, l'utilisateur est responsable de confirmer que le produit choisi est adapté à l'application envisagée. La présente édition de cette fiche technique annule automatiquement toutes fiches techniques précédentes concernant le même produit.



FICHES TECHNIQUES

	فېكش تېخنيكى راجى دىۋىزىيە FICHE TECHNIQUE CIMENT	F03-01/1000
	Date : 31/05/ 2009	Version : 02

CIMENT PORTLAND COMPOSE CPJ-CEMII/A 42,5

CARACTERISTIQUE CHIMIQUE		CARACTERISTIQUE PHYSIQUE			CARACTERISTIQUE MECANIQUE		
ELEMENTS	% EN MASSE	NORME NA			NORME NA	EN Mpa	
PAF 975° C	1 - 2	NA230	CONSISTANCE NORMALE	≥ 25	NA 442	COMPRESSION	
CaO	55 - 65	NA230	DEBUT DE PRISE	≥ 60		02 jours	≥ 12.50
SiO2	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours	25 - 35
Al2O3	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours	42.5 - 52.5
Fe2O3	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000	NA 234	FLEXION	
MgO	1 - 2	NA231				02 jours	3,0-4,0
K2O	0,3 - 0,6					07 jours	5,0-6,5
Na2O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER µm/m	≤ 1000		28 jours	6,5-8,5
SO3	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS			
CaOL	0,8 - 1,8	C3S	55 - 65	CLINKER	≥ 74		
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6		
		C3A	8 - 12	CALCAIRE	0		
		C4AF	9 - 13	LAITIER	≤ 20		

DOMAINE D'UTILISATION

Utilisation courante de notre ciment :

- Fondations (béton de propreté et béton de semelle en milieux non agressifs).
- Ouvrage en béton armé (Murs, Linteaux, Poteaux et dalle de compressions).
- Dallage en béton, Montage de mure et maçonnerie et Scellements de carrelage (Dalles, pierres et carrelage).
- Chape (mortier de ciment).

PRECAUTION D'EMPLOI

Ce type de ciment ne convient pas pour :

- Ouvrages en milieux agressifs (terrains gypseux, sulfates, eaux industriels) emploi obligatoire de ciment ES pour travaux en eaux à haute teneur en sulfates.
- Travaux à la mère (emploi obligatoire de ciment PM pour travaux à la mer).
- Bétonnage au dessous de 5° C (il est conseillé d'utiliser des ciments de résistance initiale élevée R)

STOCKAGE :

Eviter :

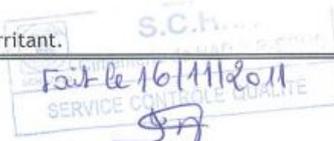
- Un stockage prolongé au-delà de trois (03) mois.
- Un stockage dans des endroits humides.

EMBALLAGE :

- Le ciment est emballé dans des sacs en papier kraft à 02 plis, le système de fermeture garantit l'inviolabilité du sac.

ATTENTION

- Un contact prolongé du ciment avec la peau peut être irritant.



Notice technique
Edition Mars 2008
Numéro 1.60
Version n°133.2006
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

Présentation 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.

Domaines d'application SIKA VISCOCRETE 3045 permet d'obtenir un long maintien de rhéologie (>1H30). Il est donc parfaitement adapté à l'industrie du BPE et à l'utilisation sur chantier.
SIKA VISCOCRETE 3045 permet la fabrication de :

- bétons plastiques à fluides,
- bétons à faibles rapports E/C avec ou sans fumée de silice,
- bétons pompés sur longues distances.

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.

Caractères généraux SIKA VISCOCRETE 3045 est un plastifiant réducteur d'eau qui confère au béton les propriétés suivantes :

- haute réduction d'eau,
- maintien prolongé de la rhéologie,
- robustesse vis-à-vis de la ségrégation,
- bel aspect de parement au décoffrage.



Caractéristiques

Aspect Liquide marron/vert.

Conditionnement

- Fût de 250 kg
- Conteneur perdu de 1110 litres
- Vrac

Stockage 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.

Conservation 6 mois dans son emballage d'origine intact

Données techniques

densité 1,11 ± 0,02

