

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY
UNIVERSITE BA DJI MOKHTAR-ANNABA



جامعة باجي مختار - عنابة

Année : 2019

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département de Génie Civil

MEMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Influence du rapport G/S et de la fibre de palmier dattier de 20mm
de longueur sur les paramètres d'autoplaçance**

Domaine : Sciences et Techniques
Filière : Génie Civil
Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Par :

LABADLIA Roumaissa
BOUACHA Nesrine

DIRECTEUR DU MEMOIRE : BEHIM Mourad

Pr. Université d'Annaba

DEVANT LE JURY

PRESIDENT :

BEHIM Mourad

Pr. Université d'Annaba

EXAMINATEURS :

ALIBOUCETTA Tahar

Dr. Université d'Annaba

KHELIFI Walid

Dr. Université d'Annaba

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'elle 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 *Pr. ALI BOUCETTA. Tahar* et *Dr .DERDOUR* pour leur aide précieuse et leur 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 monsieur *SLIMANI*.

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

*À mes chers parents,
À ma chère famille,
À mes chères amis*

Résumé

L'utilisation des Bétons autoplaçant (BAP) dans le domaine des réparations d'ouvrages urbains et souterrains c'est considérablement propagé au cours des dernières années. La modification des critères d'autoplaçant telle que l'augmentation du rapport G/S ou l'incorporation des fibres végétales dans la composition de ce béton nous obligent à poser une question concernant l'évolution des propriétés mécaniques et physiques.

Qu'est-ce qui changera pour le BAP si nous augmentons le rapport G/S et ajoutons les fibres (synthétiques et végétales), et quelle sont les résultats de ces changements ?

Le sujet de recherche s'articule autour de l'effet de rapport G/S sur les propriétés rhéologiques des bétons et l'influences des fibres sur les caractéristiques des BAP à l'état frais, durci et propriétés de transfert.

Dans ce travail, nous avons trouvé une composition final et cité comme formulation de référence à partir des plusieurs formulation de rapport G/S différent, cette composition a été renforcé par la fibre végétale de palmier dattier de 20 mm de longueur et la fibre de polypropylène. Pour cela, nous avons mené une étude comparative entre le BAP de référence et les BAP fibrés. Les résultats de ce travail montrent que :

- ✓ Les propriétés rhéologiques des bétons autoplaçant affectées par l'augmentation du rapport G/S.
- ✓ Les fibres de palmier dattier sont complètement aptes à l'utilisation comme renfort dans les bétons autoplaçants.

Mots clés: béton autoplaçant, rapport G/S, fibres végétales, propriétés rhéologiques, Caractéristiques mécaniques, Propriétés de transfert, fibres de palmier dattier.

Abstract

The use of self-compacting concretes (SCC) in the field of repair of urban and underground structures has exploded considerably in recent years. The modification of the self-compacting criteria such as the increase of the G/S ratio or the incorporation of vegetable fibers in the composition of this concrete force us to ask a question concern the evolution of the mechanical and physical properties.

What will change for the SCC if we increase the G/S ratio and add the fibers (synthetic and vegetable), and what are the results of these changes?

The research subject is based on the effect of G/S ratio on the rheological properties of concretes and the influence of fibers on the characteristics of SCC in the fresh state, hardened and transfer properties.

In this work, we found a final composition and cited as a reference formulation from several different G/S ratio formulations, this composition was enhanced by the date palm plant fiber of 20 mm length and polypropylene fiber. For this, we conducted a comparative study between the reference SCC and the fibers SCC. The results of this work show that:

- ✓ The rheological properties of self-compacting concretes affected by the increase of the G/S ratio.
- ✓ Date palm fibers are completely suitable for use as reinforcement in self-compacting concretes.

Key words: self - compacting concrete, G/S ratio, plant fibers, rheological properties, mechanical properties, transfer properties, date palm fibers.

ملخص

إن استخدام الخرسانة ذاتية الانضغاط في مجال إصلاح الهياكل الحضرية وتحت الأرض قد انتشر بشكل كبير في السنوات الأخيرة. إن تعديل معايير الانضغاط الذاتي مثل زيادة نسبة الحصى/الرمل أو دمج الألياف النباتية في تركيبة هذه الخرسانة، يجبرنا على طرح سؤال يتعلق بتطور الخواص الميكانيكية و الفيزيائية.

ماذا سيغير للخرسانة ذاتية الانضغاط إذا قمنا بزيادة نسبة الحصى/الرمل وإضافة الألياف (الاصطناعية والنباتية)، وما هي نتائج هذه التغييرات؟

يعتمد موضوع البحث على تأثير نسبة الحصى/الرمل على الخواص الانسيابية للخرسانة وتأثير الألياف على خصائص الخرسانة ذاتية الانضغاط في الحالة السائلة والحالة الصلبة.

في هذا العمل، وجدنا تركيبة نهائية سميت بالمرجعية من خلال دراسة عدة تركيبات مختلفة لنسبة الحصى/الرمل، وقد تعززت هذه التركيبة من ألياف نبات النخيل التي يبلغ طولها 20 مم وألياف البوليبروبيلين. وللقيام بذلك أجرينا دراسة مقارنة بين الخرسانة ذاتية الانضغاط بدون ألياف وأخرى مدعمة بالألياف. تظهر نتائج هذا العمل ما يلي:

- ✓ الخواص الانسيابية للضغط الذاتي تتأثر بزيادة نسبة الحصى/الرمل
- ✓ ألياف نخيل التمر مناسبة تماماً للاستخدام كتعزيز للخرسانة ذاتية الضغط.

الكلمات المفتاحية: خرسانة مضغوطة ذاتياً، نسبة الحصى/الرمل، ألياف نباتية، خواص انسيابية، خواص ميكانيكية، خصائص النقل، ألياف نخيل التمر.

Résumé	
Abstract	
ملخص	
SOMMAIRE.....	I
TABLE DES FIGURES.....	VI
LISTE DES TABLEUX.....	VIII
Introduction générale.....	2

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Bétons autoplaçants.....	5
I.1. Introduction.....	5
I.2.Composition d'un BAP.....	5
▪ Les avantages.....	6
▪ Les inconvénients.....	6
▪ Domaine d'application.....	6
I.3. Fabrication, transport et mise en place des BAP.....	7
I.3.1. Fabrication des BAP.....	7
I.3.2. Transport des BAP.....	7
I.3.3. Mise en place des BAP.....	8
II. Bétons autoplaçants fibrées.....	9
II.1.Introduction.....	9
II.2. Constituants de béton autoplaçant fibrées.....	9
II.2.1. Les granulats.....	9
II.2.2.Le ciment.....	9
II.2.3.Eau de gâchage.....	9
II.2.4.Les additions.....	10
II.2.5.Les adjuvants.....	10
II.2.6. Les fibres.....	11
• Rôles des fibres dans le béton.....	11
II.3Types des fibres.....	12
▪ Les Fibres métalliques.....	12

▪ Les Fibres de fonte amorphe	13
▪ Les Fibres de verre	13
▪ Les Fibres de polypropylène	13
II.4. Les Fibres végétales	14
II.4.1. Origines des fibres végétales	15
II.4.2. Les avantages et les inconvénients des fibres végétales.....	15
II.4.3. Caractéristiques des fibres végétales.....	15
▪ Caractéristiques physiques et mécaniques	15
▪ Caractéristiques chimiques.....	15
II.4.4. Types des fibres végétales	16
III. les influences sur les bétons autoplaçants fibrés	17
III.1. Influence de rapport G/S	17
III.2. Influence du diamètre maximal des gravillons.....	17
III.3. Influence des fibres.....	17
▪ Optimisation rhéologique	17
IV. Approches de formulation des BAP	18
IV.1. Méthode Japonaise	18
IV.2. Méthode Suédoise: proposée par [Petersson et al, 1996]	18
IV.3. Méthode Française : (LCPC) proposée par [De Larrard et al, 1994]	19
V. Caractérisation d'un BAP Fibré à l'état frais.....	19
V.1. Essai d'étalement	19
V.2. Essai de la boîte en L.....	20
V.3. Essai de stabilité au tamis.....	21
VI. Influence des fibres sur les propriétés des BAP	22
VI.1. à l'état frais.....	22
VI.2. à l'état durci	22
VII. Caractérisation d'un BAP Fibrés à l'état durci.....	23
VII.1. Propriétés mécaniques des BAPF	23
▪ La résistance mécanique.....	23
▪ Le module d'élasticité.....	23
▪ Retrait	23
▪ Fluage.....	24
▪ L'absorption d'eau par capillarité.....	24
VII.2. Durabilité	24

Conclusion.....	24
Références du chapitre I.....	25

CHAPITRE II : METHODES EXPERIMENTALES, CARACTERISATION DES MATERIAUX ET PROGRAMME EXPERIMENTAL

I. Introduction.....	29
A. METHODES EXPERIMENTALES:.....	30
I. Les granulats.....	30
I.1. Les sables.....	30
I.1.1 Masse volumique apparente et absolue.....	30
• Masse volumique absolue.....	30
✓ Principe de l'essai :.....	30
• Masse volumique absolue (des grains).....	30
I.1.2. Analyse granulométrique.....	31
✓ Principe de l'essai :.....	31
I.1.3. Module de finesse.....	32
I.1.4. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) :.....	32
I.2. Gravier.....	33
I.2.1. L'essai Micro Deval.....	33
I.2.2. Essai de Los Angeles.....	34
I.3. Confection et conservation des éprouvettes :.....	34
I.3.1. Séquences de malaxage des BAP et des BAPF :.....	34
I.3.2. Conditions des conservations des éprouvettes.....	35
I.2.3. Caractérisation des BAP à l'état frais.....	35
• Essai d'étalement.....	36
• Essai de la boîte en L.....	37
• Essai de stabilité au tamis.....	38
• Densité (la masse volumique).....	39
I.3.4. Caractérisation à l'état durcis.....	39
• Essai de compression.....	39
• Essai de traction par flexion.....	40
• Absorption d'eau par capillarité.....	40
• Porosité par immersion total.....	42
B. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX.....	43

I. Ciment.....	43
II. Filler calcaire	44
III. Adjuvant.....	44
IV. Eau de gâchage	45
V. Fibres	45
V.1. Les fibres de palmier dattier.....	45
• Traitement des fibres de palmier dattier	45
V.2. Les fibres de polypropylène :.....	46
VI. Granulats.....	47
VI.1. Sables.....	47
CONCLUSION.....	50
Références du chapitre II.....	51

**CHAPITRE III : FORMULATION DES BETONS AUTOPLACANT SET BETONS
AUTOPLACANTS FIBRES**

I. Introduction.....	56
II. Méthode de formulation des BAP	56
II.1. Optimisation de la composition du BAP	56
II.2. Formulations projetées	57
II.2.2. Exemple de formulation	57
III. Composition des BAP	58
Les compositions des trois BAP sont données au tableau 3.1	58
IV. Formulation des BAP Fibrés.....	62
IV.1. Optimisation de la composition du BAP Fibré	62
IV.2. La formulation du BAPF	62
CONCLUSION.....	64
Références du chapitre III.....	65

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Introduction.....	67
II. Résultats Obtenus à L'état Frais	67
II.1. Effet du rapport G/S sur les propriétés des BAP à l'état frais.....	67
II.1.1. Etalement au cône d'Abrams.....	68
II.1.2 Taux de remplissage dans la boîte en L.....	69
II.2. Effet des fibres sur les propriétés des BAP à l'état frais	70

Une étude comparative est réalisée entre les trois types de BAP suivants :	70
II.2.1. Etalement au cône d'Abrams.....	70
II.2.2. Taux de remplissage dans la boîte en L.....	71
II.2.3. Stabilité au tamis	73
II.2.4. Masse volumique	73
III.Résultats Obtenus à L'état Durci.....	74
III.1. Caractérisation mécanique des BAP	74
III.1.1. Résistance en compression	74
III.1.2. Résistance en traction par flexion.....	75
III.1.3. Vérification de l'absence de ségrégation	76
III.2. Propriétés de Transfert.....	77
III.2.1. Porosité par immersion total	77
III.2.2. Absorption par capillarité	78
III.2.3. L'absorptivité.....	79
IV.Conclusion	79
Conclusion générale	82
ANNEXE A	85
ANNEXE B	86
ANNEXE C	87

TABLE DES FIGURES

Figure I. 1 : composition d'un béton ordinaire(BO) et d'un béton autoplaçant (BAP).....	6
Figure I. 2: Domaine d'application des BAP.	7
Figure I. 3 : Mise en place du BAP par un seul ouvrier.	8
Figure I. 4: disposition d'un BAP et d'un BAP Fibré.....	11
Figure I. 5: Fibres métalliques.	12
Figure I. 6: les fibres de verre.....	13
Figure I. 7: les fibres de polypropylène.....	13
Figure I. 8: Représentation schématique de l'essai d'étalement.	20
Figure I. 9 : Représentation schématique de l'essai à la boîte en L.	21
Figure I. 10: Représentation de l'essai de stabilité au tamis.	21
Figure I. 11: Effets des fibres sur l'étalement des BAP.	22
Figure II. 1: Essai de masse volumique apparente.	30
Figure II. 2: Essai de masse volumique absolue.....	31
Figure II. 3: Analyse granulométrique.	31
Figure II. 4: Essai d'équivalent de sable.	32
Figure II. 5: La machine de micro Deval.	33
Figure II. 6: La machine de Los Angeles.	34
Figure II. 7 : malaxage et pré-mouillage exécuté au laboratoire.	35
Figure II. 8: Conservations des éprouvettes.	35
Figure II. 9: Essai d'étalement au cône d'Abrams exécutés au laboratoire.....	36
Figure II. 10: Essai de Boîte en L exécutés au laboratoire.	37
Figure II. 11 : Essai de stabilité au tamis exécutés au laboratoire.....	38
Figure II. 12 : Moules pour essai de la masse volumique apparente sur béton frais.	39
Figure II. 13 : Essai de compression.	40
Figure II. 14 : Essai de traction par flexion.	40
Figure II. 15 : Essai d'absorption par capillarité.	41
Figure II. 16 : Mesure de la porosité par immersion total.	43
Figure II. 17: Filler calcaire.....	45
Figure II. 18 : plaquettes de fibres de palmier dattier.....	46
Figure II. 19 : Fibres découpées selon les longueurs désirées.....	46
Figure II. 20: Fibres de polypropylène.	47
Figure II. 21 : Sable siliceux et Sable de carrière.....	48
Figure II. 22: La courbe de l'analyse granulométrique	48
Figure III. 1: Essais d'étalements (BAP I, II et III).....	59
Figure III. 2: Essais de la boîte en L (BAP I, II et III).	59
Figure III. 3: Essais d'étalements (BAP I, I a et I b).	60
Figure III. 4: Essais d'étalements : BAP T, BAP T (1m ³), BAP T (1m ³) Correction de SP.	61
Figure III. 5: Essais d'étalements : BAP PP (1%), BAPPP (1,1%) et BAP PD.	63
Figure III. 6: Essais de la boîte en L (BAP PP (1%), PP (1,1%) et BAP PD).....	64

Figure IV. 1 : Variation de l'étalement en fonction de rapport G/S..... 68

Figure IV. 2: Essais de l'étalement au cône d'Abrams. 68

Figure IV. 3: Variation sur le taux de remplissage en fonction de rapport G/S. 69

Figure IV. 4: Essai à la boîte en L..... 69

Figure IV. 5: Variation de l'étalement en fonction des fibres..... 70

Figure IV. 6: Influence des fibres sur l'étalement des BAP..... 71

Figure IV. 7: Variation sur le taux de remplissage des BAP en fonction des fibres. 72

Figure IV. 8:Influence des fibres sur la capacité de remplissage (H2 /H1) des BAP..... 72

Figure IV. 9: Influence des fibres sur la stabilité au tamis des BAP..... 73

Figure IV. 10: Influence des fibres sur la masse volumique des BAP. 74

Figure IV. 11: Influence des fibres sur la résistance à la compression des BAP. 75

Figure IV. 12: Influence des fibres sur la résistance à la traction par flexion des BAP..... 76

Figure IV. 13:Observation de la répartition des granulats du BAP PD..... 77

Figure IV. 14: La porosité par immersion total (%). 77

Figure IV. 15: Influence des fibres sur L'absorption par capillarité des BAP. 78

Figure IV. 16: L'absorptivité des BAP..... 79

LISTE DES TABLEUX

Tableau I. 1: Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres.....	14
Tableau I. 2: Types des fibres végétales.	16
Tableau II. 1 : Valeurs du module de finesse.	32
Tableau II. 2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable.....	33
Tableau II. 3 : Composition chimique du ciment.	44
Tableau II. 4: Composition minéralogique du clinker.....	44
Tableau II. 5: Caractéristique chimique du filler calcaire.	44
Tableau II. 6: Propriétés physico-chimiques du plastifiant.	45
Tableau II. 7 : Caractéristiques des fibres de polypropylène selon le fabricant.	47
Tableau II. 8 : Caractéristiques physiques des granulats.....	49
Tableau II. 9: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment.	50
Tableau II. 10 : Caractéristiques physiques du filler calcaire.....	50
Tableau II. 11 : Caractéristiques physiques de la fibre de palmier dattier.	50
Tableau II. 12 : Caractéristiques mécaniques de la fibre de palmier dattier réalisé sur une fibre de longueur 20 mm (Kriker).	51
Tableau III. 1: La composition retenue pour chaque mélange.	58
Tableau III. 2: Les essais à l'état frais du BAP pour chaque mélange.	58
Tableau III. 3: La composition retenue pour chaque mélange après la correction du dosage en filler calcaire.	59
Tableau III. 4: Formulations du BAP témoins avec un rapport G/S=1,4.	60
Tableau III. 5: Les essais à l'état frais du BAP du G /S=1,4.....	61
Tableau III. 6: Formulations des BAP fibrés.....	63
Tableau III. 7: Les essais à l'état frais du BAP fibrés.	63
Tableau IV. 1: Valeurs recommandées par les normes.	67

INTRODUCTION GENERALE

Introduction générale

Le béton est actuellement l'un des matériaux de construction les plus utilisés à travers le monde. La simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son faible prix de revient et les performances mécaniques et de durabilité (une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, une faible conductivité thermique et électrique, il est également peu combustible et peu toxique) qu'il assure ont légitimé son utilisation pour réaliser des ouvrages les plus divers, notamment des bâtiments, des immeubles d'habitation, des ponts, des routes, des barrages, des centrales thermiques et nucléaires, etc.

Les bétons qui existent sur le marché du génie civil et qui offrent des résistances mécaniques adéquates sont: les bétons à hautes performances (BHP) les bétons à très hautes performances (BTHP), les bétons de fibres (BF) les bétons de poudres réactives (BPR) les bétons autoplaçants (BAP), etc.

Le béton autoplaçant est un béton spécial, sa spécificité la plus importante est une excellente maniabilité qui permet sa mise en place sous le seul effet de gravité, sans apport de vibration interne ou externe, même dans des coffrages très ferrailés et des sections complexes d'un accès difficile.

Les bétons autoplaçants ont été mis au point dans les années 90 au Japon. Depuis, leur utilisation ne cesse de s'étendre en Europe et sur le continent nord-américain en raison de l'intérêt économique et des possibilités techniques qu'ils représentent.

Les BAP présentent les particularités de compositions suivantes comparativement aux bétons vibrés: volume de pâte élevé, dosage élevé en fines, rapport G/S proche de 1 et un diamètre maximal de granulats D_{max} réduit.

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsqu'on limite le volume du gravillon pour $1m^3$ à la moitié de sa compacité. Les gros granulats sont l'origine de blocage des bétons en zone confinée c'est la raison pour laquelle leur volume est limité dans les BAP (rapport G/S) de l'ordre de 1, qui peut être augmenté de cas des ouvrages peu ferrailés.

Les BAP contiennent plus de pâte que le béton ordinaire, peut engendrer un problème de fissuration rapide due au retrait. L'ajout de fibres dans ce cas peut offrir des solutions techniques pour l'amélioration des performances mécaniques.

En effet, les fibres offrent une meilleure résistance à la fissuration, une meilleure ductilité et ténacité ainsi qu'une meilleure résistance à la traction par rapport à un béton sans fibres (fibres d'acier, de polymère, de carbone et végétales).

Le renforcement des matériaux cimentaires par des fibres végétales est relativement récent par rapport aux autres types de fibres. Les fibres végétales, présentent de multiples avantages économiques, renouvelables, écologiques et demandent peu d'énergie pour leur fabrication. Parmi les fibres végétales les plus utilisées, on peut citer le chanvre, la paille, l'Alfa, ... cette

dernière fibre a toujours été utilisée pour renforcer les matrices argileuses utilisées dans les anciennes constructions en terre dont la durabilité n'est plus à prouver.

La fibre de palmier dattier est choisie dans cette étude en raison de ces caractéristiques mécaniques et son originalité car peu de travaux lui ont été consacrés.

Dans cette étude, la fibre de polypropylène est utilisée comme fibre témoin.

Le travail que nous avons effectué est une partie de thèse de doctorat qui traite la variation du rapport G/S (1,6 et 2) et Dmax (16 et 20 mm).

- ✓ Nous avons optimisé cette formulation.
- ✓ L'introduction des fibres de palmier dattier avec trois longueurs 12, 20 et 30 mm.

L'encadreur nous a affecté la longueur de 20 mm.

L'objectif de ce travail consiste d'une part à étudier la possibilité de formuler des BAP à base de divers dosages en gros granulats et d'étudier leurs influences sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et à l'état durci ainsi que l'étude des propriétés de transfert et d'autre part d'évaluer les propriétés d'un BAP renforcé par la fibre de palmier dattier afin de voir l'influence de ces fibres sur les propriétés du béton autoplaçant fibré à l'état frais, durci et de durabilité.

A cet effet ce mémoire est structuré en quatre chapitres

Le premier chapitre nous présentera des généralités sur les bétons autoplaçants et bétons autoplaçants fibrés ainsi que les méthodes de caractérisation des différentes propriétés de ce type de béton.

Le deuxième chapitre traite de la caractérisation des matériaux utilisés dans ce travail et aux méthodes expérimentales employées. Les essais normalisés de caractérisation des BAP et autres tests spécifiques sont également exposés dans ce chapitre

Le troisième chapitre traite de la formulation d'un BAP et BAP fibré selon la méthode Japonaise

Le quatrième chapitre présente les résultats expérimentaux obtenus avec des discussions concernant l'effet de rapport G/S, l'influence des fibres de palmier dattier et les caractéristiques à l'état frais et à l'état durci de toutes les formulations retenues.

Nous terminerons ce mémoire par une conclusion générale qui résume les principaux résultats obtenus lors de cette étude.

CHAPITRE I

ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

I. Bétons autoplaçants

I.1. Introduction

Les bétons autoplaçants (en anglais Self Compaction Concrete), sont des bétons qui se caractérisent par une grande fluidité, une homogénéité et une mise en place correcte par gravitation et sans vibration. Ces bétons sont capables de remplir complètement le coffrage, même à travers une nappe d'armatures dense ou en présence d'autres obstacles, tout en ayant une résistance à la ségrégation suffisante pour rester homogène lors du transport, du pompage et de la mise en œuvre.[1]

L'idée de ces bétons, a été lancés vers le milieu des années 1980 par des chercheurs de l'université de Tokyo (au Japon) [2], ces bétons se développent maintenant dans le monde et semblent être amené à remplacer à terme les bétons vibrés classiques dans de nombreuses applications

La croissante importante de ce type de béton dans le monde se justifie par :

- Facilité de mise en place : diminution du temps de réalisation, diminution du personnel lors de la mise en place et réduction des coûts des processus industriels d'autre part.
- Amélioration de la qualité du béton (résistance et durabilité).

Aujourd'hui le BAP est utilisé dans le monde entier dans plusieurs types de Constructions :

- Les bâtiments civils et industriels,
- les ponts,
- les barrages,
- les travaux de renforcement).

I.2.Composition d'un BAP

Comparativement au béton ordinaire, les BAP se caractérisent par une composition différente, ils ont des compositions granulométriques fortement chargées en éléments fins. Des adjuvants de type (superplastifiant), ou plastifiants (réducteurs d'eau) sont utilisés systématiquement. [3]

Les BAP sont basées sur les critères suivant :

- Un volume de pâte élevé (ciment + addition + eau efficace + air)
- Une quantité de fines importante (pour empêcher la ségrégation).
- L'emploi d'un Super plastifiant (double effet électrique et stérique, qui leur permet de disperser au mieux les particules).
- Un faible volume de gravillon par rapport au BO.[4]

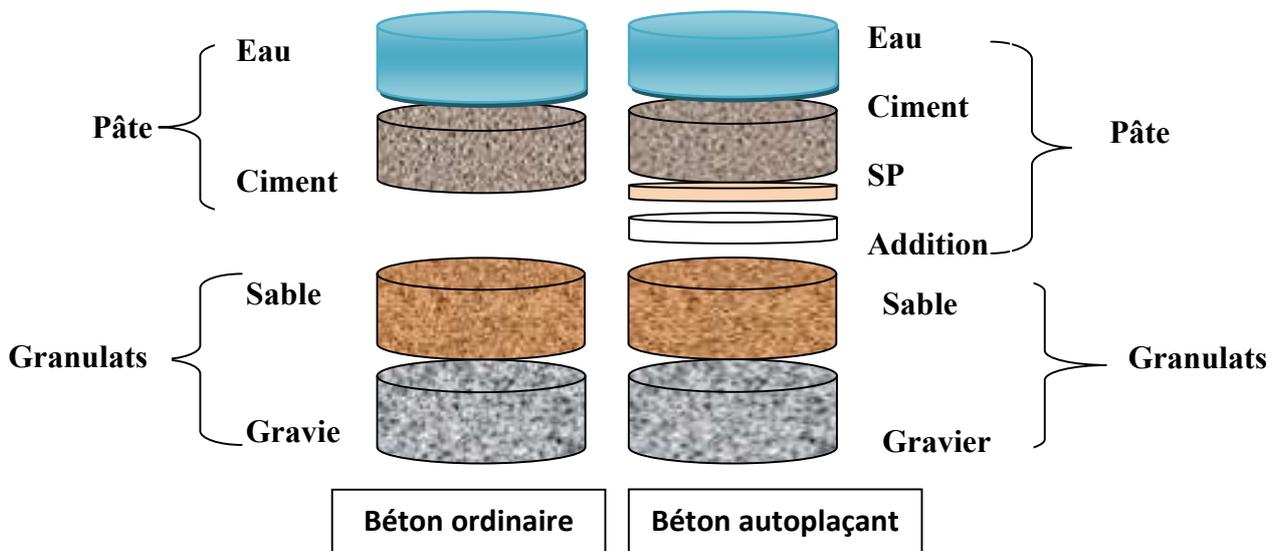


Figure I. 1 : composition d'un béton ordinaire(BO) et d'un béton autoplaçant (BAP).

Les avantages, les inconvénients et domaine d'application du BAP

▪ Les avantages

- Très fluides et absolument homogènes.
- Absence de vibration.
- Le coulage facile de structures complexes et souvent fortement ferrillées.
- Réduction du coût de la main d'œuvre, durée de construction plus courte. La réduction des nuisances sonores sur les chantiers.
- Pénibilité du travail moindre.
- L'allongement des temps d'ouvrabilité.
- Ils présentent des résistances et des durabilités analogues à celles des bétons traditionnels. [5]

▪ Les inconvénients

- le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire (très fluide).
- Augmentation du coût des matières premières (additions, adjuvants).
- Modifications des outils de fabrication (outils de mise en place). [6]

▪ Domaine d'application

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

- Possibilité de coulage de zones fortement ferrillées.
- Possibilité de coulage de zones d'architecture complexe et difficilement accessibles.
- Obtention de très bonnes qualités de parement.
- les bâtiments, les tunnels, la préfabrication. [7]



Photo - Le pont suspendu Akashi-Kaikyo à Kobe au Japon

Figure I. 2: Domaine d'application des BAP. [8]

I.3. Fabrication, transport et mise en place des BAP

I.3.1. Fabrication des BAP

En principe tous les types de malaxeurs conviennent pour la fabrication des BAP. Lors de l'introduction des différents constituants dans le malaxeur, on appliquera les mêmes consignes que celles recommandées pour les bétons vibrés, en les adaptant aux conditions locales dans chaque cas particulier.

L'intensité et le temps de malaxage ainsi que l'ordre d'introduction des constituants sont des facteurs qui influent fortement sur l'homogénéité du béton, sur l'effet optimal des additions et des adjuvants, c'est la raison pour laquelle on fixe le temps de malaxage à 120 secondes, cette moyenne peut être ajustée selon l'efficacité du malaxeur [9]

I.3.2. Transport des BAP

En raison de sa fluidité élevée, le béton autoplaçant doit être transporté en camion malaxeur. Comme dans le cas d'un béton vibré, la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres :

- Le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température.
- Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier.
- Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton.
- En revanche tout ajout d'eau est à proscrire. [9]

I.3.3. Mise en place des BAP

Par rapport au béton vibré la mise en place du béton autoplaçant est grandement facilitée, elle peut être réalisée par une seule personne et selon trois méthodes différentes :

La première méthode est celle utilisée pour les bétons ordinaires vibrés, la mise en place se fait à l'aide d'une goulotte. Pour limiter le phénomène de ségrégation favorisé par ce procédé il convient de fixer la hauteur de chute maximale du béton à 5m.

La deuxième méthode consiste à utiliser un tube plongeur immergé dans le béton frais, dans la partie inférieure du coffrage.

La mise en place des BAP peut se faire par pompage, par cette troisième méthode il y a réduction du bullage et obtention de parements lisses.

Pour réussir les ouvrages en béton autoplaçant il est capital d'appliquer scrupuleusement les recommandations de fabrication, de transport et de mise en œuvre. [9]



Figure I. 3 : Mise en place du BAP par un seul ouvrier.

II. Bétons autoplaçants fibrées

II.1.Introduction

Le renforcement des matériaux de construction, en l'occurrence les bétons et les mortiers, par des fibres est une technique de plus en plus utilisée dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques, notamment leurs résistances à la traction et à la fissuration ainsi que la ductilité.

Le rajout de fibres pour renforcer est une technique très ancienne, en effet, nos prédécesseurs utilisaient la paille pour renforcer l'argile. Et le crin (poils de chevaux) pour renforcer différents mortiers ou le plâtre.

Le béton de fibres est un matériau qui a connu ces derniers temps beaucoup de développements et nombreuses sont les études qui ont été effectuées durant les trois dernières décennies. Des fibres de toutes natures ont été expérimentées. Les plus répandues sont les fibres d'amiantes, de verre, d'acier, de plastique, de carbone et végétales.

II.2. Constituants de béton autoplaçant fibrées

II.2.1. Les granulats

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes (sable, gravier et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle, d'une forme roulée ou concassé. Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées. On limite en général le diamètre maximal des granulats à 16 mm. En général le rapport granulats / sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP. Les expériences a néanmoins montrent qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre maximal et de rapport différent.

Dmax des granulats doit être compris entre 10 et 20mm''. [10]

II.2.2.Le ciment

En principe, tous les types normalisés de ciment conviennent pour la fabrication de BAP. Cependant, l'utilisation du ciment portland (contenant seulement le clinker) nous donne toute latitude pour varier et contrôler les quantités introduites des additions minérales.

II.2.3.Eau de gâchage

L'eau de gâchage doit être propre, elle ne doit pas contenir de matière en suspension au-delà des tolérances réglementaires suivantes :

- 2 g/l pour les bétons à haute résistance
- 5 g/l pour les bétons à faible résistance
- L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :
- 15 g/l pour les bétons à hautes résistances.
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances. [10]

II.2.4. Les additions

Les additions minérales sont des matériaux minéraux finement divisés pouvant être partiellement substitués au ciment pour améliorer certaines de ses propriétés ou pour lui conférer des propriétés particulières. Les additions sont variées : le laitier granulé de haut fourneau, les calcaires, les pouzzolanes naturelles (siliceuses ou calciques), les fumées de silice, les cendres volantes. Les deux dernières additions ont des propriétés pouzzolaniques, c'est-à-dire qu'elles ne durcissent pas par elles-mêmes lorsqu'elles sont mélangées avec de l'eau, mais elles réagissent à température habituelle, en présence d'eau, avec l'hydroxyde de calcium ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) dissous issu des réactions d'hydratation, pour former des composés de silicates et d'aluminates de calcium développant des résistances. Ces composés sont semblables à ceux qui sont formés lors du durcissement des matières hydrauliques. [3]

▪ Les fillers calcaires

Les fillers calcaires sont très réactifs en présence de ciment, alors que les fillers siliceux sont pratiquement inertes. Cette réactivité dépend de :

- La nature du calcaire,
- Son état de cristallisation (une calcite à réseau cristallin désorganisé donne une augmentation de résistance plus rapide qu'une calcite à réseau cristallin désorganisé),
- Le type de broyage (en plus de l'action propre due à l'augmentation de la finesse, le broyage peut désorganiser la structure et améliorer la réactivité).

II.2.5. Les adjuvants

Les adjuvants sont des produits chimiques incorporés au béton frais en faibles quantités, afin d'en améliorer certaines propriétés, les principaux adjuvants sont :

- **Les Superplastifiants** : ils permettent d'obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. À une consistance donnée ils offrent la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et la mise en place du béton, et par conséquent augmenter les caractéristiques mécaniques du béton.
- **Les retardateurs de prise** : ils trouvent leur utilisation dans le transport du béton sur de grandes distances, en particulier par temps chaud. Ils sont aussi utilisés pour éviter toute discontinuité lors de reprise de bétonnage.
- **Les accélérateurs de prise** : ils trouvent leur utilisation dans la réalisation de Scellement ou d'étanchement
- **Les accélérateurs de durcissement** : ils permettent d'obtenir de bonnes caractéristiques mécaniques à jeune âge afin de décoffrer rapidement et augmenter par conséquent la cadence de travail, en particulier en temps froid.
- **Les entraîneurs d'air** : ils favorisent la formation de microbulles d'air (agrégats fictifs) de façon homogène afin d'augmenter la résistance du béton aux cycles gel-dégel.
- **Les hydrofuges de masse** : ils permettent d'étanchéifier le béton, en colmatant les pores capillaires, ils trouvent leur utilisation dans la réalisation des réservoirs d'eau, piscines, bache à eau. [3]

II.2.6. Les fibres

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle.

Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles. Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques. Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite. [11]

- **Rôles des fibres dans le béton**

Lorsque les charges appliquées au béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Les fibres noyées dans le béton permettent d'arrêter le développement de la fissuration. Les barres d'armature en acier jouent un rôle analogue, car elles agissent comme des fibres de grande longueur. Les fibres courtes et discontinues ont cependant l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme. Les fibres sont ajoutées à la gâchée de béton, qui contient habituellement du ciment, de l'eau et des granulats fins et grossiers. [11]

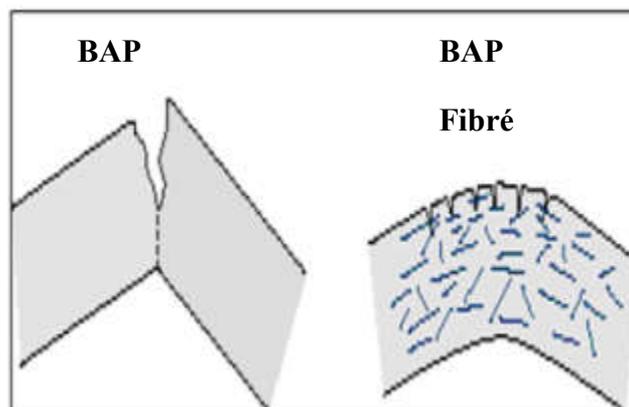


Figure I. 4: disposition d'un BAP et d'un BAP Fibré.

II.3 Types des fibres

On retrouve sur le marché plusieurs types de fibres, elles peuvent être classées par familles, un choix approprié du type de fibre à utiliser est essentiel. Chaque type de fibre possède des caractéristiques particulières qui les rendent apte à servir à une utilisation plutôt qu'à une autre. Ainsi l'adoption d'une fibre influencera les facteurs suivants:

- Densité
- Résistance tension et en compression
- Résistance aux impacts et à la fatigue
- Module d'élasticité
- Conductivités thermique et électrique
- Stabilité dimensionnelle
- Résistance aux conditions environnementales
- Coût

Les fibres utilisées dans la confection des bétons sont classées en quatre grandes familles selon leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques :

- Fibres minérales : verre, carbone.
- Fibres métalliques : acier, inox, fonte.
- Fibres organiques : polypropylène, acrylique.
- Fibres naturelles : Hévéa, Sisal ... [12]

▪ Les Fibres métalliques

Les fibres métalliques sont caractérisées par un module d'élasticité élevé, par conséquent, offre au béton une meilleure résistance à la traction, au choc et améliore sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues à la rupture, de même donne une ténacité appréciable, leurs formes et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités, en tête de clou). [12]



Figure I. 5: Fibres métalliques. [13][14]

▪ **Les Fibres de fonte amorphe**

Ces types de fibres sont obtenus par refroidissement brusque, d'un alliage métallique à base de fer, sont constituées de petits rubans de 1 à 3 mm de largeur, contribuent à la limitation des fissures sous chocs. [12]

▪ **Les Fibres de verre**

Sous leur forme habituelle, sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration, sous la forme de fibres de faible diamètre, le verre perd ce caractère, acquière de bonnes caractéristiques mécaniques, et sont utilisées pour fabriquer des éléments de faibles épaisseurs, avec des matrices de pâte ou mortier ou de micro béton.[12]



Figure I. 6: les fibres de verre. [13] [12]

▪ **Les Fibres de polypropylène**

Les polypropylènes, sont des produits d'origine pétrolière, découverts en 1954, ce matériau de synthèse a connu une extension croissante dans l'industrie de textile où ils apportent les avantages suivants :

- Disponibilité à prix relativement faible.
- Résistance aux attaques en milieux alcalins et corrosifs.
- Augmentation notable de la résistance aux chocs.
- Limite l'ouverture des fissures.

Ces fibres sont fréquemment utilisées dans le bâtiment, en particulier dans la réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façades, de tuyaux et pieux. [12]



Figure I. 7: les fibres de polypropylène. [15]

Tableau I. 1: Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres. [11]

Fibre	Diamètre, μm	Densité %	Allongement, %	Module d'élasticité, GPa	Résistance en traction, f GPa
Acier	5-500	7,8	3-4	200	1-3
Verre	9-15	2,6	2-3,5	80	2-3
Polypropylène	7,5	0,9	20,0	5	0,5
Particules de mica	0,01-200	2,9	-	170	0,25
Amiante	0,02-20	2,5-3,4	2,3	200	3
Carbone	7,5	1,7-2,0	0,5-1,0	300-400	2-3

Si le module d'élasticité de la fibre est élevé par rapport au module d'élasticité du béton, les fibres reprennent une part des charges, augmentant ainsi la résistance à la traction du matériau. L'augmentation du rapport longueur/diamètre des fibres accroît habituellement la résistance à la flexion et la ténacité du béton. Les valeurs de ce rapport sont généralement comprises entre 100 et 200, car des fibres de trop grande longueur ont tendance à former des boules dans le mélange, créant ainsi des problèmes d'ouvrabilité.

En général, les fibres réduisent le fluage, c'est-à-dire la déformation du béton avec le temps sous une contrainte constante. Par exemple, le fluage en traction d'un béton renforcé de fibres d'acier peut représenter seulement 50 à 60 % de celui d'un béton ordinaire et le fluage en compression, 10 à 20%.

Le retrait du béton, qui est provoqué par la perte de l'eau pendant le séchage, est en partie empêché par les fibres. Le retrait du béton peut être diminué de 35 % ou moins si l'on ajoute 1,5 % de fibres par volume.

D'autres propriétés du béton comme la résistance en compression et le module d'élasticité ne figurent pas dans les tableaux car elles sont nettement moins touchées par la présence des fibres. [11]

II.4. Les Fibres végétales

Une fibre végétale est une expansion cellulaire morte qui est principalement composée de cellulose, d'hémicelluloses, de lignine et de pectines. Elle est soit isolée soit regroupée avec d'autres en un faisceau. Il est primordial de ne pas confondre fibre unitaire (ou fibre élémentaire) et faisceau de fibres. Une fibre unitaire correspond à une cellule élémentaire fibreuse, qui, regroupée avec d'autres, forme un faisceau de fibres ; le lien interstitiel entre les fibres unitaires étant composé principalement de pectines et d'hémicelluloses. Ce sont généralement ces faisceaux de fibres qui sont communément appelés « fibres végétales ».

Une fibre végétale est caractérisée par sa finesse et sa forme allongée par rapport à son diamètre. La plupart des fibres végétales mesurent entre 10 et 150 μm de long pour un diamètre de 10 à 50 μm , soit un rapport longueur sur diamètre compris entre 10 et 100.[12]

II.4.1. Origines des fibres végétales

Les fibres végétales peuvent être issues de différentes parties de la plante :

- des graines (poils séminaux).
- de la tige ou du tronc (fibres libériennes).
- des fruits (enveloppe) ou des feuilles.
- Le bois est un cas particulier (composition, structure, etc.) qui doit être traité séparément. [12]

II.4.2. Les avantages et les inconvénients des fibres végétales

▪ Les avantages

- Ressource renouvelable.
- Demande peu d'énergie pour être produite.
- Propriétés mécaniques importantes.
- Ne présentent pas de danger pour la santé.
- Faible densité et permettent des dosages plus importants.
- Ne sont pas sujettes au phénomène de corrosion. [16]

▪ Les inconvénients

- Faible résistance aux hautes températures.
- Absorption d'eau.
- Mauvaise tenue au vieillissement.
- Demande la gestion d'un stock pour des applications industrielles
- Faibles résistances aux acides
- Nécessitent un traitement. [16]

II.4.3. Caractéristiques des fibres végétales

▪ Caractéristiques physiques et mécaniques

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité et son teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau.

Et elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, son élongation à la rupture et son module d'élasticité. [12]

▪ Caractéristiques chimiques

Les fibres végétales sont caractérisées par leur composition chimique qui influe énormément sur leur durabilité et spécialement dans les milieux alcalins.

La composition chimique des fibres végétales est formée de trois principaux constituants à savoir [7] :

- la cellulose,
- l'hémicellulose
- la lignine.

II.4.4. Types des fibres végétales

Tableau I. 2: Types des fibres végétales. [12]

Fibres	Définitions	Photos
Lin	Le lin appartient à la famille des linacées. On récupère les fibres situées à l'extérieur de la tige, sous forme de faisceaux, qui constituent la fibre technique. Cela requiert trois opérations : le rouissage, le teillage et le peignage.	
Ortie	Les fibres sont extraites de la grande ortie (<i>UrticaDioica</i>), plante très commune en France. bien connu en raison des brûlures qu'elle provoque, les fibres d'ortie étaient largement utilisées pour fabriquer des cordages, des fils et des vêtements.	
Ramie	La ramie est un arbuste de la famille des Urticacées, originaire d'Asie. Elle se présente sous la forme d'une touffe formée de tiges avec de grandes feuilles. L'extraction de la fibre nécessite un décorticage et un dégomme très poussés	
Chanvre	Le chanvre (<i>Cannabissativa</i>) est une plante annuelle qui est comme le lin. Le processus d'obtention de la fibre technique du chanvre est comparable à celui du lin. Traditionnellement le rouissage du chanvre se faisait à l'eau, technique aujourd'hui interdite car très polluante.	
Jute	Le jute (ou chanvre du Bengale) est une plante des régions tropicales appartenant à la famille des liliacées. Il en existe deux principales variétés : le jute blanc (<i>C. capsularis</i>) et le jute rouge (<i>C.olitorius</i>). La fibre ultime est très courte et très lignifiée. L'extraction de la fibre technique est obtenues par rouissage les tiges sont par la suite écrasées puis décortiquées. Cette filasse est par la suite lavée puis séchée au soleil.	
Bananiers	les fibres sont extraites manuellement par raclage et lacération au couteau. Elles sont ensuite mises à sécher.	
Kéna	Le kéna ou chanvre, plante annuelle à tiges épineuses de 2 à 4 m qui pousse essentiellement dans les zones tropicales humides (Inde, Afrique, Ile de Java). La fibre de kéna a des qualités comparables à celles du jute.	
Palmier Dattier	Certains palmiers sont utilisés à des fins textiles ; les fibres sont extraites soit des feuilles ou palmes (raphia, cocotier, palmier..), soit des fruits (cocotier).	

III. les influences sur les bétons autoplaçants fibrés

III.1. Influence de rapport G/S

Plusieurs études ont été réalisées afin de déterminer les quantités optimales en gros granulats capables de donner un maximum de déformabilité et d'ouvrabilité au béton.

Selon Yurugi et al. (1989)[17] le volume des 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 et plus la capacité de remplissage diminue.

Okamura et al. (1993)[18] mentionnent que le premier point dont il faut tenir compte lors de la formulation d'un BAP est de limiter la teneur en gros granulats car les bétons frais à faibles dosages en granulats se caractérisent généralement par une haute résistance aux ségrégations.

Khayat et al. (1994)[19] 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. [9]

III.2. Influence du diamètre maximal des gravillons

L'influence de la taille maximale (D_{max}) du granulat exerce une influence sur la résistance à la compression de béton. L'augmentation maximale du diamètre global à un impact négatif sur la résistance à la compression aussi le risque de blocage croît, la réduction de la taille des gros granulats contribué significativement à l'amélioration de la maniabilité. Les impuretés des granulats peuvent perturber l'hydratation du ciment ou entraîner des défauts d'adhérence granulats/pâte ayant un impact sur la résistance du béton. [20]

III.3. Influence des fibres

L'ajout de fibres dans le béton vient améliorer la ductilité et le comportement post fissuration

- **Optimisation rhéologique**

La quantité de fibres dans un béton est une caractéristique prépondérante vis-à-vis du comportement post fissuration. Soit deux fibres, l'une perpendiculaire au plan d'une fissure, l'autre inclinée par rapport à cette fissure. Si les deux fibres sont suffisamment éloignées l'une de l'autre, elles agissent indépendamment vis-à-vis de la fissure, la fibre perpendiculaire étant plus efficace que la fibre inclinée. Le bilan du couple se résume alors à la somme de leurs actions individuelles. En revanche, si la distance entre les deux fibres est telle que l'action de la fibre qui travaille le mieux conduit, en outre, à confiner la fibre qui fonctionne le moins bien (c'est-à-dire provoquer une étreinte autour de cette fibre), cette dernière verra donc son efficacité vis-à-vis de la fissure accrue. Le bilan devient alors la somme de leurs actions individuelles plus quelque chose qui est la conséquence de leur « entraide », qu'on peut également qualifier de synergie positive.

Au contraire, lorsqu'on rapproche de plus en plus les deux fibres, il arrive un moment où la quantité de pâte de ciment qu'il y a entre elle devient tellement faible que l'enrobage de chaque fibre devient insuffisant (même si l'on augmente la quantité de pâte de ciment avec le

pourcentage de fibres pour des raisons de maniabilité) pour assurer un fonctionnement correcte l'interface pâte-fibre. Les fibres travailleront moins efficacement que si elles avaient travaillé sans interactions. Le bilan est alors la somme de leurs actions individuelles moins un effet qui est la conséquence de leur « promiscuité », qu'on peut également qualifier de synergie négative. A partir de ce seuil, plus on ajoute des fibres, moins elles seront efficaces individuellement, et on assistera, au mieux, à une très faible augmentation des caractéristiques mécaniques et, au pire, à une diminution. [21]

IV. Approches de formulation des BAP

IV.1.Méthode Japonaise

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochise fait de manière sécuritaire, en privilégiant le volume de pâte au détriment des granulats. Les bétons obtenus sont sous dosés en granulats et par conséquent loin d'un optimum économique. Le surcoût engendré sur le matériau est compensé, au Japon, par les économies sur la main d'œuvre [22]. Les principes de formulation et leur application sont les suivants :

- **Dosage des gravillons**

Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1 m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de grains et du volume total du système grains + vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage. A défaut d'indication, nous avons choisi de la mesurer en suivant la procédure du LCPC. La compacité est pour chaque gravillon d'environ 0,57. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/10 mm, le volume du gravillon est donc posé à 285 l/m³. Dans le cas de la formule de granulométrie 0/14 mm, nous choisissons de répartir ce volume pour moitié en 6/10 et en 10/14.

- **Dosage du sable**

Le volume du sable est posé 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 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 et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

- **Dosage de l'eau et du super plastifiant**

Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir. [22]

IV.2. Méthode Suédoise: proposée par [Pettersson et al, 1996]

Cette méthode est basée sur la méthode japonaise citée ci-dessus, 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 vérifie les propriétés rhéologiques recherchées. Les dosages des fines, de l'eau et du superplastifiant 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.[23]

IV.3. Méthode Française : (LCPC) proposée par [De Larrard et al, 1994]

Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

- les distributions granulaires
- les proportions du mélange
- la compacité propre
- la densité apparente
- La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante :
- la proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple)
- le dosage, à saturation, du Superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- le besoin en eau de ce mélange (en présence du Superplastifiant) est déterminé
- les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effet de paroi).

La viscosité est fixée de manière arbitraire à $5 \cdot 10^4$ La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante. Les proportions granulats/phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton autoplaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton autoplaçant sont atteintes. [23]

V. Caractérisation d'un BAP Fibré à l'état frais

Caractérisations à l'état frais des BAP fibrés sont similaires à celle des BAP.

V.1.Essai d'étalement

Pour la détermination de l'étalement (SLUMP FLOW) on utilise le même cône que celui normalement utilisé pour l'essai d'affaissement. Ce cône est placé sur une plaque d'étalement, à surface propre et humidifiée et de dimension suffisante (≥ 800 par 800 mm), puis il est rempli de BAP. Le cône est ensuite soulevé et le BAP en sort en formant une galette qui s'élargit sous sa propre énergie, sans qu'il soit nécessaire de soulever et de laisser retomber la plaque, comme dans l'essai classique d'étalement. La valeur de l'étalement correspond au

diamètre moyen de la galette de béton ainsi obtenue qui devrait être comprise entre 600 et 800 mm NF EN 12350-8. [24]

Pour l'AFGC les valeurs ciblées d'étalement sont généralement fixées dans la fourchette 55 à 85 cm [4]. Il est possible aussi de mesurer le temps d'écoulement du béton pour atteindre un étalement de 50 cm (noté t_{500}) ce qui donne un indice sur la viscosité d'un mélange de béton.

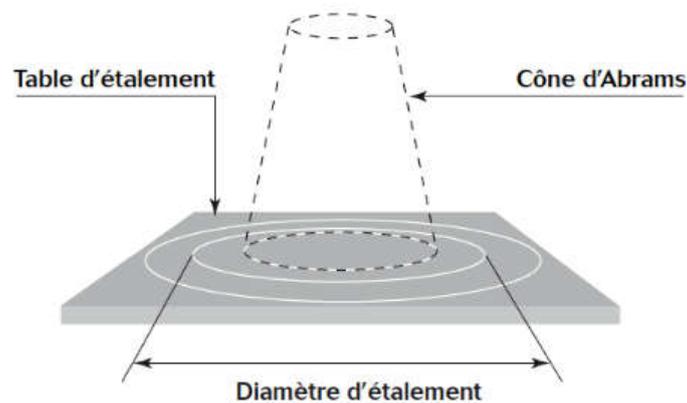


Figure I. 8: Représentation schématique de l'essai d'étalement. [24]

V.2. Essai de la boîte en L

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 inacceptables.

Le mode opératoire est exprimé d'après l'AFGC [4] et NF EN 12350-10 [25] comme suit : la partie verticale de la boîte est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boîte à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm (39 mm entre 3 barres \varnothing 14).

Quand le bétonne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage $H2/H1$, Pour que le BAP soit accepté le rapport des hauteurs $H2/H1$ doit être supérieur à 0,8.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation. [4] [24]

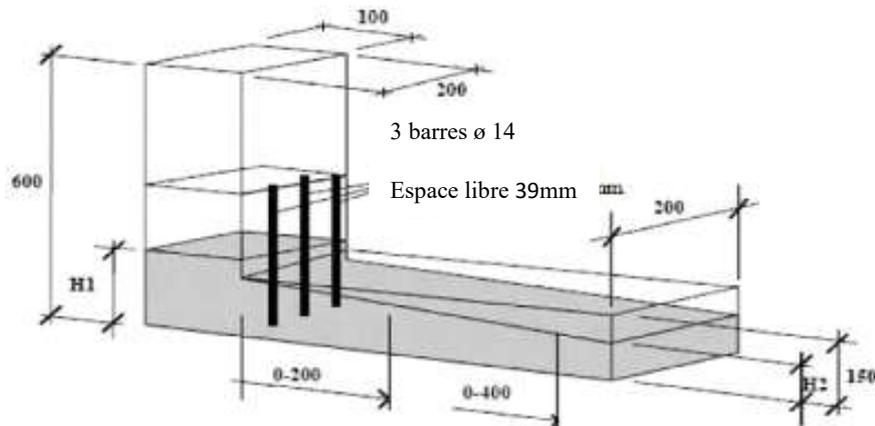


Figure I. 9 : Représentation schématique de l'essai à la boîte en L. [24]

V.3. Essai de stabilité au tamis

A la fin du malaxage, dix litres (10 litres) de béton sont versés dans un seau. Après une attente de quinze minutes, une masse 4,8 kg de béton est versée du seau sur un tamis de maille 5 mm. Deux minutes plus tard, on pèse la quantité de pâte (laitance) ayant traversé le tamis. Un pourcentage élevé de laitance par rapport à la masse initiale est un indicateur d'une faible résistance à la ségrégation. L'AFGC [4] a proposé, en plus, un essai de mesure du ressuage qui semble avoir été abandonné aujourd'hui, car peu pertinent (le ressuage est faible chez les BAP) et très contraignant (utilisation d'un liquide nocif). [4]

Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en deux classes :

- ✓ PLAITANCE < 15% : le béton est stable
- ✓ PLAITANCE < 20% : le béton présente un risque de ségrégation. [26]

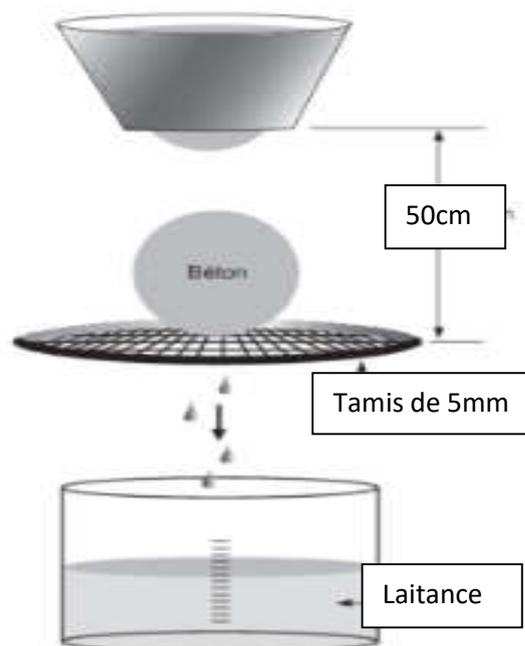


Figure I. 10: Représentation de l'essai de stabilité au tamis. [25]

VI. Influence des fibres sur les propriétés des BAP

VI.1. à l'état frais

Une étude réalisée par Grünewald [27] sur les BAP fibrés pour étudier l'influence du dosage et de la géométrie de la fibre métallique ou polypropylène sur le béton autoplaçant à l'état frais.

▪ Effet sur l'étalement

Les résultats des plusieurs tests d'ouvrabilité montrent que l'augmentation du dosage de fibres entraîne la diminution de l'étalement. En observant la figure 12-a, on peut remarquer une ovalisation de la galette concernant les BAP renforcées par des fibres métalliques qui présentent une surface spécifique élevée (Dramix 80/30 PB), donc ces fibres gênent l'étalement du béton dans plusieurs directions. [28]

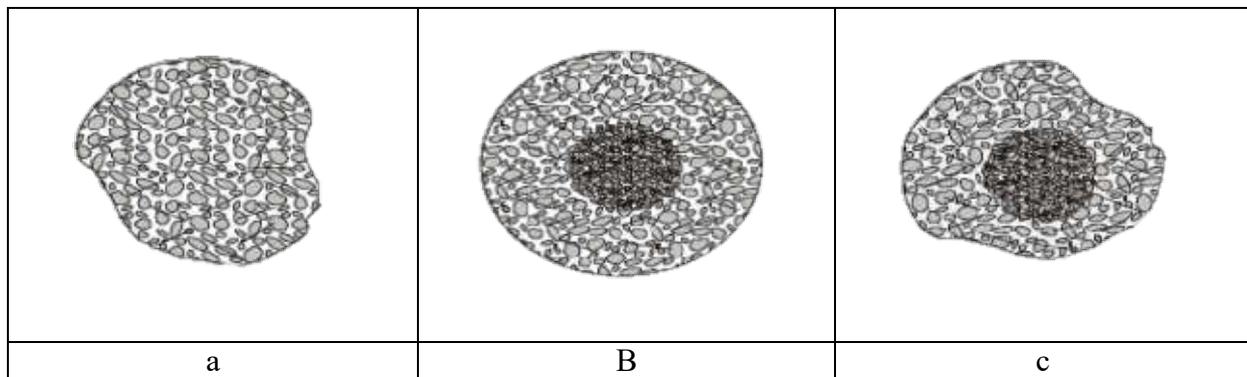


Figure I. 11: Effets des fibres sur l'étalement des BAP. [29]

De plus, quelques formulations (figure 12-b) renforcées par des fibrés plus longues (Dramix 80/60 BN), présentent une ségrégation (accumulation des fibres et des granulats au milieu). La Figure 12- c illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu (ex : Dramix 65/40 BN). [16]

▪ Effet sur la (boîte en L)

Après les recherches et les essais du **kassimi** [30] sur la maniabilité il a trouvé que le rapport (h_2/h_1) de l'essai de la boîte en L diminue avec l'augmentation du facteur de fibres.

VI.2. à l'état durci

Les fibres ont un effet sur les caractéristiques mécaniques du béton autoplaçant à l'état durci (résistance à la compression, à la traction, et à la flexion). Les fibres influent directement sur l'ouverture des fissures et donc sur la ductilité après fissuration.

▪ Comportement à la compression et à la traction

Alcantara[31] a constaté que l'introduction des fibres influence légèrement la résistance à la compression des BAP. La résistance à court terme est assez faible, peut-être à cause d'un effet de retard de l'hydratation de la composition ou l'addition en contact avec l'adjuvant.

Toutefois, à longue échéance et pour un même rapport E/L , la résistance en compression est semblable à celle d'un béton vibré.

Après 28 jours, la résistance mécanique en compression a été prise pour plusieurs types de bétons, avec une faible réduction des rapports R_c/R_t entre 7 et 28 jours. Cette diminution est vraisemblablement due à l'amélioration de l'adhérence entre la fibre et la matrice cimentaire à long terme. Ce mécanisme favorise l'amélioration de la résistance à la traction par flexion. [28]

VII. Caractérisation d'un BAP Fibrés à l'état durci

Caractérisations à l'état durci des BAP fibrés sont similaires à celles des BAP.

VII.1. Propriétés mécaniques des BAPF

▪ La résistance mécanique

Les résistances mécaniques d'un BAP sont, comme pour la plupart des bétons, directement liées à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment. Elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances jusqu'à des BAP à hautes performances 80 à 100 MPa. L'évolution des résistances à la compression des BAP semble être voisine de celle des bétons ordinaires en raison de l'utilisation fréquente de fillers calcaires connus pour avoir un effet accélérateur.

Aux très jeunes âges, les résistances des BAP peuvent être affectées lorsque ces bétons contiennent des quantités importantes de superplastifiant, un dosage trop élevé pouvant conduire à un retard de prise considérable. Il est possible cependant d'atteindre des résistances mécaniques élevées au démoulage en optimisant le choix et le dosage en adjuvants. En fonction des propriétés pouzzolaniques des additions, les résistances mécaniques des BAP peuvent continuer à croître au-delà de 28 jours. [32]

▪ Le module d'élasticité

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si le BAP contient une faible quantité de gros granulats et si on se réfère à la formule réglementaire du module « $E_{ij}=11000f_c^{1/3}$ », celui-ci ne dépend que de la résistance du béton. Ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré. [9]

▪ Retrait

Tenant compte du volume de pâte plus important qu'ils contiennent, les BAP sont susceptibles d'être plus déformables que les bétons ordinaires. Les données de la littérature dans ce domaine montrent bien une tendance au retrait total plus importante pour les BAP. Comme leur retrait endogène varie entre 180 et 250 $\mu\text{m/m}$, il semble être inférieur ou égal à celui des bétons ordinaires. Leur retrait de séchage est donc plus élevé (environ 800 $\mu\text{m/m}$). Ce retrait de séchage est d'autant plus important que le rapport E/C soit grand mais paraît d'autant plus faible que le rapport G/S est élevé. [3]

- **Fluage**

Le fluage étant directement lié à la déformabilité de la matrice cimentaire, on peut s'attendre à ce que le volume de pâte des BAP, généralement supérieur à ceux des bétons ordinaires, conduise à des déformations de fluage importantes. Selon **PERSSON (1999) [33]**, le fluage des BAP augmente significativement lorsque les charges sont appliquées aux jeunes âges, et diminue lorsqu'il s'agit de BAP à hautes performances. [32]

- **L'absorption d'eau par capillarité**

La capillarité intervient quand le béton est en contact avec une phase liquide. Ainsi, de l'eau peut être absorbée et retenue dans les pores du béton sous l'effet des forces des ménisques qui résultent des tensions inter- faciales solide/liquide/gaz. Ayant une structure poreuse non uniforme qui évolue dans le temps et selon les conditions d'exposition, ainsi qu'un état hygrométrique difficile à établir, les bétons présentent un comportement hydrique difficilement modélisable. [34]

VII.2. Durabilité

La durabilité du béton est en général relative aux paramètres de composition en termes de compacité et de nature chimique du liant (et de la minéralogie des granulats pour l'alcali-réaction).

Les règles applicables pour les bétons ordinaires restent valables pour les bétons autoplaçants. De plus, les écarts possibles entre les éprouvettes de béton testées en laboratoire et les performances réelles du béton mis en œuvre, sont moindres.

Au niveau du béton armé, les BAP apportent également de meilleures garanties : l'adhérence des BAP aux armatures est similaire à celle des bétons ordinaires mais, dans certaines configurations (nappes supérieures de pièces épaisses), la meilleure stabilité des BAP, vis-à-vis du ressuage, élimine les défauts rencontrés avec certains bétons ordinaires et peut améliorer l'enrobage des armatures. [35]

Conclusion

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons autoplaçants fibrés, nous avons rassemblé des informations générales sur les BAP, leurs compositions, les avantages et inconvénients, leurs applications, les études et les approches les plus importantes effectuées par les chercheurs afin d'obtenir les meilleurs résultats ainsi que les différents essais appliqués à ce béton. A travers cette étude nous avons également appris le rôle des fibres et leurs effets sur les bétons autoplaçants à l'état frais et durci

Nous avons aussi abordé l'influence des granulats et des fibres sur les caractéristiques des BAP à l'état frais et à l'état durci.

Donc on peut tirer de ce chapitre : les bétons autoplaçants ou BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables, ils se mettent en œuvre sans vibration ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation des constructions.

Dans le cadre de nos recherches, le deuxième chapitre sera consacré à la caractérisation des matériaux utilisés dans notre thème.

Références du chapitre I

- [1] **GieWollaert. Arch., Béton autoplaçant, bulletin est publié par : FEBELCEM - Fédération de l'Industrie Cimentière Belgerue, Bruxelles, 2005.**
- [2] **T.SEDRAN, Les bétons autonivelants (BAN) synthèse bibliographique, Bulletin de liaison LCPC (Laboratoire Central des Ponts et Chaussées), mars 1995**
- [3] **ZAHOUANI Hassan ; TOUAITI Abdelaziz. En vue de l'obtention du Diplôme de MASTER en Génie Civil. UNIVERSITE KASDI MERBAH OUARGLA 2011**
- [4] **Documents scientifiques et techniques; Association Française se Génie Civil AFGC. Janvier 2005.**
- [5] **NF EN206-1, «Béton - Partie 1 : spécification, performances, production et conformité » ; Avril 2004**
- [6] **<http://www.guidebeton.com/beton-autoplaçant>.**
- [7] **Professeur ASHOURA Djamel ; Cour du béton autoplaçant. Master en Génie Civil UNIVERSITE BADJI MOKHTAR.ANNABA**
- [8] **<http://www.umacon.fr/beton-autoplaçant>**
- [9] **MEDAR MOHAMED AMINE; DJADIBOUALEM. En vue l'obtention du diplôme Master Spécialité Génie de matériaux .UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA – BOUMERDES.2015 – 2016.**
- [10] **Naamaoui née Haddadou Naima. En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT en: Filière : Sciences et Génie des Matériaux .UNIVERSITE M'HAME BOUGARA-BOUMERDES**
- [11] **<http://brahim-safi.e-monsite.com/medias/files/chap-i-methodes-de-formulation-des-bap.pdf>**
- [12] **GHARIBI Wahiba .En vue l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Civil. Université Frères Mentouri. 04 Juin 2015.**
- [13] **<http://www.cemsteel.be>**
- [14] **<https://tel.archives-ouvertes.fr>.**
- [15] **<https://www.indiamart.com>**

[16] LAIFA Walid ; En vue de l'obtention du diplôme de DOCTORAT 3ème Cycle en Génie Civil. UNIVERSITE BADJI MOKHTAR.ANNABA 2015.

[17] MENAI KH, "Etude de l'Effet d'Ajouts Chimiques et Minéraux sur la Maniabilité, la Stabilité et les Performances des Bétons Autonivelants", Mémoire de Maîtrisées Sciences Appliquées. Spécialité :Génie Civil, Université de Sherbrooke, CANADA, Septembre1995.

[18] OKAMURA H, OUCHI M, "Self-Compacting Concrete", Journal of Advanced Concrete Technology, Vol, 1, No. 1, 5-15, April 2003.

[19] KHAYAT K H, "Workability, Testing, and Performance of Self-Consolidating Concrete", ACI Materials Journal, V. 96, No. 3, May-June 1999.

[20]M. DRISSI, B. MEZGHICHE, M. L. K. KHOUADJIA, Laboratoire de recherche en Génie Civil (LRGC), Département de Génie Civil et Hydraulique, Université de Biskra, Algérie. Décembre 2015

[21] TABET Nesrine. En vue l'obtention du Diplôme de Magister en Génie Civil. UNIVERSITE M'HAMED BOUGARA –BOUMERDES. 2011-2012.

[22]BOUKNI Bariza tenue au feu des betonsautoplacants

[23]Z. ABIB, Formulation et caractérisation des bétons autoplacants, thèse de magister USTHB,2004

[24] NF EN 12350-8, «Essai pour béton frais - partie 8 : béton auto-plaçantEssai d'étalement au cône d'Abrams » ; Novembre 2010

[25] NF EN 12350-10, « Essai pour béton frais - Partie 10 : béton auto-plaçant - Essai à la boîte en L » ; Novembre 2010

[26] NF EN 12350-11, « Essai pour béton frais - Partie 11 : béton auto-plaçant - Essai de stabilité au tamis » ; Novembre 2010

[27] GRUNEWALD, S. Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete, Ph D thesis, 233 p. (2004).

[28]LAIFA, W., BEHIM, M., ANACLET, T., ALI-BOUCETTA, T. Caractérisation d'un béton autoplacant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène et de disse. Revue des Sciences et de la Technologie, Synthèse, vol.29, p.100-110, 2014.

- [29] Grunewald S., Walraven J.C., (2001) —Parameter-study on the influence of steel fibers and coarse aggregate content on the fresh properties of self-compactingconcretel, Cement and Concrete Research vol.31, pp. 1793-1798
- [30] KASSIMI, F. Optimisation et performances mécaniques et structurales des bétons autoplaçants fibres. Mémoire de Maîtrise ès Sciences Appliquées. Spécialité : Génie Civil, université de Sherbrooke, Canada, 2008.
- [31]ALCANTARA M. Béton autoplaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC.2004
- [32] IDJAHNINE Mohamed Yahia A/Halim, en vue de l'obtention du diplôme de MAGISTER en Génie Civil, UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA. 15/ 06 / 2009.
- [33] HanaaFares, Propriétés mécaniques et physico-chimiques de Bétons autoplaçants exposés à une température élevée. Matériaux. Université de Cergy Pontoise, 2009. Français.
- [34] E. Wirquin, R. HadjievaZaharieva et F. Buyle-Bodin, Utilisation de l'absorption d'eau des bétons comme critères de leur durabilité – Application aux bétons de granulats recyclés
- [35] François CUSSIGH, Bétons autoplaçants (BAP).Ingénieur Vinci Construction France, 10/11/2007

CHAPITRE II

METHODES EXPERIMENTALS

CARACTERISATION DES MATERIAUX ET

PROGRAMME EXPERIMENTAL

**CHAPITRE II : METHODES EXPERIMENTALES, CARACTERISATION DES
MATERIAUX ET PROGRAMME EXPERIMENTAL**

I. Introduction

Les matériaux de construction, ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des bétons à l'état frais et durci car chacun apporte par ses propriétés son influence sur la qualité finale du béton formulé.

A travers ce chapitre nous allons présenter les matériaux utilisés et leurs caractéristiques. Pour cela on s'appuie sur un ensemble d'essais qui décriront les propriétés des différents constituants utilisés pour la formulation d'un béton autoplaçant (ciment, additions minérales, granulats, adjuvants, eau et fibres). Nous présenterons ensuite les méthodes expérimentales qui permettent de caractériser les bétons autoplaçants et leurs particularités de point de vue propriétés à l'état frais, durci et sur les propriétés de transfert.

A. METHODES EXPERIMENTALES:

I. Les granulats

I.1. Les sables

Les sables sont caractérisés par les essais physiques suivants :

- Masses volumiques apparente et absolue
- Une analyse granulométrique.
- Module de finesse
- Equivalent du sable.

I.1.1 Masse volumique apparente et absolue

• **Masse volumique absolue**

La masse volumique apparente est la masse par unité de volume de la matière qui constitue le granulat, y compris les vides et des pores entre des grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3 [1]

✓ **Principe de l'essai :**

L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume (V) connu de matériau sec de masse (M) sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau. On calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho_{app} = \frac{M}{V}(\text{kg/m}^3)$$



Figure II. 1: Essai de masse volumique apparente.

• **Masse volumique absolue (des grains)**

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans vides entre les grains.

✓ **Principe de l'essai :**

Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3 [1]. 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 granulat de masse (M) dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de

l'eau, dont le volume sera lu par la différence de niveau du liquide dans le tube en verre (figure II.4) ($V = V_1 - V_0$)

$$\rho_{abs} = \frac{M}{V}(g/cm^3)$$



Figure II. 2: Essai de masse volumique absolue.

I.1.2. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux des granulats selon leurs diamètres respectifs. Pour les sables, on utilisera en général les tamis de modules 0.08 – 0.16 – 0.315 – 0.63 – 1.25 – 2.5 – 5.0. Alors que Et pour le gravier, on utilisera en général les tamis de modules 5.0 – 6.3 – 8 – 10 – 12 – 16 – 20 .L'essai selon la norme NF P 18-560. [2]

✓ Principe de l'essai :

L'essai consiste à classer les différents grains constituant l'échantillon en utilisant un série des tamis, emboîtées les uns sur les autres, dont les dimensions des ouvertures sont décroissantes du haut vers le bas. Le matériau étudié est placé en partie supérieur des tamis et le classement des grains s'obtient par vibration de la colonne des tamis.



Figure II. 3: Analyse granulométrique.

I.1.3. Module de finesse

La norme XP P 18-540[3] définit le module de finesse d'un sable, qui caractérise sa granularité, comme le $\frac{1}{100}$ de la somme des refus, exprimés en pourcentage, sur les différents tamis de la série suivante : 0,16 - 0,315 - 0,63 - 1,25 - 2,5 - 5,0 mm.

Tableau II. 1 : Valeurs du module de finesse. [3]

Valeurs du module de finesse	Observations
1.8 et 2.2	Sable fin
2.2 et 2.8	Sable moyen, normal, usage préférentiel
2.8 et 3.3	Sable gros recommandé pour les bétons résistants mais moins maniable

I.1.4. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) :

Cet essai a pour but de mesurer la propreté des sables entrant dans la composition des bétons. L'essai consiste à séparer les floccules fins contenues dans le sable. Une procédure normalisée permet de déterminer un coefficient d'équivalent de sable qui quantifie la propreté de celui-ci selon la norme P 18-597 [4]

$$ES = \frac{h1}{h2} \times 100\%$$

- Hauteur h1 : sable propre + éléments fins.
- Hauteur h2 : sable propre seulement.



Figure II. 4: Essai d'équivalent de sable.

Les Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable sont présentés dans le tableau II.6.

Tableau II. 2 : Valeurs préconisées pour l'équivalent de sable. [4]

ES	Nature et qualité du sable
ES <60	Sable argileux - Risque de retrait ou de gonflement, à rejeter pour des bétons de qualité
$60 \leq ES < 70$	Sable légèrement argileux - de propreté admissible pour béton de qualité quand on ne craint pas particulièrement de retrait
$70 \leq ES < 80$	Sable propre - à faible pourcentage de fines argileuses Convenant Parfaitement pour les bétons de haute qualité.
ES >80	Sable très propre - l'absence presque totale de fines argileuses risque d'entraîner un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par une augmentation du dosage en eau.

I.2. Gravier

Les gros granulats sont caractérisés par les essais physiques suivants :

- Masses volumiques apparente et absolue
- Analyse granulométrique
- Essai Micro Deval
- Essai de Los Angeles

I.2.1. L'essai Micro Deval

L'essai Micro-Deval a pour but la détermination la résistance à l'usure par le frottement réciproque des éléments d'un granulat. La norme P18-572[5] permet de déterminer le coefficient de micro-Deval.



Figure II. 5: La machine de micro Deval.

I.2.2. Essai de Los Angeles

L'essai Los Angeles permet de mesurer les résistances combinées aux chocs et à la détérioration progressive par frottement réciproques des éléments d'un granulat. Ce mode opératoire s'applique aux granulats utilisés pour la constitution des chaussées et bétons hydrauliques. La norme P18-573 [6] décrit l'essai Los Angeles.



Figure II. 6: La machine de Los Angeles.

I.3. Confection et conservation des éprouvettes :**I.3.1. Séquences de malaxage des BAP et des BAPF :**

Après avoir déterminé les proportions de chaque constituant on suit le mode opératoire de la préparation du béton autoplaçant et du béton autoplaçant fibré suivant.

- 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.
- Pré-mouillage de la bétonnière 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 pré-mouillage est nécessaire pour réduire les migrations d'eau de la pâte de ciment vers les fibres.
- Introduction des différentes fractions granulaires dans la bétonnière, 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 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 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 2 minutes. La durée totale du malaxage est de 5 minutes. Remplir les éprouvettes en deux/trois couches sans vibration.



Figure II. 7 : malaxage et pré-mouillage exécuté au laboratoire.

I.3.2. Conditions des conservations des éprouvettes

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 conservée immergée sous l'eau dans un bac jusqu'à 27 jours et une autre série a été conservée à l'air libre jusqu'à 2 jours pour les essais de caractérisation mécanique et pour contrôler les propriétés de transfert des BAP et BAPF.



Figure II. 8: Conservations des éprouvettes.

I.2.3. Caractérisation des BAP à l'état frais

Différents essais spécifiques permettent 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).

- **Essai d'étalement**

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**[7].

- ✓ **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, araser 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.
- 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 : $D_{moy} = (d_1 + d_2) / 2$.



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

- **Essai de la boîte en L**

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[8]

- ✓ **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 H_1 et H_2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H_2/H_1 .



Figure II. 10: Essai de Boîte en L exécutés au laboratoire.

• **Essai de stabilité au tamis**

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**[9].

✓ **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.
- Le pourcentage de la laitance : $\frac{(m_{ps}-m_p)}{m_c} \times 100$

Avec :

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.



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

- **Densité (la 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/m^3), décrit dans la norme **NF EN 12 350-6**[10]. 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 : $\rho_{\text{app}} = \frac{m_{\text{rempli}} - m_{\text{vide}}}{V} (\text{Kg/m}^3)$

Avec :

m_{rempli} : la masse du récipient rempli de matériau en kg

m_{vide} : la masse du récipient vide en kg.

V : volume du récipient en m^3 .



Figure II. 12 : Moules pour essai de la masse volumique apparente sur béton frais.

I.3.4. Caractérisation à l'état durcis

- **Essai de compression**

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 1,2, 7, et 28 jours.

La résistance en compression a été évaluée suivant la norme **NF EN 12390-3**. [11]



Figure II. 13 : Essai de compression.

- **Essai de traction par flexion**

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 1,2, 7, et 28 jours. La résistance en traction a été évaluée suivant la norme NF EN 12390-5. [12]



Figure II. 14 : Essai de traction par flexion.

- **Absorption d'eau par capillarité**

L'essai a été réalisé suivant la recommandation de l'AFPC-AFREM [13] 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 immergés 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 :
$$C_{at} = \frac{M_t - M_0}{A}$$

Avec :

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 :
$$C_a = \frac{C_{a8} - C_{a1}}{\sqrt{8} - \sqrt{1}}$$

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

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



Figure II. 15 : Essai d'absorption par capillarité.

- **Porosité par immersion total**

L'objectif de cet essai est mesurer le pourcentage de vide connecté à la surface du béton. Cette porosité est déterminée selon le mode opératoire des recommandations de l'AFPC-AFREM [13]. Les mesures sont effectuées après 28 jours de maturation sur des échantillons cylindriques (11x5) cm. Le principe de cette méthode consiste à peser les échantillons sous différents états (hydrostatique, saturé et sec).

- ✓ **Détermination de la masse du corps d'épreuve immergé**

Suspendre le corps d'épreuve à l'aide d'un fil à partir du système de suspension de la balance hydrostatique et le peser complètement immergé dans une certaine quantité d'eau d'immersion contenue dans un bêcher. On obtient ainsi la masse M_{eau} du corps d'épreuve immergé.

- ✓ **Détermination de la masse du corps d'épreuve imbibé pesé dans l'air**

Extraire le corps d'épreuve de l'eau et l'essuyer rapidement et soigneusement, à l'aide d'une éponge humide, afin de la débarrasser des gouttelettes et du film superficiel d'eau, sans toutefois retirer l'eau des pores.

Peser immédiatement le corps d'épreuve dans l'air. S'assurer que l'évaporation de l'eau d'imbibition ne provoque pas de perte de masse appréciable pendant les opérations de pesées. On obtient de cette manière, la masse M_{air} du corps d'épreuve imbibé.

- ✓ **Détermination de la masse du corps d'épreuve sec**

Sécher le corps d'épreuve à $105 \pm 5^\circ\text{C}$ jusqu'à ce que deux pesées successives, avant et après un séjour de 24h à l'étuve, ne diffèrent pas de plus de 0.05%. La masse ainsi déterminée est la masse de l'éprouvette sécher M_{sec} .

La porosité accessible à l'eau (ϵ), exprimée en pourcentage est donnée par l'équation :

$$\epsilon = \frac{M_{air} - M_{sec}}{M_{air} - M_{eau}} \times 100$$

Avec :

M_{eau} : la masse, en gramme, du corps d'épreuve immergé dans l'eau,

M_{air} : la masse, en gramme, du corps d'épreuve imbibé pesé dans l'air,

M_{sec} : la masse, en gramme, du corps d'épreuve sec.

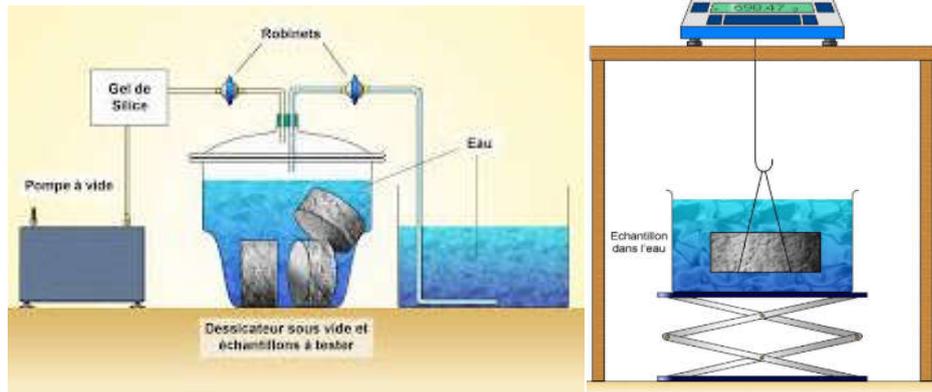


Figure II. 16 : Mesure de la porosité par immersion total.

B. CARACTERISTIQUES DES MATERIAUX

I. Ciment

Le ciment utilisé dans cette étude est de type CEM II/A de classe 42.5, c'est un ciment portland composé, résultant d'un broyage simultané de clinker (70 à 80 %), de laitier granulé (15 à 25 %) et de gypse (5 %), conforme à la norme algérienne NA 442 (NA 442, 05) [14] et provenant de la cimenterie de Hdjar Essoud.

La composition chimique et minéralogique du ciment sont données dans les tableaux II.3 et II.4.

Tableau II. 3 : Composition chimique du ciment.

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Cl ⁻	K ₂ O	SO ₃	PAF	CaO libre
%	55-65	5-6	22-28	3-3,6	1-2	0,1-0,16	0-0,01	0,3-0,6	1,8-2,5	1-2	0,8-1,8

Tableau II. 4: Composition minéralogique du clinker.

Minéraux	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF
%	52-58	10-25	8-12	9-13

II. Filler calcaire

Le filler utilisé dans notre travail est un filler calcaire composé essentiellement de calcite CaCO₃ avec une teneur supérieure à 70%. Après récupération et broyage des roches calcaire à une finesse supérieure à celle du ciment. La composition chimique du filler calcaire est donnée dans le tableau II.5.

Tableau II. 5: Caractéristique chimique du filler calcaire.

Oxydes	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	Na ₂ O	Cl	SO ₃	PAF	K ₂ O
%	55,51	0,11	0,50	0,06	0,20	0,08	0,027	0,06	42,5	0,01



Figure II. 17: Filler calcaire.

III. Adjuvant

L’adjuvant employé est un plastifiant - réducteur d’eau à base de poly- carboxylates modifiés, commercialisé par la société Algérienne Sika sous l’appellation (Viscocrete 3045). Ces propriétés données par le fabricant sont regroupés dans le tableau II.6.

Tableau II. 6: Propriétés physico-chimiques du plastifiant.

Caractéristiques	Valeurs
Masse volumique (kg/m ³)	1110
pH	5 ± 1
Teneur en ions chlore (%)	≤ 0,1
Teneur en Na ₂ O Eq (%)	≤ 2,5
Extrait sec(%)	36,4 ± 1,8
Plage d’utilisation (%)	0,25 à 2,5

IV. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée pour la préparation des différents mélanges est une eau potable de robinet de laboratoire du génie civil.

V. Fibres

Nous avons utilisées dans cette étude deux natures de fibres, synthétique de polypropylène et végétale de palmier dattier.

V.1. Les fibres de palmier dattier

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 [15]).

Les fibres utilisées dans cette étude sont des fibres de surface de palmier dattier sont naturellement tissées. Elles sont formées par la superposition de trois plaques de treillis. Ces fibres sont extraites du tronc du palmier sous forme d'une plaque para-rectangulaire de longueur 300-500 mm et de largeur 200-300 mm [16].

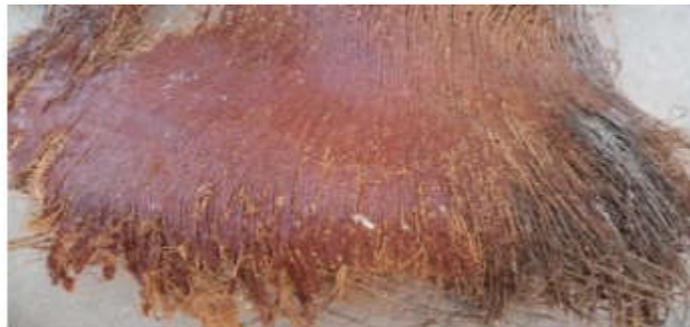


Figure II. 18 : plaquettes de fibres de palmier dattier.

- **Traitement des fibres de palmier dattier**

Le traitement consiste à séparées les plaquettes de fibre en fibres (fils d'épaisseur environ 1mm) ensuite elles sont coupées aux longueurs différentes : 12, 20 et 30 mm

Notre étude sera basée sur la longueur de 20 mm et alors que les autres longueurs feront l'objet d'études dans le cadre d'autres projets de Master.



Figure II. 19 : Fibres découpées selon les longueurs désirées.

V.2. Les fibres de polypropylène :

Les fibres de polypropylène (PP) courtes sont fournies par la société Graniteux. Ces fibres sont ajoutées au béton. Ce matériau a connu une extension croissante dans l'industrie de textile où il apporte les avantages suivants :

- Résistance aux attaques en milieux alcalins et corrosifs.
 - Augmentation notable de la résistance aux chocs.- Limite l'ouverture des fissures.
- [17]



Figure II. 20: Fibres de polypropylène.

Les principales caractéristiques de ces fibres sont données dans le tableau II.7.

Tableau II. 7 : Caractéristiques des fibres de polypropylène selon le fabricant.

Désignations	Valeurs	Unités
- Longueur	12	mm
- Section transversale	30	µm ²
- Densité	0,9	g/cm ³
- Module d'élasticité	3500	MPa
- Résistance chimique aux sels et acides	Haute	-
- Point de fusion	150	°C
- Allongement à la rupture	50	%

VI. Granulats

VI.1. Sables

Deux sables sont utilisés dans cette étude, le premier est un sable siliceux fin, provenant de la région d'Aïn Abid-Constantine caractérisé par un module de finesse de 1.90. 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'Enefghdir (Skikda), de module de finesse de 2.91 venant ainsi corriger la granulométrie du sable fin .



Figure II. 21 : Sable siliceux et Sable de carrière.

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables et des graviers sont illustrés par la Figure II.22

Dans cette étude nous avons utilisé trois fractions de gravier (3/8) (8/16) et (16/20) provenant de la région d'Enefghdir (Skikda).

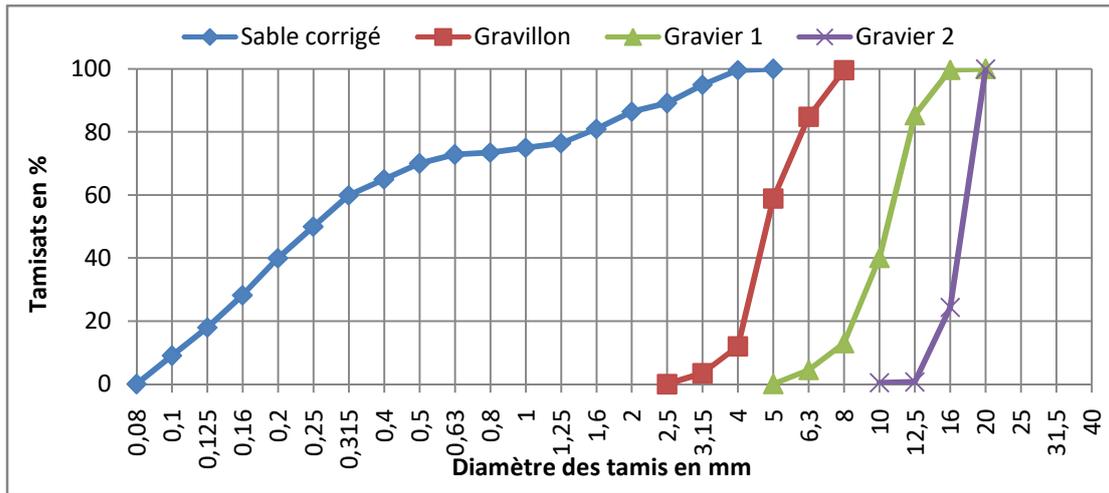


Figure II. 22: La courbe de l'analyse granulométrique

Les caractéristiques physico-mécaniques des granulats utilisés sont regroupées dans le tableau II.8

Tableau II. 8 : Caractéristiques physiques des granulats.

Caractéristiques	Unité	Granulats				
		Sable siliceux	Sable de carrière	Gravier 3/8	Gravier 8/16	Gravier 16/20
ρ_{app}	g /cm3	1,48	1,60	1,51	1,59	1,54
ρ_{abs}	g /cm3	2,63	2,68	2,68	2,68	2,68
d/D	mm/mm	0/0,06	0/4	3/8	8/16	16/20
Compacité	%	56,27	59,70	56,34	59,33	57,46
Porosité	%	43,73	40,30	43,66	40,67	42,54
M_f	%	1,9	3,2	-	-	-
ES	%	92,71	86,16	-	-	-
Cat	%	-	-	2,4	2,4	2,4
Los Angeles	%	-	-	22	22	22
Micro Deval	%	-	-	9,29	9,29	9,29

Les caractéristiques physiques du ciment et du filler de calcaire utilisés sont regroupés dans les tableaux II.9 et II.10 :

Tableau II. 9: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Masse volumique apparente	g /cm ³	1,02
Masse volumique absolue	g /cm ³	3,01
Consistance normale	%	28
Début de prise	H /min	2/37
Fin de prise	H /min	4/12
Refus au tamis 80µm	%	5

Tableau II. 10 : Caractéristiques physiques du filler calcaire.

Caractéristiques	Unités	Calcaire
Masse volumique apparente	g /cm ³	0,79
Masse volumique absolue	g /cm ³	2,70
Refus au tamis 80µm	%	4.3

Les tableaux (II.11) et (II.12) donnent les principales propriétés physico-mécaniques des fibres de palmier dattier utilisées dans cette recherche

Tableau II. 11 : Caractéristiques physiques de la fibre de palmier dattier.

Caractéristiques	Unités	Valeurs
Diamètre	mm	1
Densité apparente	g/cm ³	0,58
Densité absolue	g/cm ³	1,1
Pré mouillage de 5g après 10 min sous l'eau	g	31,3

Tableau II. 12 : Caractéristiques mécaniques de la fibre de palmier dattier réalisé sur une fibre de longueur 20 mm (Kriker). [18]

Condition	Propriété	Unités	Valeurs
Sec	Résistance à la traction	MPa	290 ± 20
	Elongation	%	11 ± 2
	Module d'élasticité	GPa	5.25 ± 3
Humide	Résistance à la traction	MPa	300 ± 20
	Elongation	%	12 ± 2
	Module d'élasticité	GPa	3.55 ± 5

CONCLUSION

Dans ce chapitre nous avons mené une caractérisation des matériaux utilisés dans notre travail pour la formulation de BAP et BAPF (renforcé de fibres) ainsi que leurs propriétés physico-chimiques et mécaniques.

Les granulats utilisés présentent des distributions granulométriques continues. Le sable de dune utilisé dans notre recherche est un sable fin, donc il était nécessaire d'introduire un sable plus gros avec un module de finesse supérieur à 2,8 pour corriger la granulométrie et augmenter la compacité du mélange.

D'après l'essai de l'équivalent de sable nous avons conclu que les sables utilisés sont très propre avec $ES > 80$

Les graviers présentent des bonnes résistances à la fragmentation et à l'usure, d'après les résultats de Los Angeles et de Micro Deval : plus le coefficient Los Angeles est faible (< 25%) plus le matériau est dur, et plus le coefficient de Micro Deval est faible, la résistance à l'usure est élevée.

Pour apprécier les résultats de l'augmentation de rapport G/S et l'ajout des fibres, plusieurs essais ont été définis : on s'intéresse à l'étalement du béton autoplaçant, la capacité de remplissage en utilisant la boîte en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis, et d'autres essais liés au domaine de la mécanique, tels que les essais destructifs de compression et de traction par flexion de 1, 2, 7, et 28 jours et de la durabilité, comme la porosité et l'absorption capillaire.

Références du chapitre II

- [1] NF en 1097-3, « essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats - partie 3 : méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter-granulaire », août 1998
- [2] NF P 18-560, « granulats - analyse granulométrique par tamisage - granulate. Siebanalyse », septembre 1990
- [3] XP P 18-540, « granulats - définitions, conformité, spécifications. », octobre 1997
- [4] NF P 18-597, « granulats - détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines - granulate. bestimmung der sauberkeit von sand : sandgleichwert mit 10 prozent feinteilen », décembre 1990
- [5] NF P18-572, « granulats - essai d'usure micro-deval - granulate. micro deval verschleisspruefung », décembre 1990.
- [6] NF P18-573, « granulats - essai de los angeles - granulate. los angeles pruefung », décembre 1990.
- [7] NF EN 12350-8. Essai pour béton frais, partie 8 : béton autoplaçant, essai d'étalement au cône d'Abrams, juin 2010.
- [8] NF EN 12350-10. Essai pour béton frais, partie 10 : béton autoplaçant-essai à la boîte en l, juin 2010.
- [9] NF EN 12350-11. Essai pour béton frais, partie 11 : béton autoplaçant-essai de stabilité au tamis, juin 2010.
- [10] NF EN 12 350-6. Essai pour béton frais partie 6 : masse volumique, décembre 1999.
- [11] NF EN 12390-3. Essais pour béton durci - partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes, 2012.
- [12] NF EN 12390-5. Essais pour béton durci - partie 5 : résistance à la flexion sur éprouvettes, 2012.
- [13] L'AFPC AFREM, « durabilité des bétons », 1997.
- [14] NA 442, 05, « ciment composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants ».2005

[15] DARI, K. analyse des systèmes agronomiques dans les oasis algériennes, étude technico-économique. Département agronomie, université d’Ouargla, 1997.

[16] 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

[17] LAIFA, W., BEHIM, M., ANACLET, T., ALI-BOUCETTA, T. caractérisation d’un béton autoplaçant avec addition de laitier cristallisé et renforcé par des fibres de polypropylène et de DISS. Revue des sciences et de la technologie, synthèse, vol.29, p.100-110, 2014.

[18] KRIKER, A. caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec. Thèse de doctorat d’état, école nationale polytechnique, 186 p, 2005.

CHAPITRE III

FORMULATION DES BETONS AUTOPLACANTST

BETONS AUTOPLACANTS FIBRES

CHAPITRE III : FORMULATION DES BETONS AUTOPLACANTSET BETONS AUTOPLACANTS FIBRES

I. Introduction

Ce chapitre consiste à présenter les étapes de formulation des bétons autoplaçants d'après la méthode Japonaise, cette méthode exige la réalisation de plusieurs essais à l'état frais (essai au cône d'Abrams, la boîte en L et la stabilité au tamis).

A cet effet, différentes formulations de BAP avec un rapport G/S supérieur a 1 ont été testé et corrigé pour choisir la meilleure formulation et de la prendre comme formulation de base ou formulation de référence, cette dernière sera renforcée par des fibres de polypropylène et des fibres de palmier dattier de 20 mm de longueur et un dosage volumique identique correspondant à un dosage pondéral de 900 g/m³ de polypropylène tel que recommandé par le fabricant.

II. Méthode de formulation des BAP

Des méthodes rationnelles de formulation des BAP sont données dans la littérature technique. Cependant on remarque l'absence d'une approche unifiée et d'un consensus général dans l'opinion des chercheurs sur la méthode de formulation des concepts et des fondements théoriques des BAP, comme on le sait pour les bétons classiques. La méthode que nous avons adoptée dans notre étude est la méthode Japonaise.

L'approche de formulation utilisée pour concevoir les compositions de BAP dans cette étude est basée sur les points suivants :

- ✓ Le volume de la pâte est assez élevé pour assurer le non blocage des granulats (elle plus sécuritaire, elle moins économique).
- ✓ La teneur volumique en gravillons du béton est fixée à 50% du volume de solide. Selon les auteurs, ce pourcentage permet de prévenir le risque de blocage si le mortier est correctement formulé (volume de gravillon=1/2 de la compacité).
- ✓ le volume de sable est fixé à 40% du volume total du mortier pour assurer une bonne ouvrabilité.
- ✓ Dosage minimal du ciment = 350 kg [1]

Dans notre étude, nous allons optimiser le rapport G/S jusqu'à 2.

II.1.Optimisation de la composition du BAP

Les données de base :

- ✓ Le dosage du ciment est fixé de 350 kg/m³.
 - ✓ rapport $E/(C+F)=0,35$.
 - ✓ rapport $F/(C+F) =0,33$.
- } Sont choisis sur des critères de résistance. [1]

- ✓ Pour un rapport G/S=1. Les résultats selon l'étude de (BOUASTIA) [2]

II.2. Formulations projetées

Trois formulations de béton autoplaçant ont été étudiées avant de choisir la formulation finale du BAP de référence.

- ✓ BAP-I de rapport G/S=1,6 et D_{max} 16,
- ✓ BAP-II de rapport G/S=2 et D_{max} 16.
- ✓ BAP-III de rapport G/S=2 et D_{max} 20.

II.2.2. Exemple de formulation

BAP I : béton avec D_{max}=16mm et un rapport G/S=1,6.

Les matériaux utilisés sont :

- Ciment de type CEM II/A de classe 42.5.
- Sable (1) : sable de carrière 59%
- Sable(2) : sable siliceux 41%
- Gravier (3/8) : 8%
- Gravier (8/16) : 44,5%
- Filler de calcaire 172,39 Kg
- Super plastifiant : 1% Masse de liant (ciment+ filler calcaire).
- Un rapport G/S=1,6

BAP-II : béton avec D_{max}=16mm et un rapport G/S=2.

Les matériaux utilisés sont :

- Ciment de type CEM II/A de classe 42.5.
- Sable (1) : sable de carrière 59%
- Sable(2) : sable siliceux 41%
- Gravier (3/8) : 8%
- Gravier (8/16) : 44,5%
- Filler de calcaire 172,39 Kg
- Super plastifiant : 1% Masse de liant (ciment+ filler calcaire).
- Un rapport G/S=2.

BAP III : béton avec D_{max}=20mm et un rapport G/S=2.

Les matériaux utilisés sont :

- Ciment de type CEM II/A de classe 42.5.
- Sable (1) : sable de carrière 59%
- Sable(2) : sable siliceux 41%
- Gravier (3/8)=9,55 %
- Gravier (8/16)=23,86 %
- Gravier (16/20)=19,09 %

- Filler de calcaire 172,39 Kg
- Super plastifiant: 1% Masse de liant (ciment+ filler calcaire).
- Pour un rapport G/S=2.

III. Composition des BAP

Les compositions des trois BAP sont données au tableau 3.1

Tableau III. 1: La composition retenue pour chaque mélange.

Composition	Désignation des BAP					
	BAP I		BAP II		BAP III	
	Poids Kg/m3	Volume litre	Poids Kg/m3	Volume litre	Poids Kg/m3	Volume litre
Ciment	350	116,28	350	112,90	350	112,90
Eau	182,84	182,84	182,84	182,84	182,84	182,84
Filler calcaire	172,39	63,84	172,39	63,84	172,39	63,84
E/C	0,52		0,52		0,52	
E/L	0,35		0,35		0,35	
SP (1%)	5,22	3,07	5,22	3,07	5,22	3,07
Sable siliceux	298,29	113,42	258,52	98,30	255,82	97,46
Sable de carrière	292,04	108,97	253,11	94,44	250,47	93,46
Gravier (3/8)	145,31	54,22	157,42	58,74	185,88	69,36
Gravier (8/16)	808,29	301,58	875,64	326,73	464,68	173,39
Gravier (16/20)	-	-	-	-	371,74	138,71

Tableau III. 2: Les essais à l'état frais du BAP pour chaque mélange.

Composition	BAP I	BAP II	BAP III
Étalement (cm)	87,50	71,25	59
boite en L	-	0,5	0,46
Stabilité au tamis (%)	-	13,15	6,06



Figure III. 1: Essais d'étalements (BAP I, II et III).



Figure III. 2: Essais de la boîte en L (BAP I, II et III).

La première formulation (BAP I) a donné un meilleur étalement mais présentant des signes de ressasse d'eau. A cet effet des corrections du dosage en filler calcaire ont été réalisées de 172,39 à 187,39 (kg/m³). La synthèse des résultats est présentée par le tableau 3.3.

Tableau III. 3: La composition retenue pour chaque mélange après la correction du dosage en filler calcaire.

Composition	Désignation des BAP					
	BAP I		BAP I a		BAP I b	
	Poids Kg/m ³	Volume litre	Poids Kg/m ³	Volume litre	Poids Kg/m ³	Volume Litre
Ciment	350	116,28	350	116,28	350	116,28
Eau	182,84	182,84	182,84	182,84	182,84	182,84
Filler calcaire	172,39	63,84	182,39	67,54	187,39	69,39
E/C	0,52		0,52		0,52	
E/L	0,35		0,34		0,34	
SP (1%)	5,22	3,07	5,22	3,07	5,22	3,07
Sable siliceux	298,29	113,42	298,29	113,42	298,29	113,42
Sable de carrière	292,04	108,97	292,04	108,97	292,04	108,97
Gravier (3/8)	145,31	54,22	145,31	54,22	145,31	54,22
Gravier (8/16)	808,29	301,58	808,29	301,58	808,29	301,58
Etalement (cm)	87,50		74,75		72,5	

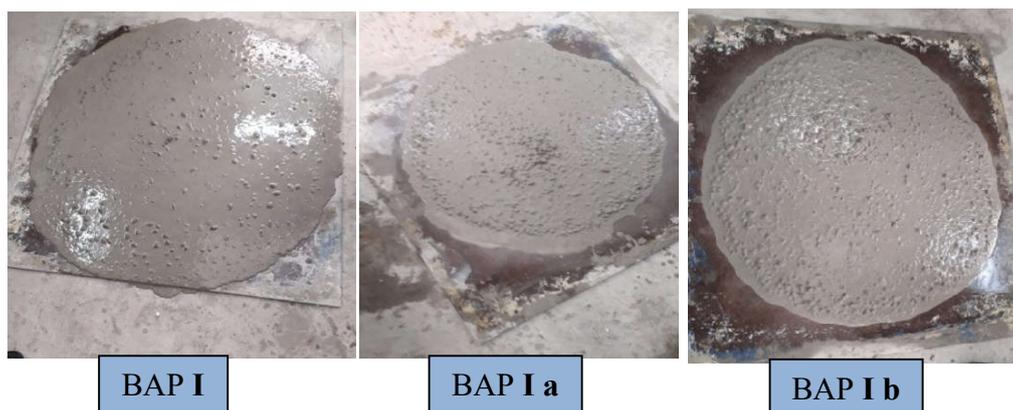


Figure III. 3: Essais d'étalements (BAP I, I a et I b).

Malgré les ajustements apportés à la composition du BAP I pour l'améliorer, nous n'avons pas obtenu les résultats souhaités tant que le mélange est resté hétérogène (ressuage à l'étalement, blocage à la boîte en L et ségrégation à travers l'essai de stabilité au tamis).

Il est nécessaire donc de trouver un équilibre entre la pâte et le rapport G/S pour assurer un bon enrobage des granulats, alors nous avons fixée un rapport $G/S=1,4$.

Les résultats sont présentés par le tableau 3.4:

Tableau III. 4: Formulations du BAP témoins avec un rapport $G/S=1,4$.

Composition	Désignation des BAP							
	BAP T		BAP T Correction de Filler		BAP T (1m ³)		BAP T (1m ³) Correction de SP	
	Poids Kg/m ³	Volume litre	Poids Kg/m ³	Volume litre	Poids Kg/m ³	Volume Litre	Poids Kg/m ³	Volume Litre
Ciment	350	116,2	350	116,2	369,32	122,7	369,32	122,7
Eau	182,84	182,83	182,84	182,83	192,91	192,91	192,91	192,91
Filler calcaire	172,39	67,55	180	68,68	189,92	70,34	189,92	70,34
E/C	0,52		0,52		0,52		0,52	
E/L	0,35		0,35		0,35		0,35	
SP	5,22	3,07	5,22	3,07	5,51	3,24	6,15	3,62
Sable siliceux	323,14	122,87	323,14	122,87	340,97	129,65	340,97	129,65
Sable de carrière	316,37	118,05	316,37	118,05	333,82	124,56	333,82	124,56
Gravier (3/8)	271,16	101,84	217,16	101,84	287,59	107,46	287,59	107,46
Gravier (8/16)	632,74	236,096	632,74	236,096	667,65	249,126	667,65	249,126
Σ (m ³)		948,58		949,706		1000		1000

Tableau III. 5: Les essais à l'état frais du BAP du G /S=1,4.

Composition	BAP T	BAP T(FC)	BAP T (1m ³)	BAP T (1m ³) Correction de SP
Étalement (cm)	72,5	70,25	65,75	72,5
La boîte en L	-	-	0,8	0,86
Stabilité au tamis	-	-	11,29	16,23



BAP T



BAP T (après correction du dosage en filler)



BAP T (1m³) après Correction du dosage en SP de 1% à 1,1%

Figure III. 4: Essais d'étalements : BAP T, BAP T (1m³), BAP T (1m³) Correction de SP.

Après des essais préliminaires d'une vingtaine de compositions, on a trouvé la composition finale. La formulation du BAP T (1m³) SP 1,1% a été retenue comme formulation de base (**BAP Témoin**) parce qu'elle a donné un étalement satisfaisant les valeurs projetées et sans signes de ségrégation ou de ressuage.

IV. Formulation des BAP Fibrés

L'approche de formulation utilisée pour concevoir les compositions de BAP F dans cette étude est la même qu'on a utilisée dans le BAP témoin

IV.1.Optimisation de la composition du BAP Fibré

Les données de base :

On a choisi :

- ✓ Le dosage du ciment est fixé de 350 kg/m³.
 - ✓ On fixe le rapport $E/(C+F)=0,35$.
 - ✓ On fixe le rapport $F/(C+F) =0,33$.
 - ✓ Pour un rapport $G/S=1,4$.
 - ✓ On fixe le dosage en superplastifiant 1,1% poids de liant (ciment+ filler calcaire).
 - ✓ Le dosage en fibres de polypropylène est donné par le fabricant (900 g/m³ de béton)
- } Sont choisis sur des critères de résistance. [1]

IV.2.La formulation du BAPF

- **BAP PP (1,1%)** : Béton autoplaçant avec des fibres de polypropylène et rapport $G/S=1,4$:
 - Ciment de type CEM II/A de classe 42.5.
 - Sable (1) : sable de carrière 59%
 - Sable(2) : sable siliceux 41%
 - Gravier (3/8) :8%
 - Gravier (8/16) :44,5%
 - Les fibres de polypropylènes : 900 g/m³
 - Filler de calcaire : 189,92 Kg
 - Super plastifiant : 1,1% poids de liant (ciment+ filler calcaire).
 - Un rapport $G/S=1,4$

- **BAP PD** : Béton autoplaçant avec des fibres de palmier dattier $L=20\text{mm}$ et rapport $G/S=1,4$:
 - Ciment de type CEM II/A de classe 42.5.
 - Sable (1) : sable de carrière 59%
 - Sable(2) : sable siliceux 41%
 - Gravier (3/8) :8%
 - Gravier (8/16) :44,5%
 - Les fibres de palmier dattier $L=20\text{mm}$:1100 g/m³
 - Filler de calcaire : 189,92 Kg
 - Super plastifiant : 1,1% poids de liant (ciment+ filler calcaire).
 - Un rapport $G/S=1,4$

Les compositions des différents BAP sont données au tableau

Tableau III. 6: Formulations des BAP fibrés.

Composition	Désignation des BAP					
	BAP PP (1%)		BAP PP (1,1%)		BAP PD	
	Poids Kg/m3	Volume litre	Poids Kg/m3	Volume litre	Poids Kg/m3	Volume litre
Ciment	369,32	122,7	369,32	122,7	369,32	122,7
Eau	192,91	192,91	192,91	192,91	192,91	192,91
Eau absorbé par les fibres	-		-		5,78	
Filler calcaire	189,92	70,34	189,92	70,34	189,92	70,34
E/C	0,52		0,52		0,54	
E/L	0,34		0,34		0,36	
SP	5,51	3,24	6,15	3,62	6,15	3,62
Sable siliceux	340,97	129,65	340,97	129,65	340,97	129,65
Sable de carrière	333,82	124,56	333,82	124,56	333,82	124,56
Gravier (3/8)	287,59	107,46	287,59	107,46	286,89	107,056
Gravier (8/16)	667,65	249,126	667,65	249,126	666,56	248,717
Fibre de PP	0,9	1	0,9	1	-	-
Fibre de PD	-	-	-	-	1,1	1

Tableau III. 7: Les essais à l'état frais du BAP fibrés.

Composition	BAPPP (1%)	BAP PP (1,1%)	BAP PD
Etatement (cm)	59	68,25	72 ,5
La boîte en L	0,6	0,81	0,89
Stabilité au tamis	4,08	9,93	19,42

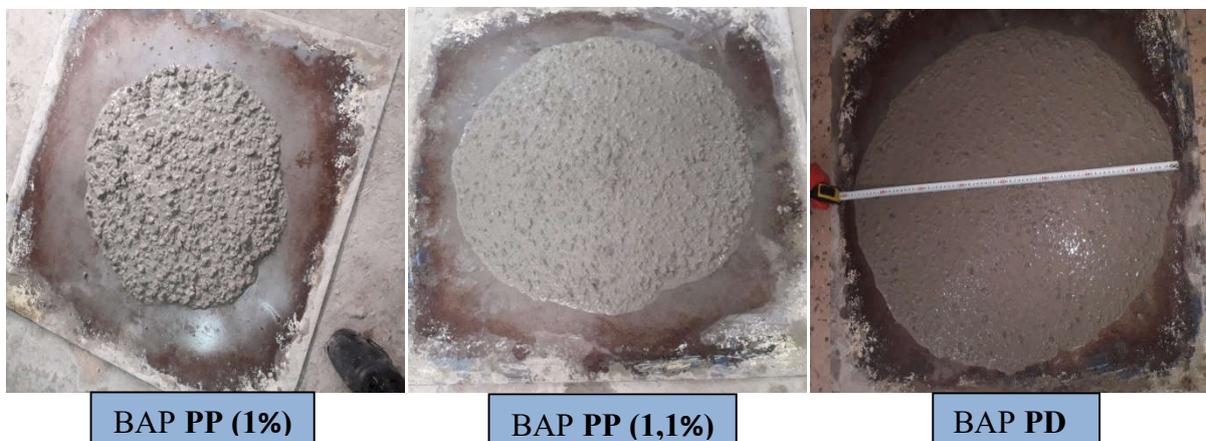


Figure III. 5: Essais d'étalements : BAP PP (1%), BAPPP (1,1%) et BAP PD.

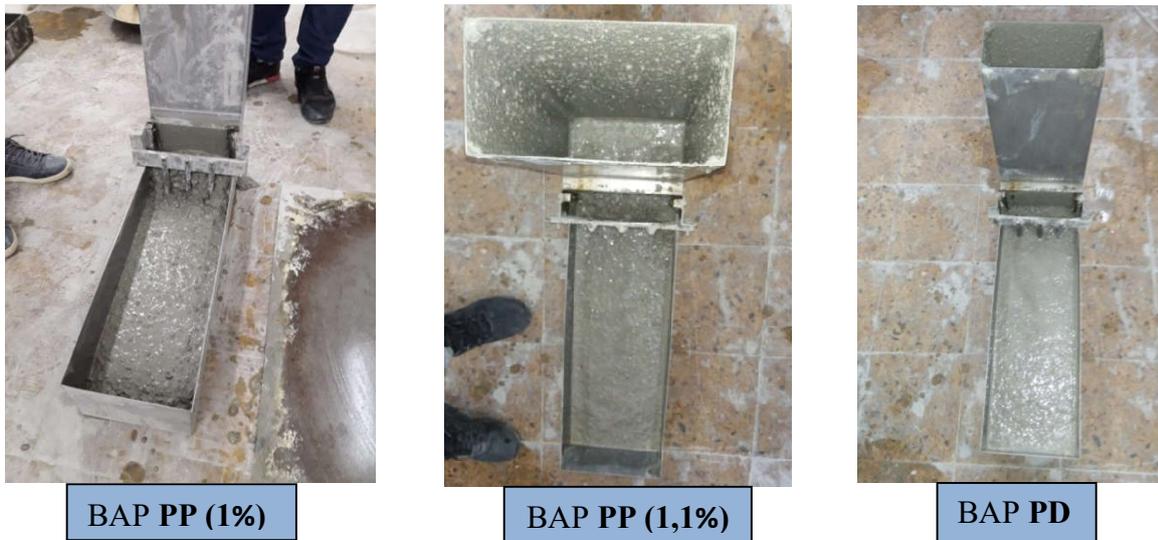


Figure III. 6: Essais de la boîte en L (BAP PP (1%), PP (1,1%) et BAP PD).

CONCLUSION

L'obtention de la composition finale du BAP témoin a été obtenue après plusieurs corrections du dosage en addition (filler calcaire). Alors que l'obtention des compositions finales des BAP fibrés a été réalisée en apportant des corrections sur le dosage en superplastifiant, ce qui montre que l'introduction des fibres dans les BAP a entraîné une perte d'ouvrabilité.

Références du chapitre III

[1] Documents scientifiques et techniques; Association Française de Génie Civil AFGC. Janvier 2005.

[2] BOUASTIA KHAOULA, Influence de rapport G/S sur les propriétés des bétons autoplaçants, en vue de l'obtention du diplôme de Master, UNIVERSITE BADJI MOKHTAR.ANNABA, 2018.

CHAPITRE IV

RESULTATS ET DISCUSSIONS

CHAPITRE IV : RESULTATS ET DISCUSSIONS

I. Introduction

Après avoir mis en place les formulations de BAP de référence et BAP fibrés, nous présentons dans ce chapitre les résultats de l'influence du rapport G/S 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 de polypropylène et un **BAP** avec la fibre végétale de palmier dattier de 20mm de longueur. Le but de cette comparaison et l'étude de l'influence des fibres sur les caractéristiques des BAP à l'état frais, durci et sur les propriétés de transfert.

II. Résultats Obtenus à L'état Frais

Les essais de caractérisation des propriétés des bétons à l'état frais sont présentés dans ce chapitre :

- ✓ L'étalement au cône,
- ✓ L'écoulement à la boîte en L,
- ✓ La stabilité au tamis et la densité.

Les résultats des essais sur les bétons autoplaçants à l'état frais sont comparés aux valeurs préconisées par les normes et qui sont rappelées dans le tableau IV.1.

Tableau IV. 1: Valeurs recommandées par les normes.

Essais	Étalement au cône d'Abrams	Stabilité au tamis	Boîte en L (L-Box)
Classes	$55 \leq SF1 \leq 65$ cm	$SR1 \leq 20$ %	$PL1 \leq 0,8$ à 2 barres
	$65 \leq SF2 \leq 75$ cm	$SR2 \leq 15$ %	$PL2 \geq 0,8$ à 3 barres
	$75 \leq SF3 \leq 85$ cm		

II.1.Effet du rapport G/S sur les propriétés des BAP à l'état frais

Trois formulations de béton autoplaçant ont été testées avant de choisir la formulation finale du BAP de référence.

- ✓ BAP I de rapport $G/S=1,6$ et D_{max} 16.
- ✓ BAP II de rapport $G/S=2$ et D_{max} 16.
- ✓ BAP III de rapport $G/S=2$ et D_{max} 20.

II.1.1. Etalement au cône d'Abrams

Les résultats obtenus sur les différents BAP (BAP I, BAP II, BAP III) sont présentés dans la figure IV.1 et IV.2

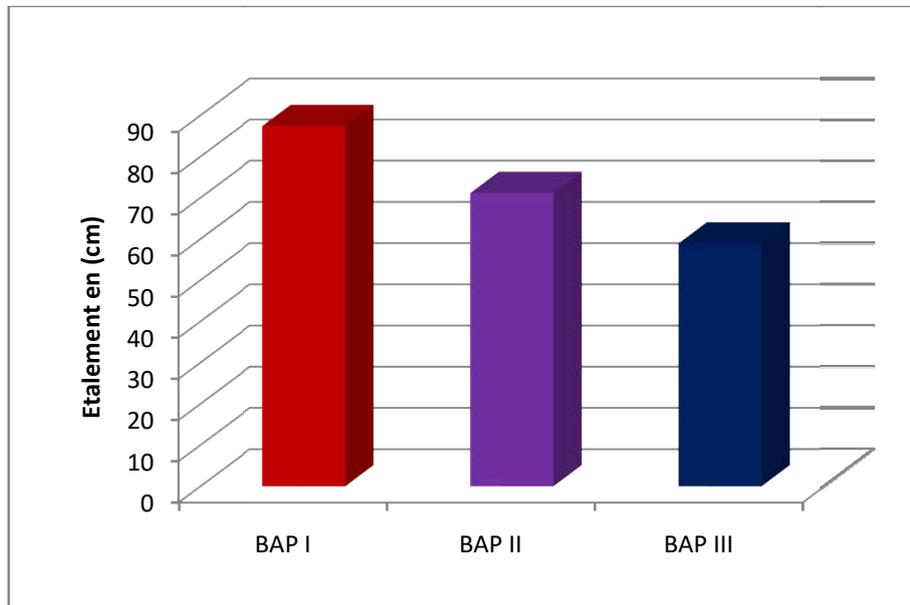


Figure IV. 1 : Variation de l'étalement en fonction de rapport G/S.

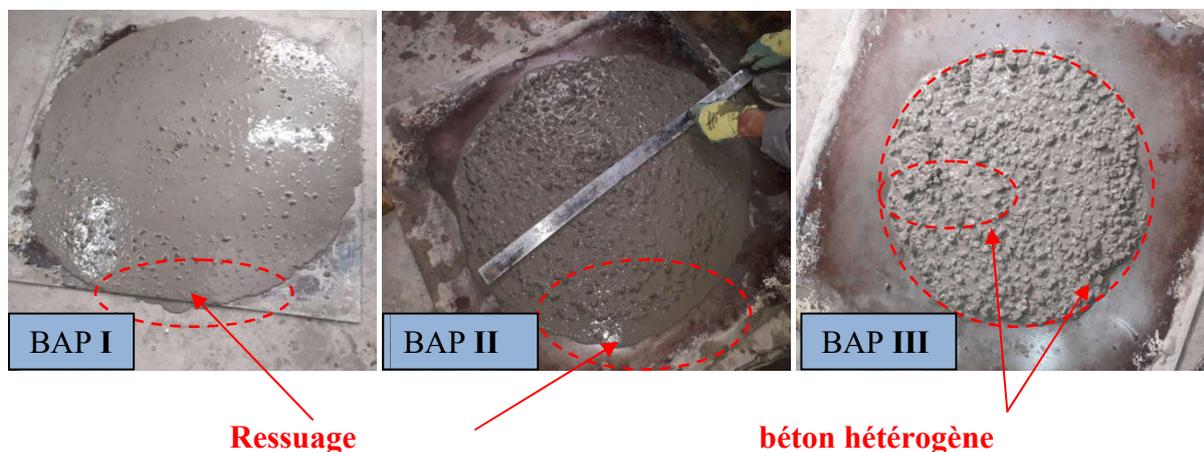


Figure IV. 2: Essais de l'étalement au cône d'Abrams.

D'après les figures IV.1 et IV.2, l'augmentation du rapport G/S a une influence sur l'étalement parce qu'il entraîne une diminution de la fluidité. Les bétons testés ont donné des étalements qui varient entre 87,5 et 59 cm.

Les deux premiers bétons avec un rapport de G/S=1.6 présentent des signes de ressuage d'eau par contre le dernier béton de rapport G/S= 2 présente une très faible quantité de laitance, de plus, les gros granulats ne sont pas restés au milieu de la galette de béton.

La diminution de l'étalement s'explique par la diminution du volume de la pâte ainsi que l'accroissement des gros granulats ce qui conduit à un mélange hétérogène et une mauvaise liaison entre la pâte et les granulats.

II.1.2 Taux de remplissage dans la boîte en L

Il est nécessaire de vérifier l'écoulement d'un BAP à travers l'essai de la boîte en L pour mesurer le taux de remplissage des BAP.

Les résultats de l'effet de rapport G/S sur le taux de remplissage de la boîte en L des compositions retenues (BAP II, BAP III) sont présentés dans la figure IV.3 et IV.4

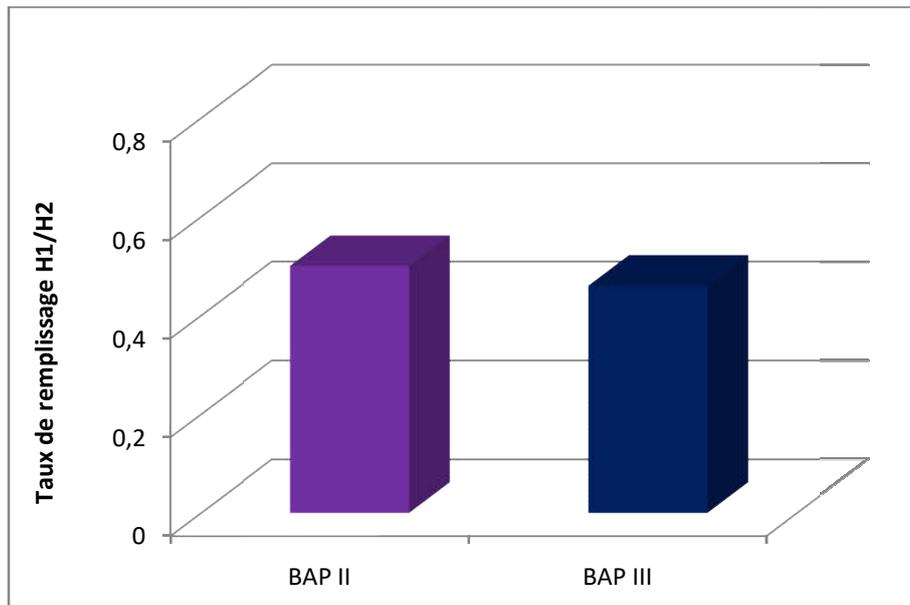


Figure IV. 3: Variation sur le taux de remplissage en fonction de rapport G/S.

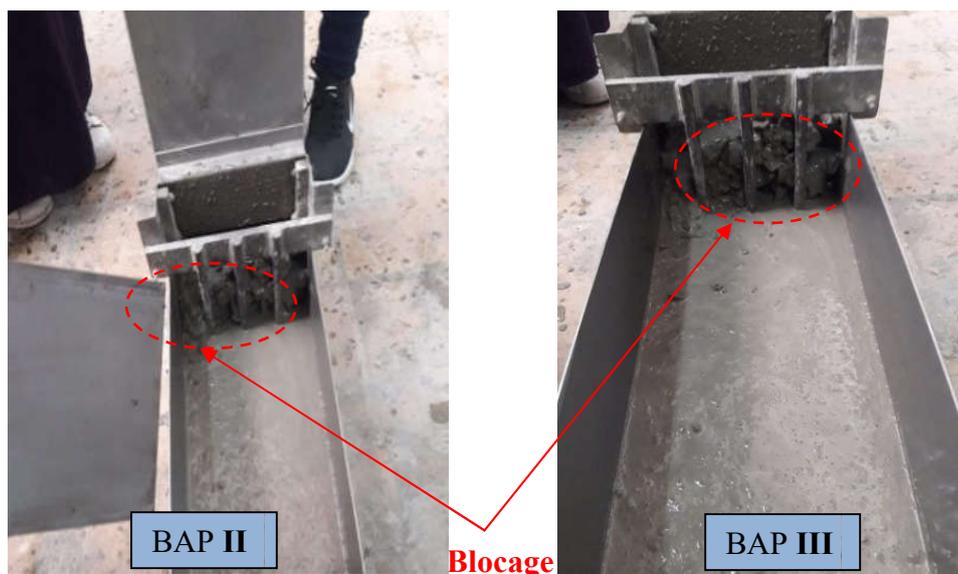


Figure IV. 4: Essai à la boîte en L.

Le taux de remplissage caractérise par le rapport $H2 / H1$. Ce rapport renseigne sur la mobilité du béton en milieu confiné

Les résultats obtenus montrent un mauvais écoulement du béton au niveau des barres, on remarque que la capacité de remplissage du BAPIII de rapport $G/S = 2$ avec $D_{max} 20$ est inférieure à celle de BAPII de rapport $G/S = 1,6$ avec $D_{max} 20$. Les deux capacités sont inférieures à 0,8. Donc on peut conclure que la capacité de remplissage diminue avec l'augmentation du rapport G/S et l'augmentation de diamètre des gros granulats, ce qui conduit à un problème de blocage.

II.2. Effet des fibres sur les propriétés des BAP à l'état frais

Une étude comparative est réalisée entre les trois types de BAP suivants :

- ✓ Un **BAP Témoin** avec une correction sur le dosage en superplastifiant de 1% à 1,1%
- ✓ Un **BAP PP** : avec la fibre de polypropylène
- ✓ Un **BAP PD** : avec la fibre végétale de palmier dattier de 20mm de longueur

II.2.1. Etalement au cône d'Abrams

Les résultats de l'influence des fibres sur l'étalement au cône d'Abrams des bétons testés sont présentés dans les figures IV.5 et IV.6.

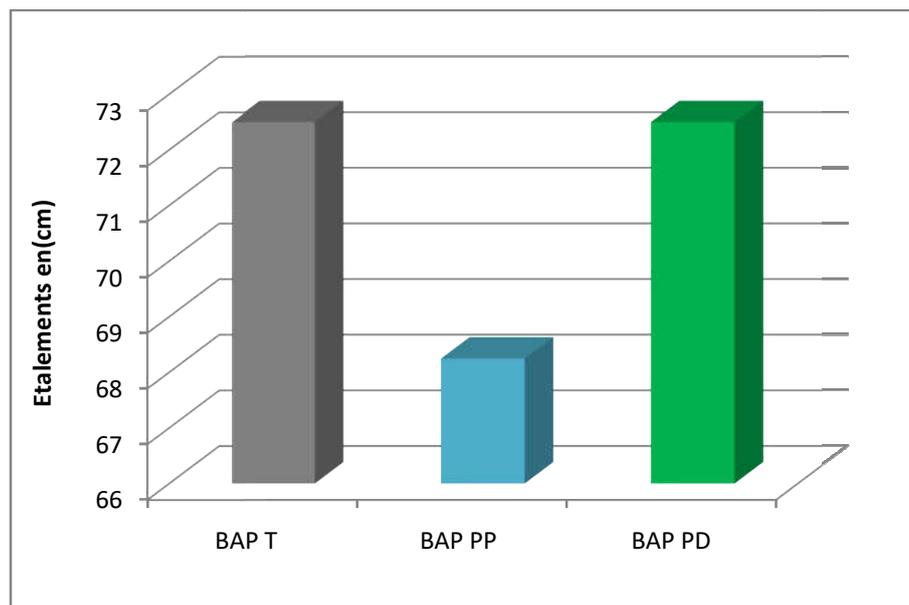


Figure IV. 5: Variation de l'étalement en fonction des fibres.

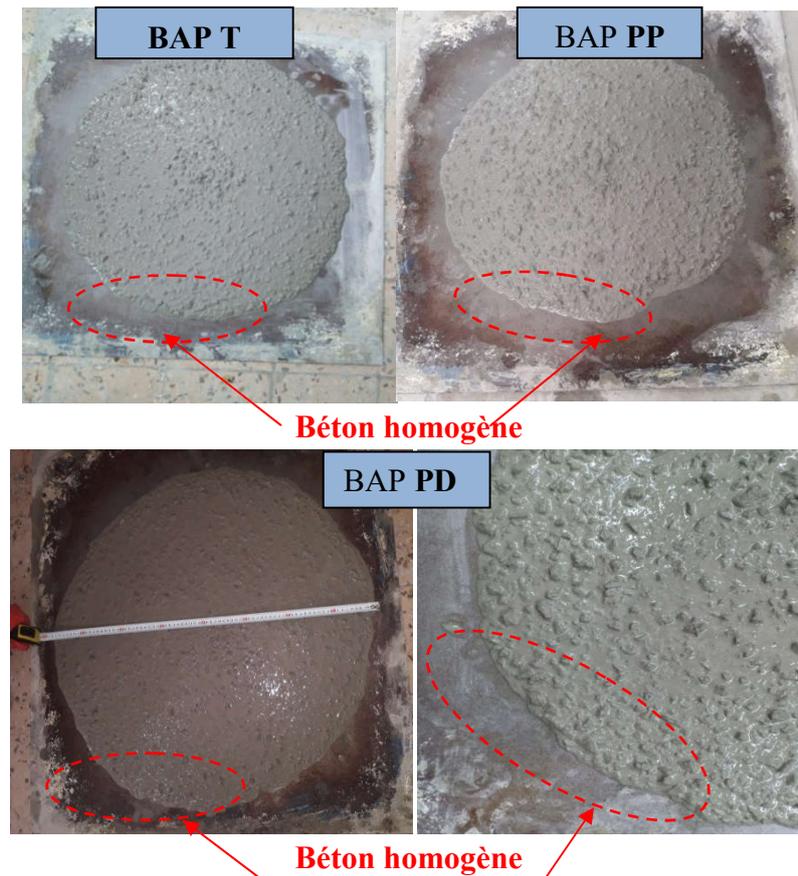


Figure IV. 6: Influence des fibres sur l'étalement des BAP.

D'après les figures IV.5 et IV.6, l'introduction de la fibre de palmier dattier de 20 mm de longueur n'a pas d'influence sur l'étalement par rapport au BAP témoin par contre la fibre de polypropylène, on note plutôt une légère diminution de l'étalement. Ceci peut être expliqué par le fait que les fibres de PD ont subi un pré-mouillage avant l'introduction dans le malaxeur.

II.2.2. Taux de remplissage dans la boîte en L

Les résultats de l'influence des fibres sur le taux de remplissage des bétons testés sont présentés par les figures IV.7 et IV.8

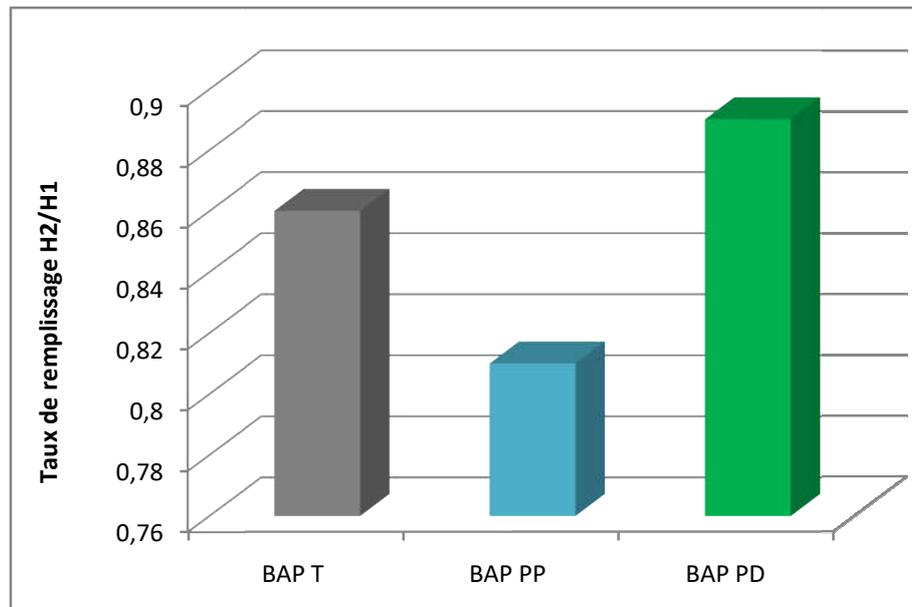
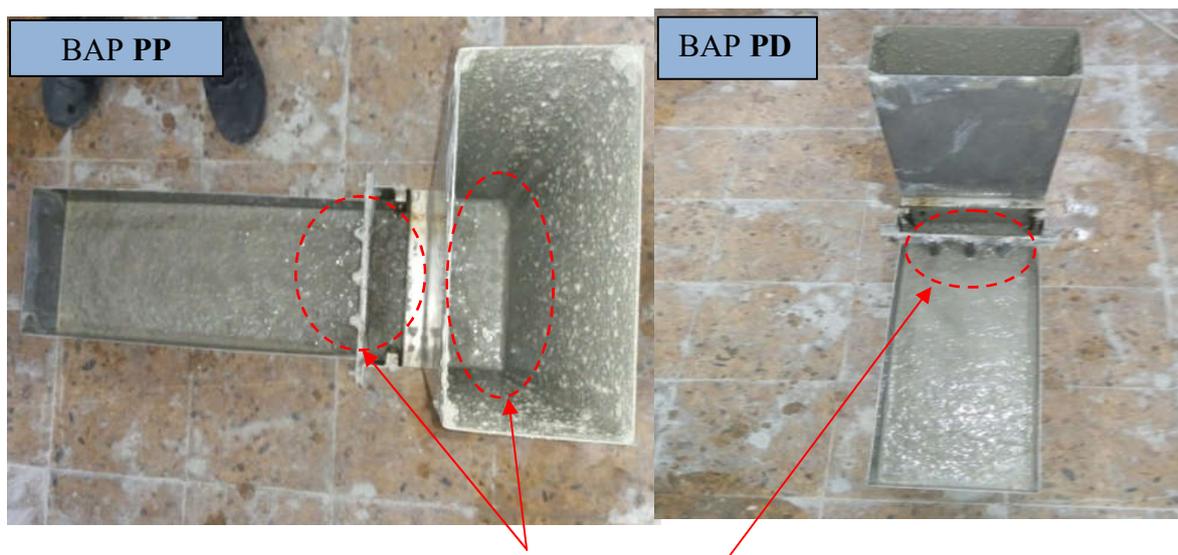


Figure IV. 7: Variation sur le taux de remplissage des BAP en fonction des fibres.



Bon écoulement

Figure IV. 8: Influence des fibres sur la capacité de remplissage (H_2/H_1) des BAP.

Les figures IV.7 et IV.8 montrent que la capacité de remplissage est de l'ordre de 0.80 et 0.89 pour tous les BAP testés. L'introduction de la fibre synthétique de polypropylène dans le BAP conduit à une diminution du taux de remplissage de 0.86 à 0.81, par contre la fibre de palmier dattier présente une augmentation du taux de remplissage de 0.86 à 0.89 ceci s'explique par le pré-mouillage de la fibre de palmier dattier avant son ajout dans le béton.

II.2.3. Stabilité au tamis

Les résultats de l'influence des fibres sur la stabilité au tamis des bétons testés sont présentés par la figure IV.9

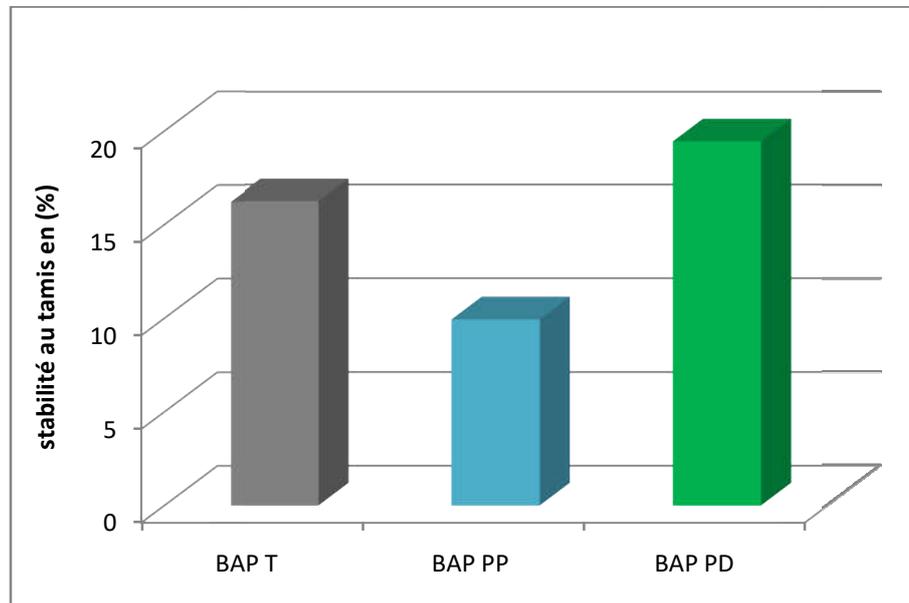


Figure IV. 9: Influence des fibres sur la stabilité au tamis des BAP.

Les résultats obtenus par l'essai de stabilité au tamis montrent une augmentation du pourcentage de laitance pour la composition de BAP témoin grâce à la correction sur le dosage en superplastifiant de 1 à 1.1% de la masse de ciment. La figure IV.9 montre que :La composition de BAP avec la fibre de polypropylène avec un dosage de 900 g/m³ à une valeur de pourcentage de laitance satisfaisant les valeurs normalisées, synonyme d'une stabilité correcte.

La composition de BAP avec la fibre de palmier présente une quantité de laitance un peu supérieure par rapport au BAPT et BAP PP mais elle reste toujours acceptable.

II.2.4. Masse volumique

Les résultats de l'influence des fibres sur la masse volumique des bétons testés sont regroupés dans la figure IV.10

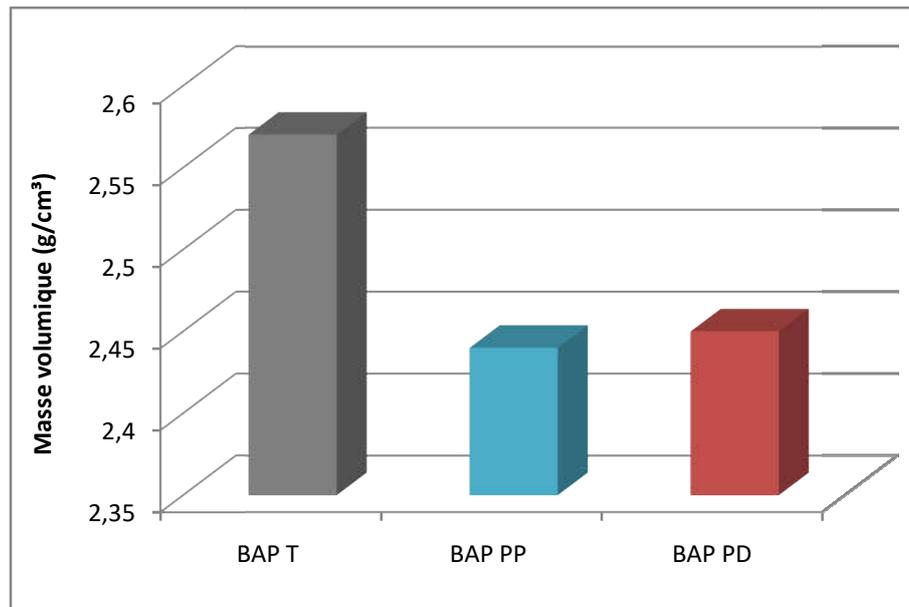


Figure IV. 10: Influence des fibres sur la masse volumique des BAP.

Les résultats obtenus et présentés sur la figure IV.10 montrent que l'introduction des fibres de palmier dattier et de polypropylène dans le béton réduit un peu la masse volumique, cela peut s'expliquer probablement par l'incorporation des fibres.

III. Résultats Obtenus à L'état Durci

Les échantillons d'éprouvettes utilisés pour les essais programmés sont les suivantes:

- ✓ Eprouvettes cubiques 10×10×10 cm pour la résistance en compression.
- ✓ éprouvettes prismatiques 7×7×28 cm pour la résistance en traction par flexion.
- ✓ éprouvettes cylindriques 11× 22 cm pour Vérifier l'absence de ségrégation.
- ✓ éprouvettes cylindriques 11× 5cm pour la porosité par immersion total.
- ✓ éprouvettes cylindriques 11× 5cm pour l'absorption capillaire.

III.1. Caractérisation mécanique des BAP

III.1.1. Résistance en compression

Les résultats obtenus de la résistance en compression des bétons sont illustrés par la figure IV.11

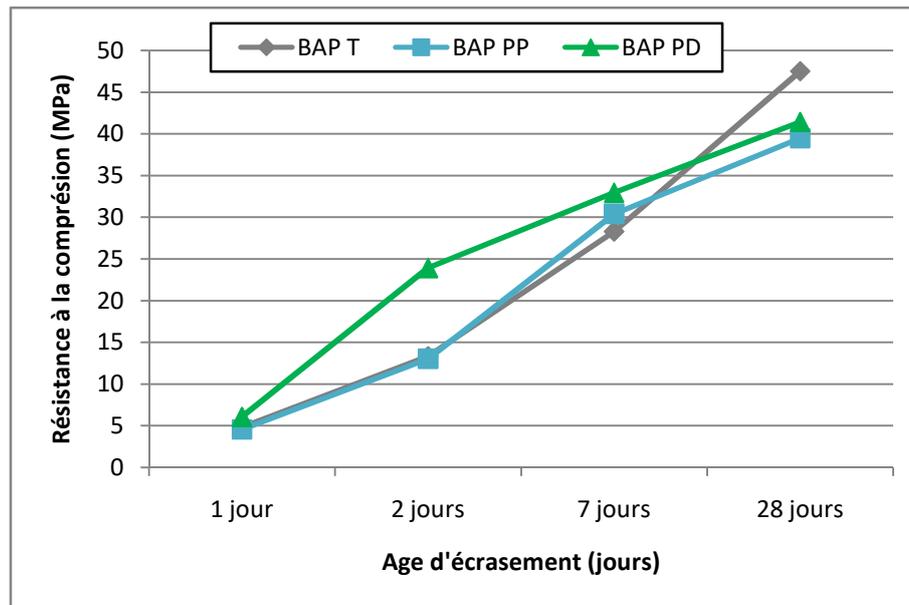


Figure IV. 11: Influence des fibres sur la résistance à la compression des BAP.

D'après les résultats inscrits dans la figure IV.11, l'introduction des fibres de palmier dattier dans le BAP entraîne une diminution de la résistance en compression au jeune âge conservé respectivement à l'air libre par rapport ou autre bétons, mais une fois que le BAP PD conservé dans l'eau on constate une légère diminution de la résistance à 28 jours et une augmentation de la résistance de béton témoin.

La perte de résistance en compression peut être expliquée par le fait que l'incorporation de béton de fibres de palmier dattier sous l'eau entraîne une porosité supplémentaire, augmente le volume des vides, par conséquent sa résistance.

III.1.2. Résistance en traction par flexion

Les résultats obtenus de la résistance des bétons en traction par flexion sont illustrés par la figure IV.12

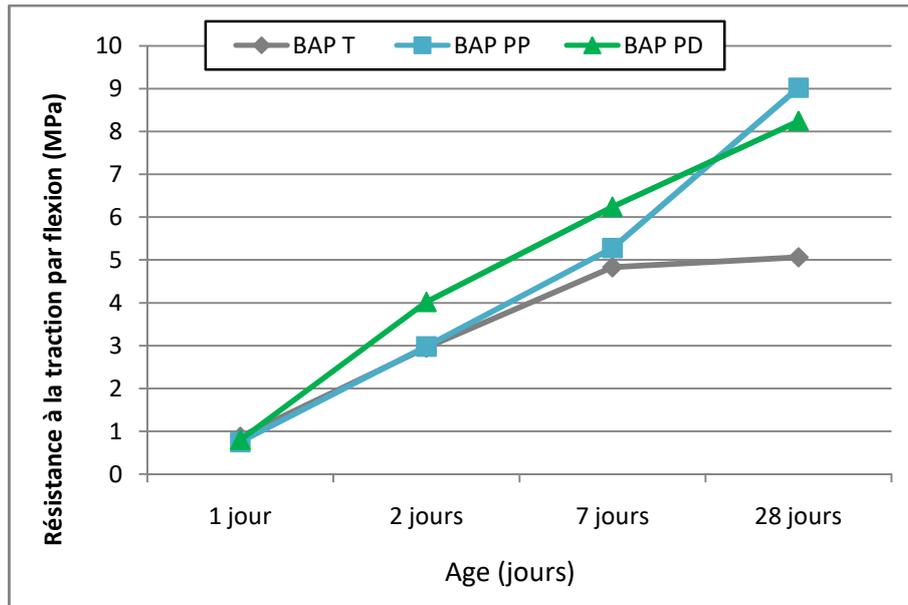


Figure IV. 12: Influence des fibres sur la résistance à la traction par flexion des BAP.

Les résultats obtenus ne montrent pas des différences entre les résistances en flexion des différents BAP au premier jour d'écrasement.

Aux échéances de 2 et 7 et 28 jours, une augmentation de la résistance en traction par flexion des BAP fibrés par rapport au BAP T. Cependant le BAP avec la fibre de palmier dattier présente les meilleures résistances par rapport aux BAP T et BAP PP. Donc on peut tirer que les dimensions des fibres jouent un rôle important dans l'amélioration de la résistance en flexion.

Après 28 jours on remarque que le BAP PP garantit les meilleures résistances par rapport aux autres BAP.

III.1.3. Vérification de l'absence de ségrégation

Une éprouvette cylindrique (11 x 22) cm de BAP PD a été vérifiée après 28 jours de conservation sous l'eau. Nous avons coupé l'échantillon dans le sens longitudinal. L'observation des sections suivant le sens du coulage nous renseigne sur la répartition des granulats dans l'éprouvette et donc sur la ségrégation.



Figure IV. 13: Observation de la répartition des granulats du BAP PD.

L'observation de la répartition granulaire du BAP PD montre une bonne répartition granulaire et distribution homogène des fibres de palmier dattier et absence de ségrégation.

III.2. Propriétés de Transfert

III.2.1. Porosité par immersion total

La porosité accessible à l'eau est une caractéristique microstructurale qui influe sur les propriétés de transfert et sur les caractéristiques mécaniques des bétons.

L'influence des fibres sur la porosité par immersion total des différents BAP étudiés est présentée sur la figure IV.14.

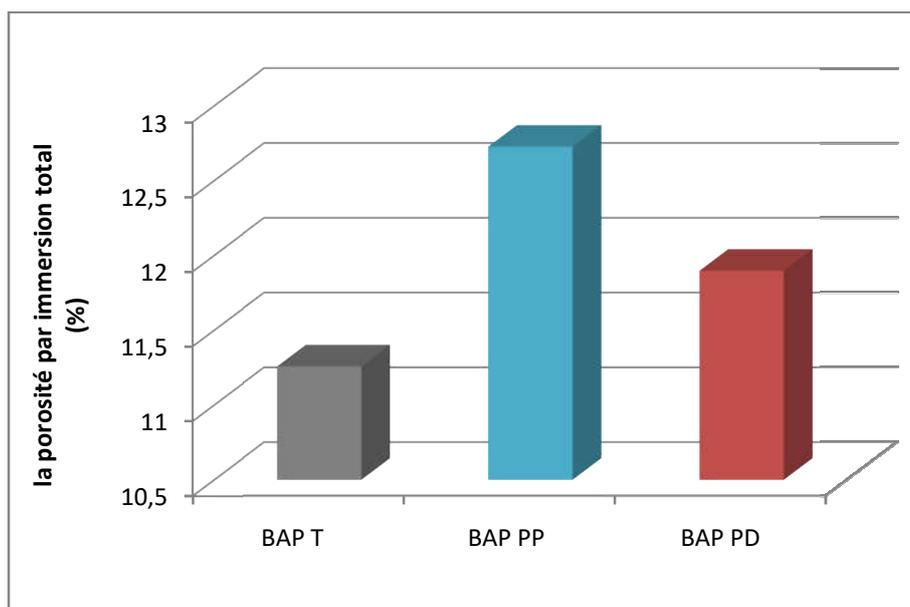


Figure IV. 14: La porosité par immersion total (%).

D'après les résultats obtenus, les porosités ouvertes (accessible à l'eau) de BAP PP et BAP PD sont plus élevées que celle de BAP sans fibre. Les fibres augmentent le volume des pores, car la perméabilité des bétons est principalement affectée par le volume des pores.

III.2.2. Absorption par capillarité

Le coefficient d'absorption caractérise la capacité d'absorption capillaire d'un béton dans le temps.

L'influence des fibres sur l'absorption d'eau par capillarité des différents BAP étudiés est présentée sur la figure IV.15.

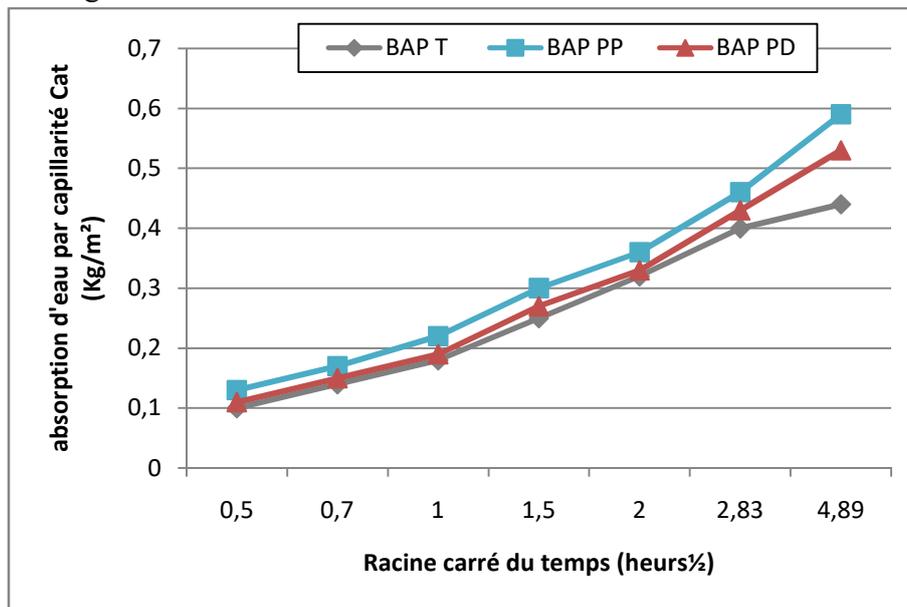


Figure IV. 15: Influence des fibres sur L'absorption par capillarité des BAP.

Selon les résultats obtenus, le coefficient d'absorption de tous les bétons étudiés augmente avec la racine carrée du temps. Cependant les BAP fibrés (BAP PP, BAP PD) présentent une absorption capillaire légèrement supérieure à celle du BAP sans fibres (BAPT), Ce qui indique que les fibres influent sur la capacité d'absorption d'eau du béton.

En comparant le BAP PP et BAP PD, on peut noter que BAP PP présentent un coefficient d'absorption légèrement supérieur à celle de BAP PD. Cela est dû probablement au fait que le nombre de fibres de palmier dattier dans un mètre cube est inférieur à celui des fibres de polypropylène.

III.2.3. L'absorptivité

L'absorptivité définie par la vitesse d'absorption par remontée capillaire. L'absorptivité des différents BAP étudiés est présentée sur la figure IV.16.

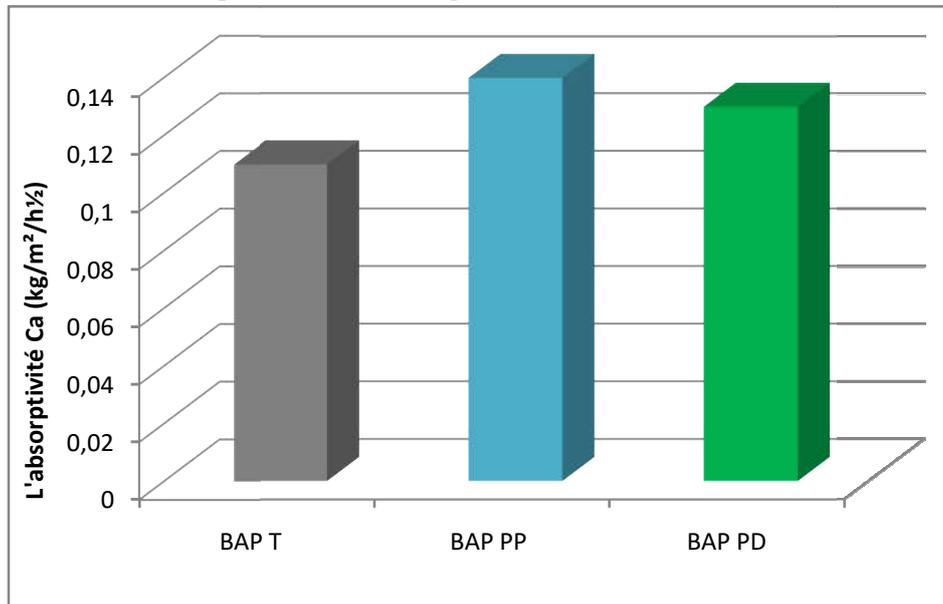


Figure IV. 16: L'absorptivité des BAP.

Selon les résultats obtenus on remarque que les BAP fibrés (BAP PP, BAP PD) présentent une absorptivité supérieure à celle de BAP sans fibres.

L'augmentation de l'absorptivité peut être expliquée par l'incorporation des fibres qui créent une porosité supplémentaire dans le béton ce qui augmente la vitesse d'absorption par remontée capillaire.

IV. Conclusion

Le quatrième chapitre est consacré aux résultats obtenus lors de cette étude.

L'objectif de notre travail consiste à réaliser :

- un béton autoplaçant en optimisant le rapport G/S et le diamètre des gros granulats,
- étudier l'influence du fibrage (fibres de polypropylène et les fibres de palmier dattier de 20mm de longueur) sur les propriétés des BAP à l'état frais et à l'état durci.

Les résultats obtenus dans ce travail sont synthétisés comme suit:

- l'augmentation du rapport G/S et le diamètre des gros granulats influent sur les propriétés des BAP à l'état frais, ils diminuent l'ouvrabilité des BAP.
- l'introduction de la fibre de polypropylène conduit à une légère diminution des propriétés des BAP à l'état frais (étalement, taux de remplissage et la stabilité).

- l'introduction de la fibre de palmier dattier de 20 mm de longueur conduit à une augmentation des propriétés des BAP à l'état frais, due essentiellement au pré-mouillage des fibres, car le pré-mouillage de la fibre de palmier dattier avant de les ajouter dans le béton est nécessaire pour réduire la migration d'une partie de l'eau de gâchage vers la fibre.
- l'introduction des fibres de palmier dattier et de polypropylène dans le béton réduit un peu la masse volumique.
- Les BAP fibrés donnent des résistances à la compression plus faibles que celle BAP non fibré.
- Le BAP avec les fibres de palmier dattier donnent des meilleures résistances en traction par flexion et en compression conservé à l'air libre.
- la compacité des BAP fibrés diminue systématiquement vue les vides créés par ces fibres.
- Les BAP renforcés avec les fibres de palmier dattier présentent une porosité légèrement inférieure à celle des BAP avec fibres de PP.
- les fibres de palmier dattier ont une densité supérieure à celle de la fibre de polypropylène, ce qui se traduit pour un même volume donné, un nombre de fibres inférieur à celui de la fibre synthétique, ce qui a pour conséquence une compacité de BAP avec fibre de palmier dattier plus élevée par rapport au BAP avec fibres de PP.

CONCLUSION GENERALE

Conclusion générale

Les bétons autoplaçants ou BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables, ils se mettent en œuvre sans vibration ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation des constructions.

L'objectif de notre travail consiste à étudier l'influence du rapport G/S et le diamètre des gros granulats sur les propriétés des BAP. Et formuler un BAP avec des fibres de polypropylène et des fibres de palmier dattier de 20 mm de longueur afin de voir l'influence des fibres sur les caractéristiques du béton autoplaçant à l'état frais et à l'état durci et faire une comparaison avec un béton autoplaçant sans fibre.

Les résultats obtenus dans ce travail sont synthétisés comme suit:

- **à l'état frais :**

- l'augmentation du rapport G/S et le diamètre des gros granulats influent sur les propriétés des BAP à l'état frais, ils diminuent l'ouvrabilité des BAP particulièrement aux milieux confiné et non confiné.
- l'introduction de la fibre de polypropylène conduit à une légère diminution des propriétés des BAP à l'état frais (étalement, taux de remplissage et la stabilité).
- l'introduction de la fibre de palmier dattier de 20 mm de longueur conduit à une augmentation des propriétés des BAP à l'état frais.
- le pré-mouillage des fibres de palmier dattier avant de les ajouter dans le béton est nécessaire pour la réduction des migrations d'eau de la pate cimentaire vers la fibre.
- l'introduction des fibres de palmier dattier et de polypropylène dans le béton réduit un peu la masse volumique des BAP.

- **à l'état durci :**

- Les BAP fibrés donnent des résistances à la compression plus faible que celle du BAP non fibré.
- le BAP avec les fibres de palmier dattier donnent des meilleures résistances en traction par flexion et en compression lorsque les éprouvettes sont conservées à l'air libre.
- la compacité des BAP fibrés diminue systématiquement vue les vides créés par ces fibres.
- Les BAP renforcés avec les fibres de palmier dattier présentent une porosité légèrement inférieure à celle des BAP avec fibres de PP.

- les fibres de palmier dattier de 20 mm de longueur ont une densité supérieure à celle de la fibre de polypropylène, ce qui se traduit pour un même volume donné, un nombre de fibres inférieur à celui de la fibre synthétique, ce qui a pour conséquence une compacité de BAP avec fibre de palmier dattier plus élevée par rapport au BAP avec fibres de PP.

A cet effet, les résultats présentés dans ce travail sur les BAP montrent qu'il est possible de formuler des BAP avec des rapports G/S supérieurs à 1. Cet objectif a été atteint par ajustement du dosage en addition et du dosage en superplastifiant.

A titre de comparaison, les fibres de palmier dattier sont complètement aptes à l'utilisation comme renfort dans les bétons autoplaçants.

ANNEXE A

	شركة الإسمنت لحجار السود		F03-01/1000
	FICHE TECHNIQUE CIMENT		
	date 06/08/2017	Version : 06	

CIMENT PORTLAND AU CALCAIRE CEMII/A-L 42,5N

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	NA 234	02 jours 13-17,5
SiO ₂	22 - 28	NA230	FIN DE PRISE	150 - 250		07 jours 23 - 33
Al ₂ O ₃	5 - 6	NA232	EXPANSION A CHAUD	≤ 10mm		28 jours 42.5 -47
Fe ₂ O ₃	3 - 3,6	NA231	SSBlaine cm ² /g	3300 - 4000		FLEXION
MgO	1 - 2	NA231				02 jours 3,0-4,0
K ₂ O	0,3 - 0,6					07 jours 5,0-6,5
Na ₂ O	0,1 - 0,16	NA440	RETRAIT SUR MORTIER μm/m	≤ 1000		28 jours 6,5-8,5
SO ₃	1.8 - 2,5	COPOSITION POTENTIELLE EN %		% DES CONSTITUANTS		
CaOL	0,8 -1,8	C3S	52-58	CLINKER	≥ 74%	
CL ⁻	0 - 0,01	C2S	10 - 25	GYPSE	4 - 6%	
NB: Dans le mélange ajout: calcaire+tuf:		C3A	8 - 12	CALCAIRE	16 %-18%	
le tuf est de l'ordre de 05%		C4AF	9 - 13	pouzzolaine+ calcaire	/	
				calcaire + TUF	12 %-18%	

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 industrielles) 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 garantie l'inviolabilité du sac.

ATTENTION

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

ANNEXE B



SNC BEXCAR BENBRAHIM ET ASSOCIES
 N° 02 Cité 1600 Logts BT 116 EL-KHROUB, 25 100 Constantine, Algérie
 Tel/ Fax : + 213 31 96 54 66
 E-mail : bexcarb.dz@gmail.com

Bexcarb 10N

Usine de Production : El-Khroub, Constantine.

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

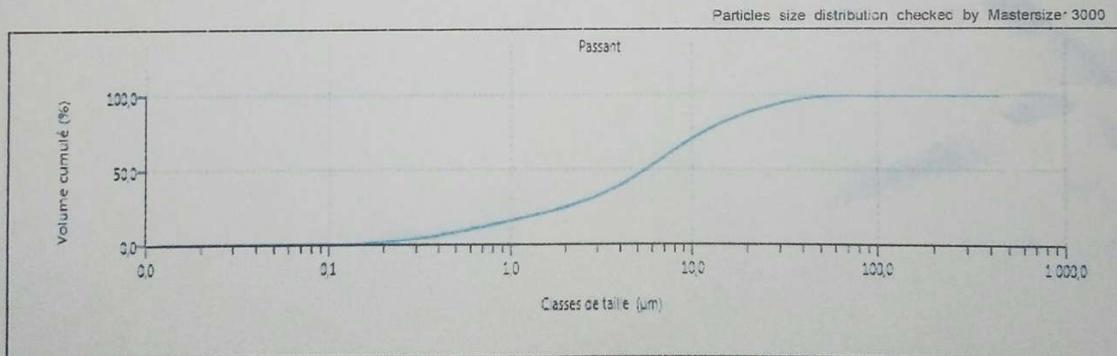
Analyse chimique du Produit :

CaCO ₃	MgO	Fe ₂ O ₃	SiO ₂
≥ 98 %	0,35 %	0,18 %	0,13 %

Propriétés Physique du Produit :

Coupe d98	45 μm
Diamètre médian d50	6,7 μm
Particules % < 2 μm	22
Blancheur (Elrepho) L*,a*,b*	96.6 / 0.28 / 2
Dureté (Mohs)	3
Humidité Maximum	0.2 %

Spécifications de Production :



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

Principales Applications :

- * Industrie de peinture.
- * Plastique : PVC
- * Colles.
- * Mastics.
- * Enduits.

ANNEXE C

Notice technique
Edition Mars 2008
Numéro 1.00
Version n°133.2008
SIKA VISCOCRETE® 3045

SIKA VISCOCRETE® 3045

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

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

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.



RHÉOLOGIE	RÉSISTANCES INITIALES	RÉDUCTION D'EAU
4	2	3

Caractéristiques

Aspect	Liquide marron/ vert.
Conditionnement	<ul style="list-style-type: none"> ■ 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

pH	5 ± 1
Teneur en ions Cl ⁻	≤ 0,1 %
Teneur en Na ₂ O Eq.	≤ 2,5 %
Extrait sec	36,4 ± 1,8 %
Conditions d'application	
Dosage	Plage d'utilisation recommandée : 0,25 à 2,5 % du poids de liant selon les performances recherchées. Dosage usuel du SIKA VISCOCRETE 3045 : 0,3 % à 0,8 %.
Mise en œuvre	SIKA VISCOCRETE 3045 est ajouté, soit, en même temps que l'eau de gâchage, soit en différé dans le béton préalablement mouillé avec une fraction de l'eau de gâchage.
Précautions d'emploi	En cas de contact avec la peau, laver abondamment à l'eau.
Mentions légales	Produit réservé à un usage strictement professionnel Nos produits bénéficient d'une assurance de responsabilité civile. «Les informations sur la présente notice, et en particulier les recommandations relatives à l'application et à l'utilisation finale des produits SIKA, sont fournies en toute bonne foi et se fondent sur la connaissance et l'expérience que la Société SIKA a acquises à ce jour de ses produits lorsqu'ils ont été convenablement stockés, manipulés et appliqués dans des conditions normales. En pratique, les différences entre matériaux, substrats et conditions spécifiques sur site sont telles que ces informations ou toute recommandation écrite ou conseil donné n'impliquent aucune garantie de qualité marchande autre que la garantie légale contre les vices cachés. Nos agences sont à votre disposition pour toute précision complémentaire. Notre responsabilité ne saurait d'aucune manière être engagée dans l'hypothèse d'une application non conforme à nos renseignements. Les droits de propriété détenus par des tiers doivent impérativement être respectés. Toutes les commandes sont acceptées sous réserve de nos Conditions de Vente et de Livraison en vigueur. Les utilisateurs doivent impérativement consulter la version la plus récente de la fiche technique correspondant au produit concerné, qui leur sera remise sur demande.»

Construction