

وزارة التعليم العالي و البحث العلمي

**BADJI MOKHTAR-ANNABA UNIVERSITY**  
**UNIVERSITE BA DJI MOKHTAR-ANNABA**



**جامعة باجي مختار - عنابة**

Année : 2199

Faculté des sciences de l'ingénieur

Département de Génie Civil

## MEMOIRE

Présentée en vue de l'obtention du diplôme de Master

**Formulation d'un BAP : influence du rapport G/S et de la fibre de palmier  
dattier de 30 mm de longueur**

Domaine : Sciences et Techniques

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Par : **BOUAZIZ MOHAMED HAMZA**

**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

Ce travail a été réalisé au laboratoire du département de génie civil à l'université Badji Mokhtar Annaba dirigé par les techniciens du Laboratoire : monsieur Kamel et monsieur Khair-Eddine qu'on remercie de nous avoir aidés et conseillés tout au long de la préparation.

On adresse tout d'abord nos remerciements les plus sincères à notre encadreur PR Behim Morad pour l'intéressante documentation qu'il a mis à notre disposition , pour nous avoir guidé, conseillé, encouragé, supporté et pour nous avoir appris à faire de la recherche et à travailler en groupe qu'on remercie également .

On voudrait exprimer nos gratitudes envers les membres de jury pour l'honneur qu'ils nous ont fait en acceptant de juger ce travail malgré leurs occupations et le temps chargés : Monsieur Ali Boucetta et monsieur Walid Khlifi respectivement docteur à l'université Badji Mokhtar Annaba .

On remercie infiniment mademoiselle Dourdour : doctorante en génie civil pour l'accompagnement, les conseils précieux et pour toutes les efforts déployés qu'elle nous a apportées durant notre étude et réalisation de ce projet.

Enfin, on remercie toute les personnes qui ont contribué à cette réalisation du premier jour de scolarité jusqu'à aujourd'hui surtout le soutien de nos familles, nos parents, qui nous ont toujours entourés durant les périodes les plus difficiles.

## RESUME

Un béton autoplaçant (BAP) est un béton fluide, très déformable, homogène et stable qui se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration.

L'objectif de cette recherche est de réaliser un BAP en ajoutant les fibres de palmier dattier de dimension 30mm et le comparer avec BAP fibré en PP qu'on a pris comme un BAP témoin.

Nous avons abordé une composition du BAP en touchant l'optimisation du rapport G/S le plus convenable, après avoir fait plusieurs essais on a trouvé que le rapport  $G/S = 1.4$  correspond aux critères exigés du BAP en raison de continuer l'objectif de notre étude.

Les résultats obtenus montrent que l'introduction des fibres de polypropylène (PP) ou de palmier dattier (PD) dans les BAP entraîne une diminution sur la caractérisation à l'état frais.

L'effet des fibres de (PD) est légèrement moins important que celui des fibres de (PP) sur l'étalement et la capacité de remplissage.

Cependant, ils garantissent des meilleures résistances de traction par flexion par rapport aux BAP avec fibres de (PP) grâce à la surface rugueuse.

**MOTS CLES :** Béton autoplaçant (BAP), Rapport G/S, Fibre de palmier dattier,

Propriétés rhéologiques, Caractéristiques mécaniques

## Abstract

A self-consolidating concrete (BAP) is a fluid concrete, very deformable, homogeneous and stable which is put in place by gravitation and without the use of a means of vibration.

The objective of this research is to make a BAP by adding the date palm fibers of dimension 30mm and to compare it with BAP bundle in PP that we took as a control BAP.

We approached a composition of the BAP by touching the optimization of the G / S ratio the most suitable, after having made several tests it was found that the ratio  $G / S = 1.4$  corresponds to the criteria required of the BAP due to continue the objective of our study.

The results obtained show that the introduction of polypropylene (PP) or date palm (PD) fibers into BAPs leads to a decrease in the characterization in the spawning state.

The effect of (PD) fibers is slightly less than that of (PP) fibers on spreading and filling capacity

However, they guarantee better flexural tensile strengths compared to BAP with (PP) fibers thanks to the rough surface.

**KEY WORDS :** self –placing concrete (BAP), G/S ratio, Date palm fiber, Rheological properties, Mechanical characteristics.

## ملخص

الخرسانة ذاتية الدمج (BAP) هي خرسانة سائلة ، قابلة للتشوه للغاية ، متجانسة ومستقرة يتم وضعها في مكانها عن طريق الجاذبية وبدون استخدام وسيلة للاهتزاز.

لهدف من هذا البحث هو جعل BAP عن طريق إضافة ألياف نخيل التمر ذات البعد 30 مم ومقارنتها بحزمة BAP في PP التي اتخذناها BAP شاهد.

لقد اقتربنا من تكوين BAP من خلال لمس تحسين نسبة G/S الأكثر ملاءمة ، بعد إجراء العديد من الاختبارات ، تبين أن نسبة  $G/S=1.4$  تتوافق مع المعايير المطلوبة من BAP و ذلك لمواصلة الهدف من دراستنا. أظهرت النتائج التي تم الحصول عليها أن إدخال ألياف البولي بروبيلين (PP) أو ألياف النخيل (PD) في BAPs يؤدي إلى انخفاض في توصيف حالة التفريخ. تأثير الألياف (PD) أقل بقليل من تأثير الألياف (PP) على الانتشار وقدرة التعبئة ومع ذلك ، فهي تضمن قوة شد انحناء أفضل مقارنة بـ BAP مع ألياف (PP) بفضل السطح الخشن.

**مفتاحية كلمات :** الخرسانة ذاتية الشكل (BAP), نسبة S/G, الألياف النخيل, الخصائص البيولوجية, الخصائص الميكانيكية.

## Sommaire

Remerciements

Résumé

Abstract

ملخص

Table des figures

Liste des tableaux

INTRODUCTION GÉNÉRALE

| <b>CHAPITRE I<br/>ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE</b>  |    |
|--|----|
| I.1.1. Historique.....   | 1  |
| I.1.2. Définition du béton Autoplaçants .....  | 2  |
| I.1.3. Composition des BAP .....   | 2  |
| I.1.4. avantages et inconvénients des BAP.....   | 3  |
| I.1.5. Domaine d'application.....  | 3  |
| I.1.6. Principaux constituants.....  | 4  |
| I.1.6.1.Ciment .....   | 4  |
| I.1.6.2.Eau .....  | 4  |
| I.1.6.3.Granulats.....   | 4  |
| I.1.6.4.Les adjuvants .....  | 5  |
| I.1.6.4.1.Les superplastifiants .....  | 5  |
| I.1.6.5.Les fillers calcaires.....   | 6  |
| I.1.6.5.1.Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP..... | 6  |
| I.1.7. Approches de formulation des BAP.....   | 6  |
| I.1.8 Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état frais .....                      | 8  |
| I.1.8.1. Etalement.....  | 8  |
| I.1.8.2.Essai J-Ring .....   | 9  |
| I.1.8.3.Essai de la boîte en L.....  | 9  |
| I.1.8.4.Essai de stabilité au tamis.....   | 10 |
| I.1.9.Caractérisation de béton autoplaçant a l'état durci.....                         | 10 |
| I.1.9.1.Les essais de compression.....   | 11 |
| I.1.9.2.Les essais de traction par flexion .....                                       | 11 |
| I.1.9.3.Module d'élasticité .....  | 11 |
| I.1.10.Durabilité des BAP.....   | 12 |
| I.2.Bétons de Fibre .....  | 12 |
| I.2.1.Définition de béton de fibres .....  | 12 |
| I.3.Les fibres.....  | 13 |
| I.3.1 Définition des fibres.....   | 13 |
| I.3.2.Types de fibres.....   | 13 |
| I.3.2.1 Fibres naturelles .....  | 14 |
| • Fibres minérales .....   | 14 |
| • Fibres végétales .....   | 14 |
| I.3.2.2 Fibres synthétiques.....   | 14 |

|   |    |
|---|----|
| I.3.2.3 Fibres artificielles .....  | 14 |
| I.3.2.4 Fibres de polypropylène.....  | 14 |
| Fibres de verre.....  | 15 |
| Fibres métalliques .....  | 15 |
| I.3.2.5. Les fibres végétales .....   | 15 |
| I.3.2.5.1. Les fibres de palmier dattier .....  | 16 |
| I.3.3.Rôle des fibres.....  | 17 |
| I.4.Bétons autoplacants fibrés.....   | 18 |
| I.4.1.Définition .....  | 18 |
| I.4.2. COMPOSITION DES BAPF.....  | 18 |
| I.4.3.FORMULATION DES BAPF.....   | 19 |
| I.5.Domaine d'utilisation des BAP.....  | 19 |
| I.6. Fabrication et transport des BAP .....   | 19 |
| I.6.1.Fabrication des BAP.....  | 19 |
| I.7.Transports des BAP.....   | 20 |
| I.8.Conclusion.....   | 20 |
| <br><b>CHAPITRE II</b><br><b>METHODES EXPERIMENTALES ET CARACTERISATION</b><br><b>DES MATERIAUX</b><br><br> |    |
| II.1. Introduction.....   | 21 |
| II.2.premier partie .....   | 21 |
| II. 2. 1. Caractérisation des BAP à l' état<br>frais .....  | 21 |
| II.2.1.1. Essai d' étalement au cône<br>d' Abrams.....  | 22 |
| II.2.1.2. Essai à la boîte en L.....  | 23 |
| II.2.1.3. Essai de stabilité au tamis .....   | 24 |
| II.2.1.4.La masse volumique du béton autoplacant.....   | 24 |
| II.2.2. Essais de caractérisations du béton autoplacant à l'état durci .....                                | 25 |
| II.2.2.1 Essai compression.....   | 26 |
| II.2.2.2. Essais de traction par flexion.....   | 27 |
| II.2.2.3. Absorption d' eau par<br>capillarité.....   | 27 |
| II.3.deuxième partie .....  | 27 |
| II.3.1. Matériaux utilisés.....   | 27 |
| II.3.1.1. Granulats.....  | 28 |
| II.3.1.1.1. Sables.....   | 28 |
| II.3.1.1.2. Gravier.....  | 29 |
| II.3.1.2. Ciment.....   | 29 |
| II.3.1.3. Fillers calcaire.....   | 29 |
| II.3.1.4. Adjuvant.....   | 30 |
| II.3.1.5. Eau de gâchage.....   | 32 |
| II.3.1.6.Les fibre.....   | 32 |
| II.3.1.6.1. Palmier dattier.....  | 32 |
| II.3.1.6.2. Fibres de Polypropylène.....  | 32 |
| II.3.2. Essais de caractérisation.....  | 33 |

|   |           |
|---|-----------|
| II.3.2.1. Analyse granulométrique.....  | 33        |
| II.3.2.2. Module de finesse.....  | 34        |
| II.3.2.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable) .....           | 34        |
| II.3.2.4. Masse volumique apparente.....  | 36        |
| II.3.2.5. Masse volumique absolue.....  |           |
| II.3.2.6. L'essai de Los Angeles.....   |           |
| II.3.. Résultats.....   |           |
| II.4. Conclusion .....  | 38        |
| <b>CHAPITRE II</b>  |           |
| <b>FORMULATIONS DES BÉTONS A L'ETAT FRAIS</b>                                   |           |
| III.1. INTRODUCTION.....  | 38        |
| III.2. METHODES DE FORMULATION.....   | 38        |
| III.2.1. L'approche Japonaise.....  | 39        |
| III.3.Première partie .....   | 39        |
| III.3.1. Optimisation de la composition du BAP.....                             | 39        |
| III.3.2.Plan de travail .....   | 45        |
| III.4.Deuxième partie : Formulation des BAP avec ajout de fibres végétales..... | 45        |
| • BAP avec ajout de fibres de polypropylène (BAP FPP).....                      | 45        |
| • BAP avec ajout de fibres végétales (BAP FPD).....                             | 47        |
| III.5. Conclusion .....   |           |
| <b>CHAPITRE IV</b>  |           |
| <b>RÉSULTATS OBTENUS DES BAP</b>  |           |
| IV.1. Introduction.....   | 48        |
| IV.2. Les Résultats à l'état frai .....   | 48        |
| IV.2.1 L'étalement .....  | 48        |
| IV.2.2. L boîte en L .....  | 49        |
| IV.2.3. Stabilité au tamis .....  | 50        |
| IV.3. Les Résultats à l'état durci .....  | 51        |
| IV.3.1. Résistance à la compression.....  | 51        |
| IV.3.2. La résistance à la traction par flexion.....                            | 51        |
| IV.3.3. Absorption d'eau par capillarité .....                                  | 52        |
| IV.3.4. Immersion total .....   | 53        |
| IV.4. Conclusion .....  | 54        |
| <b>CONCLUSION GÉNÉRALE.....</b>   | <b>56</b> |
| <b>RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES.....</b>   | <b>58</b> |



**TABLE DES FIGURES**

|   |           |
|---|-----------|
| Figure I.1.1 : Le pont Akashi Kkaikyo.....  | <b>1</b>  |
| Figure I.1.2 : La tour Landmark Tower.....  | <b>1</b>  |
| Figure I.2 : Action des superplastifiants - Défloculation des grains de ciment..... | <b>6</b>  |
| Figure I.3 : Essai d'étalement.....   | <b>8</b>  |
| Figure I.4:Essai d'étalement J-ring.....  | <b>9</b>  |
| Figure I.5 Représentation schématique de l'essai à la boîte en L.....               | <b>10</b> |
| Figure I.6:Essai de stabilité au tamis.....   | <b>10</b> |
| Figure I.7 : Mesure de la résistance à la compression.....                          | <b>11</b> |
| Figure I.8: Mesure de la résistance à la traction par flexion.....                  | <b>11</b> |
| Figure I.9 : Modèle de composite à base des fibres.....                             | <b>13</b> |
| Figure I.10. Exemples des fibres végétales.....                                     | <b>16</b> |
| Figure I.11 : Fibres de palmier dattier coupées.....                                | <b>16</b> |
| Figure I.12: Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....                | <b>17</b> |
| Figure I.13: Principe de couturassions d'une fissure.....                           | <b>18</b> |
| Figure II.1. : Essai d'étalement au cône d'Abrams.....                              | <b>22</b> |
| Figure II.2. : Essai de boit L.....   | <b>23</b> |
| Figure II.3. : Essai Stabilité au tamis.....  | <b>24</b> |
| Figure II.4. : Presse hydraulique de compression.....                               | <b>25</b> |
| Figure II.6.1. : Formule de calcule de la résistance de traction .....              | <b>26</b> |
| Figure II.6.2. : Essai de traction par flexion.....                                 | <b>26</b> |
| Figure II.7: schéma du dispositif de mesure d'absorption d'eau par capillarité..... | <b>27</b> |
| Figure II.8.a : Fibres de palmier dattier coupées .....                             | <b>29</b> |
| Figure II.8.b : fibres de palmier dattier à l'état brut.....                        | <b>29</b> |
| Figure II.9. Fibres de polypropylène.....   | <b>30</b> |
| Figure II.10. : Analyse granulométrique.....  | <b>31</b> |
| Figure II.11 : Essai d'équivalent de sable.....                                     | <b>32</b> |

|  |           |
|--|-----------|
| Figure II.12 : Essai de masse volumique apparente.....                   | <b>33</b> |
| Figure II.13 : Masse volumique absolue.....                              | <b>33</b> |
| Figure II.14 : La machine de Los Angeles.....                            | <b>34</b> |
| Figure II.15 : Analyse granulométrique.....                              | <b>34</b> |
| Figure III.1.1 : essai d'étalement .....                                 | <b>35</b> |
| Figure III.1.2 : la boîte en L.....                                      | <b>40</b> |
| Figure III.2.1 : essai d'étalement .....                                 | <b>40</b> |
| Figure III.2.2 : la boîte en L.....                                      | <b>41</b> |
| Figure III.2.3 : stabilité au tamis.....                                 | <b>41</b> |
| Figure III.3 : les essais d'étalement.....                               | <b>41</b> |
| Figure III.4.1 : l'essai d'étalement : G/S =1.4.....                     | <b>42</b> |
| Figure III.4.2 : boîte en L : G/S =1.4 .....                             | <b>43</b> |
| Figure III.4.3 : stabilité du tamis G/S=1.4 .....                        | <b>43</b> |
| Figure III.6 : Avec fibre PP.....  | <b>43</b> |
| Figure III.7 : + fibres de P.D.....                                      | <b>46</b> |
| Figure IV.1 : L'étalement en fonction de type de béton.....              | <b>47</b> |
| Figure IV.2 : La boîte en L en fonction de type de béton .....           | <b>48</b> |
| Figure IV.3 : La stabilité au tamis en fonction de type de béton.....    | <b>49</b> |
| Figure IV.4 : Variation de la résistance à la compression .....          | <b>50</b> |
| Figure IV.5 : Variation de la résistance à la traction par flexion ..... | <b>51</b> |
| Figure IV.6 : Absorption d'eau par capillarité des BAP testés .....      | <b>52</b> |
| Figure IV.7 : Immersion total des BAP testés.....                        | <b>53</b> |

## LISTE DES TABLEUX

|  |    |
|--|----|
| Tableau I.1: Exemple de composition des BAP.....   | 3  |
| Tableau I.2: avantages et inconvénients des BAP.....   | 3  |
| Tableau I.3 : classes d'étalement.....   | 9  |
| Tableau 1.4 : Principales propriétés physiques des FSPD (Dokar, Elghers, D-Nour et D-Bida).....                        | 17 |
| Tableau II.1 : Composition chimique du ciment.....   | 28 |
| Tableau II.2 : Composition minéralogique du clinker .....  | 28 |
| Tableau II.3 : Caractéristique chimique du filler calcaire.....  | 28 |
| Tableau II.4 : Propriétés physico-chimiques du plastifiant.....  | 28 |
| Tableau II.5 : Caractéristiques physiques de la fibre de palmier dattier.....  | 30 |
| Tableau II.6 : Caractéristiques mécaniques de la fibre de palmier dattier réalisé sur une fibre de Longueur 20 mm..... | 30 |
| Tableau II.7. Caractéristiques des fibres de polypropylène selon le fabricant.....                                     | 31 |
| Tableau II.8 : Caractéristiques physiques des granulats.....   | 35 |
| Tableau II.9: Caractéristiques physiques et mécaniques du ciment.....  | 36 |
| Tableau II.10 : Caractéristiques physiques du filler calcaire.....   | 36 |
| Tableau III.1 : formulation G/S=2.....   | 39 |
| Tableau III.2 : formulation G/ S=1.6.....  | 40 |
| Tableau III.3 : les formulations essayées G/S=1.6.....   | 42 |
| Tableau III.4 : les formulations référence G/S=1.4.....  | 44 |
| Tableau III.5 : Composition d'étude.....   | 44 |
| Tableau III.6 : les formulations dans 1 m <sup>3</sup> .....   | 46 |
| Tableau III.7 : résultats des essais .....   | 47 |

## INTRODUCTION GENERALE

Beaucoup de structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration en armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle.

Afin d'adapter les bétons à ces ouvrages, des recherches ont été menées au cours des dernières années dans le but de développer des formulations de bétons se caractérisant par une haute ouvrabilité, tout en étant stables, avec de bonnes caractéristiques mécaniques.

Ces bétons désignent des bétons très fluides, homogènes et stables, mis en place sans vibrations. On parle de béton auto-nivelant (BAN) pour les dalles et toutes les parois horizontales et de béton autoplaçant (BAP) pour les murs et toutes les parois verticales.

Les BAP ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon. Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en œuvre. Ce sont des bétons spéciaux, ils sont très fluides, très déformables, homogènes et stables.

Le renforcement des matériaux cimentaires par les fibres végétales est relativement nouveau par rapport à celui des fibres métalliques et synthétiques ou d'acier.

L'Algérie est parmi les pays, qui dispose d'extraordinaires et diverses ressources en fibres végétales (de palmier, d'Alfa, de chanvre, de coton ...), qui peuvent faire l'objet d'un emploi comme renfort dans les matrices cimentaires. D'ailleurs, la fibre de palmier dattier a toujours été utilisée pour renforcer les matrices argileuses utilisées dans les anciennes constructions en terre dont la durabilité n'est plus à prouver.

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

Notre mémoire comporte quatre chapitres :

**Le premier chapitre** : est une étude bibliographique sur les bétons autoplaçant et les bétons autoplaçants fibrés.

**Le deuxième chapitre** : traite des méthodes expérimentales et la caractérisation des matières premières utilisées dans ce travail, Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant: sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité

Nous avons présenté différemment les caractéristiques des BAP à l'état frais ainsi que les propriétés à l'état durci notamment les résistances mécaniques (compression et traction par flexion).

Dans cette partie, on s'intéresse aussi à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre étude. La caractérisation des matériaux de construction nous permet de déterminer les dosages optimaux.

**Le troisième chapitre :** est structuré en deux parties, La première partie est consacrée à la formulation des bétons autoplaçants d'étude en utilisant la méthode Japonaise en optimisant le rapport G/S et  $D_{max}$  par rapport aux propriétés rhéologiques des bétons.

La deuxième concerne l'introduction des fibres de polypropylène comme fibrage témoin et les fibres de palmier dattier comme fibrage d'étude.

**Le quatrième chapitre :** Les résultats présentés dans ce chapitre concernent les BAP étudiés notamment le BAP témoin, le BAP avec fibre de polypropylène et enfin le BAP avec fibre de palmier dattier.

Les résultats des essais sur les BAP étudié à l'état frais sont l'étalement au cône d'Abrams, le pouvoir de remplissage à la boîte en L et la stabilité au tamis

Alors que les résultats sur les propriétés mécaniques des bétons étudiés, sont résistance mécanique en compression et en flexion et aux propriétés de transfert notamment la perméabilité à l'eau et l'absorption d'eau par capillarité.

## CHAPITRE I : ETUDE BIBLIOGRAPHIQUE

**I.1. Historique**

Le béton autoplaçant (BAP, aussi nommé béton auto-nivelant (BAN) ou bien béton auto-compactant, est un béton se différenciant des autres par son **importante fluidité**.

Une caractéristique ayant longtemps été recherchée dans le domaine de la construction afin de faciliter la mise en œuvre du béton sur les chantiers.

Il était fréquent de rajouter de l'eau au mélange afin d'obtenir un béton plus fluide mais cela le **fragilisait**. C'est pourquoi le BAP est une véritable révolution. Apparue dans les années 1980 au Japon. Si le béton autoplaçant possède une telle fluidité, c'est grâce aux divers **adjuvants et superplastifiants** qui le composent. Ceci a rendu les constructions plus sûres et a grandement facilité les méthodes de mise en œuvre du béton.[1]

À titre d'exemple nous citerons quelques réalisations japonaises :

Le pont Akashi Kkaikyo(**Figure I.1.1**)[2]

La tour Landmark Tower (**Figure I.1.2**) [3]



**Figure I.1.1 : Le pont Akashi Kkaikyo**



**Figure I.1.2 : La tour Landmark Tower**

### I.1.2. Définition du béton Autoplaçants

Le **béton autoplaçant (BAP)** est un béton de ciment capable, de se mettre en place dans les coffrages même les plus complexes et très encombrés sans nécessiter pour autant des moyens de vibration afin de consolider le mélange avec résultat un produit très homogène . Ce type de béton doit être apte à passer à travers les armatures les plus serrées avec, cependant, une vitesse dépendant de la **viscosité** du mélange. Pour remplir cette condition, le béton doit être très fluide, c'est-à-dire très déformable. Or ceci n'est possible que si le rapport **eau/ciment** est élevé ou si le béton contient un **superplastifiant**.

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

Une bonne stabilité liée, entre autres, à la viscosité du mortier et de son seuil de cisaillement nécessite soit l'emploi d'un **agent de viscosité** afin d'améliorer la cohésion de l'ensemble, soit d'augmenter la teneur en matière cimentaire et de réduire la teneur en eau libre. Aussi une bonne stabilité peut être liée à une optimisation de la compacité **granulaire**. Or, l'augmentation de la teneur en liant n'est pas sans conséquence sur la durabilité, vu le dégagement de chaleur d'une part, et d'autre part, le risque de nuire à la capacité de remplissage, propriété très recherchée pour ce genre de béton.

Cette complexité amène à combiner différentes paramètres pour obtenir le niveau désiré en termes de résistance à la compression. Mais avant d'atteindre cette étape, il est indispensable de s'assurer d'une part de la bonne capacité de remplissage de ces bétons, donc une déformabilité supérieur à celle des bétons ordinaires. D'autre part, il faut s'assurer de la stabilité de mélange et éviter par conséquent, la ségrégation. Très souvent, la satisfaction de ces deux exigences entraîne un compromis. En claire, en plus de garantir un étalement compris entre 500 et 700 mm et d'assurer une très bonne capacité de remplissage, il faut que l'agent de viscosité introduit pour améliorer la viscosité n'abime pas la déformabilité du béton.[4]

### I.1.3. Composition des BAP

Le **BAP** se caractérise par un **volume de pâte élevé**. En effet, les quantités en matériau ajoutées au mélange sont plus importantes que dans un béton ordinaire. Ce volume important de pâte va **éloigner** les granulats présents dans la composition et **réduire** les éventuels frottements. Ceci permet donc au mélange d'être **plus fluide**, ce qui facilite le remplissage des coffrages.

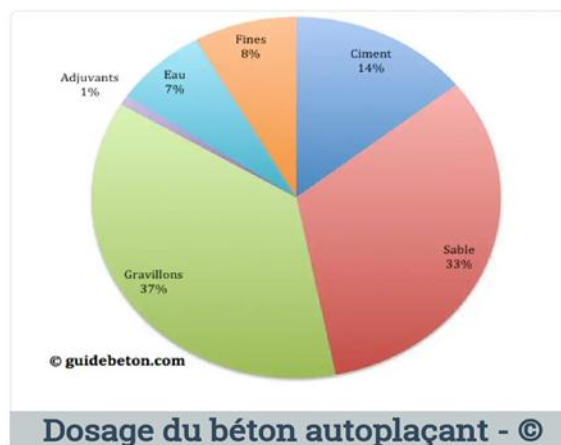
Le béton a pour principal rôle d'être solide. C'est pourquoi on ajoute des fines (minéraux millimétriques) en quantité supérieure à celle des bétons classique, cela afin de garantir une certaine maniabilité au **BAP**.

Les **adjuvants** sont essentiels dans la composition des **BAP**. Les adjuvants utilisés lors de la composition du BAP sont les **superplastifiants**. Ces derniers permettent d'obtenir un mélange très fluide.[4]

**Exemple de dosage :**

**Tableau I.1: Exemple de composition des BAP**

| Les constituants      | Dosage,<br>Kg |
|-----------------------|---------------|
| <b>Ciment</b>         | 350 KG        |
| <b>Sable</b>          | 800 KG        |
| <b>Gravillons</b>     | 900 KG        |
| <b>Adjuvants</b>      | 21 KG         |
| <b>Fines</b>          | 200 KG        |
| <b>Eau de gâchage</b> | 180 L         |



#### I.1.4. avantages et inconvénients des BAP

**Tableau I.2: avantages et inconvénients des BAP [4]**

| Avantages   | Inconvénients  |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> <li>- Absence de vibration pour sa mise en place</li> <li>- Facilité et rapidité de la mise en œuvre</li> <li>- Amélioration des conditions de travail suite à l'absence de nuisances sonore</li> <li>- Excellent remplissage des coffrages</li> <li>- Béton de qualité et surface plane, régulière</li> <li>- Possibilité de bétonner des formes complexes</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comme c'est un béton très fluide, le temps de séchage est plus élevé que pour un béton ordinaire</li> </ul> |

#### I.1.5. Domaine d'application

Le **BAP** est majoritairement retrouvé dans les constructions au sol. Il est employé dans de nombreuses applications :

- Dalles
- Radiers
- Plancher chauffant



- Poteaux, poutres, voiles
- Fondations superficielles

Le BAP est régulièrement utilisé dans ces applications car il se met en place aisément et sans vibration, tout en ayant une excellente qualité. [5]

### **I.1.6. Principaux constituants**

Les constituants de base d'un béton ordinaire sont le ciment, l'eau et les granulats. En effet, si l'un de ces constituants n'est pas présent, le béton n'existerait pas. Les bétons autoplacants par contre, sont possibles grâce aux ajouts d'adjuvants et d'additions minérales à la composition de base du béton. Chaque constituant joue un rôle différent dans l'écoulement et dans le comportement rhéologique du béton, et des interactions existent entre certains composants [6]

#### **I.1.6.1.Ciment :**

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplacant est soit le ciment Portland CPA-CEM I 42,5 qui contient au moins 95 % de clinker et éventuellement un constituant secondaire, soit le ciment Portland composé CPA-CEM II/A et B 42,5 dont l'apport en clinker est de 65 à 94 %, le reste étant composé d'un ou de plusieurs ajouts.[6]

- **Les différents types de ciment : [6]**

- CEM I: Ciment Portland (CPA).
- CEM II : Ciment Portland composé (CPJ).
- CEM III : Ciment de haut-fourneau (CHF).
- CEM IV : Ciment pouzzolanique (CPZ).
- CEM V : Ciment composé (CLC).

#### **I.1.6.2.Eau :**

L'eau de gâchage doit être propre et 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 faibles résistances.
- l'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :
- 15 g/l pour les bétons à haute résistance.
- 30 g/l pour les bétons à faibles résistances. [6]

#### **I.1.6.3.Granulats**

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers et cailloux) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle. Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières. 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. Pour faciliter l'écoulement du mélange, la confection d'un bon béton autoplaçant utilise généralement des granulats roulés de rivières et un apport de fines (par exemple des fillers calcaires) plus importants. Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport gros granulats / sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP. Le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé augmente lorsque le  $D_{max}$  augmente. Ainsi, le  $D_{max}$  des granulats doit être compris entre 10 et 20 mm. [6]

#### **I.1.6.4. Les adjuvants :**

Les adjuvants sont des produits chimiques qui incorporés dans les bétons lors de leur malaxage ou avant leur mise en œuvre à des doses inférieures à 5% du poids de ciment, provoquent des modifications des propriétés ou du comportement de ceux-ci. Un adjuvant a, en général, une action principale d'après laquelle il se trouve classé et défini mais il peut présenter également certaines actions secondaires que l'on appelle généralement « effets secondaires ».

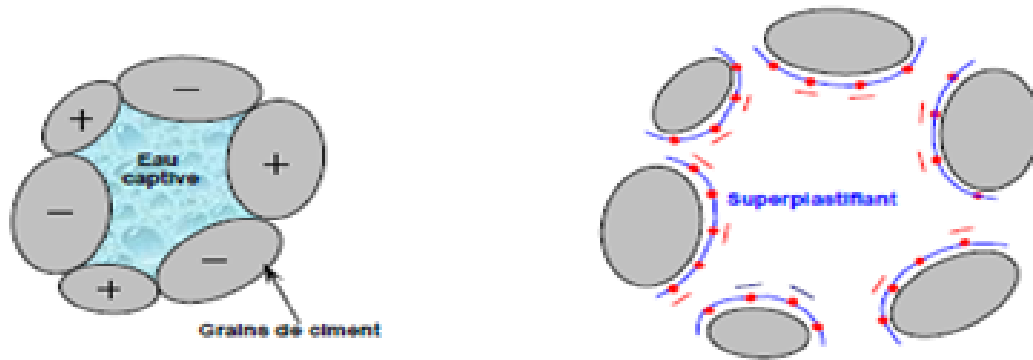
La norme européenne EN 934 -2 a retenu la classification suivante :

- Plastifiants réducteurs d'eau.
- Superplastifiants hautement réducteurs d'eau.
- Rétenteurs d'eau.
- Entraîneurs d'air.
- Accélérateurs de prise.
- Accélérateurs de durcissement.
- Retardateurs de prise. [6]

##### **I.1.6.4.1. Les superplastifiants :**

Les superplastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2% environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue.

Les superplastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et présenter de bonnes propriétés de mise en œuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées. [6]. Le principal rôle des superplastifiants est la défloculation des de ciment (figure I.2)



**Figure I.2 :** Action des superplastifiants - Défloculation des grains de ciment

### I.1.6.5. Les additions

#### - Les fillers calcaires :

Les fillers calcaires sont des produits secs finement divisés obtenus par broyage industriel des roches calcaires, dont les caractéristiques sont définies par la norme NF P18 – 305.

Les dimensions des particules de fillers s'étendent de quelques  $\mu\text{m}$  à quelques dizaines de  $\mu\text{m}$ , déterminées en utilisant la granulométrie laser. [6]

#### I.1.6.5.1. Influence des fillers calcaires sur les paramètres rhéologiques des BAP:

Ce sont des farines de roche calcaire obtenues par broyage. Même si le rôle principal des fillers calcaire est celui de charge minérale. Les fillers calcaire présentent un certain nombre d'avantage ; notamment :

- Augmentation de la résistance du béton par diminution de la porosité du BAP par effet de remplissage.
- Augmentation de la résistance du béton à court terme par effet de germination hétérogène
- Diminution du dosage en ciment pour une résistance donnée.
- Réduction de l'effet thermique (ouvrage massif)
- Réduction du coût final du béton
- Limitation du ressuage.
- À long terme, en présence d'aluminates, les fillers calcaires conduisent à une formation de composés appelés carbo-aluminates, ayant un certain pouvoir liant.

### I.1.7. Approches de formulation des BAP

#### - Méthode japonaise: [7]

La formulation des BAP par l'approche développée à l'Université de Kochi se 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. 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 m<sup>3</sup> 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.

– **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/m<sup>3</sup>). 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.

• **Méthode Suédoise: proposée par [Petersson et al, 1996] [8]:**

La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat. [8]

• **Méthode Française :**

Méthode française (LCPC) : proposée par [De Larrard et al, 1994] [8]: Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide. 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 super plastifiant 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).

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. [8]

### I.1.8 Caractérisation d'un béton autoplaçant à l'état frais :

#### I.1.8.1. Etalement [NF EN 12350-8] :

Le premier essai, aussi le plus simple et le plus largement pratiqué, consiste à mesurer l'étalement au cône d'Abrams. On place en une seule fois un échantillon de béton dans un cône d'Abrams maintenu sur une plaque en acier horizontale et humidifiée (Figure I.1.5). Ensuite enlever d'un geste régulier et vertical le cône et on laisse s'écouler le béton. Le premier résultat de cet essai est exprimé par la moyenne de deux mesures du diamètre de la galette de béton obtenue. Il nous renseigne sur la déformabilité du béton. [9]

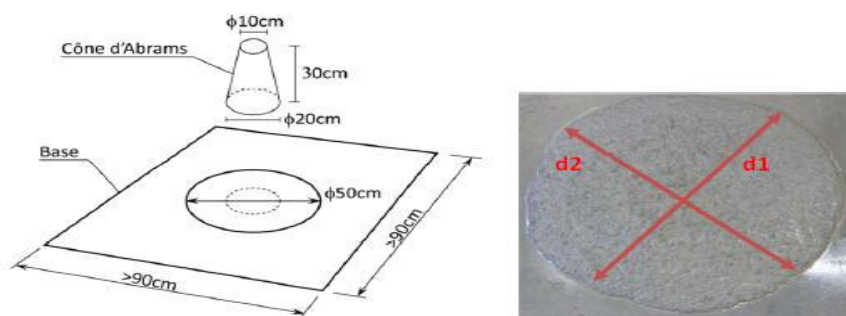


Figure I.3 : Essai d'étalement [9]

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes (Tableau I.3).

Tableau I.3 : classes d'étalement

| Classe | Etalement en mm |
|--------|-----------------|
| SF1    | 550 à 650       |
| SF2    | 660 à 750       |
| SF3    | 760 à 850       |

### I.1.8.2. Essai J-Ring

Cet essai consiste à faire écouler le béton au travers de barres d'armatures afin de pouvoir évaluer sa tendance au phénomène de blocage. Le béton s'écoule à partir du cône disposé au centre d'un anneau métallique (Figure I.4). On caractérise donc la tendance à la ségrégation et l'enrobage d'armatures. De plus, la répartition des granulats doit être homogène. [10]

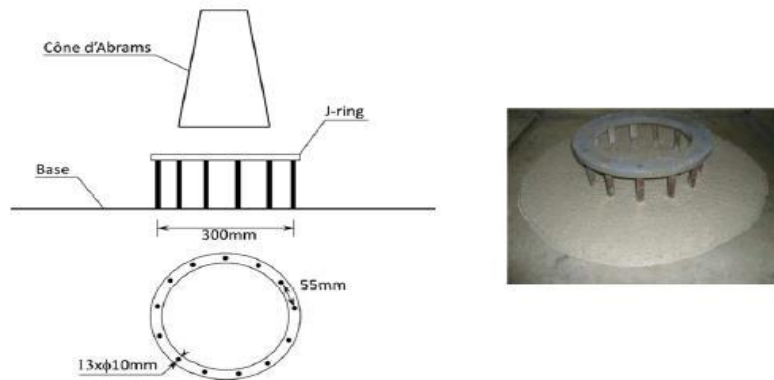


Figure I.4: Essai d'étalement J-ring [10]

### I.1.8.3. Essai de la boîte en L (L-box test)

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] 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 39 mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1. 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.

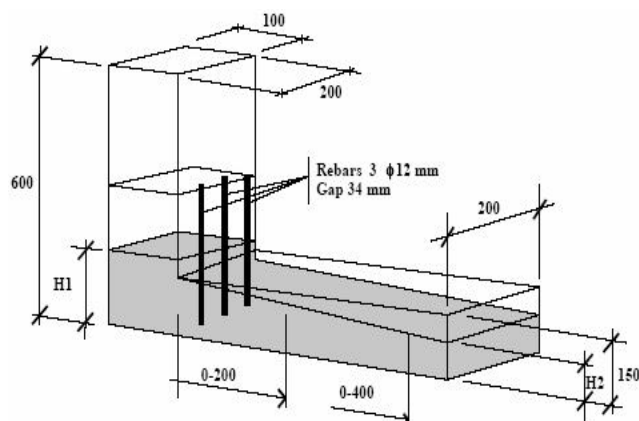


Figure I.5 Représentation schématique de l'essai à la boîte en L[9]

Pour que le béton autoplaçant soit accepté, le taux de remplissage de la boîte en L (rapport des hauteurs  $H2/H1$  comme indiqué sur la figure 1.5 doit être supérieur à 0,8[9]

#### I.1.8.4.Essai de stabilité au tamis :

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçants, il vise à qualifier les bétons autoplaçants vis-à-vis du risque de ségrégation (Figure I.6). Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier.

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité. Il consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance ( $P$ , laitance) d'un échantillon de béton ( $4,8 \pm 0,2$  kg) passant à travers un tamis de 5 mm. Les critères d'acceptabilité d'une formulation d'un béton autoplaçant sont divisés en deux classes:

- $P \leq 20 \%$
- $P \leq 15 \%$



Figure I.6:Essai de stabilité au tamis [11]

#### I.1.9.Caractérisation de béton autoplaçant a l'état durci

Le béton doit être soumis à différents essais mécaniques de caractérisation :

- **Les essais de compression.**
- Les essais de traction par flexion.

### I.1.9.1. Les essais de compression :

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cylindriques 16x32 cm conformément aux prescriptions de la norme **NF EN206-1**. [6]

Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon (Figure I.7). La contrainte de compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée. [6]



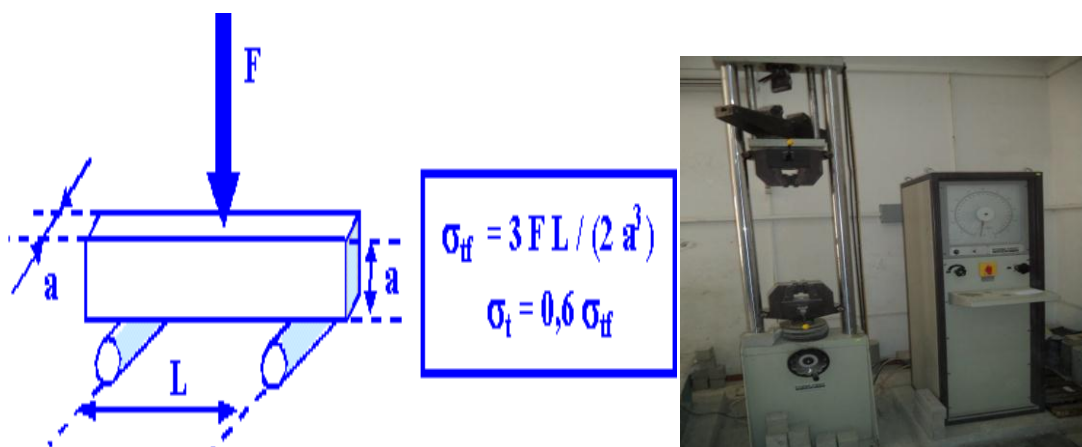
**Figure I.7 :** Mesure de la résistance à la compression  
(capacité 2000 KN)

### I.1.9.2. Les essais de traction par flexion :

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages (Figure I.8). Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont prismatiques de dimensions 7x7x28 cm.

La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance des matériaux suivante :  $\sigma = Mf.a/2I$ , avec le moment de flexion :

$Mf = F.L/4$ , où  $F$  est la charge de rupture,  $L$  la portée,  $I$  l'inertie de flexion, et  $a$  le côté du prisme. [6]



**Figure I.8:** Mesure de la résistance à la traction par flexion  
(capacité 150 KN)



### I.1.9.3. Module d'élasticité :

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une basse quantité de gros granulats on se réfère à la formule réglementaire du module ( $E_{ij} = 11000 f_{cj} / 3$ ), 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.[6]

### I.1.10. Durabilité des BAP

La pérennité d'un ouvrage en béton et sa durabilité dans le temps, dépend de plusieurs paramètres liés d'une part à l'environnement (nature, concentration et renouvellement ou non des éléments agressifs) et d'autre part au matériau lui-même (nature et dosage des constituants, conditions de fabrication et de cure). Il est généralement admis qu'un béton durable est un béton résistant aux agressions. La pénétration de gaz et des différents fluides dans le béton s'effectue par l'intermédiaire du réseau poreux de la matrice cimentaire, qui représente une barrière ouverte au milieu extérieur, permettant ainsi le passage des différents agents agressifs. Les principaux processus qui gouvernent ces transferts sont l'absorptivité, la permutabilité et la diffusivité : [12]

- **L'absorptivité** est définie comme un transfert des liquides dans un matériau poreux dû à des tensions de surface dans les capillaires.
- **La permutabilité** est définie comme étant le transfert de fluides sous l'effet d'un gradient de pression, elle est généralement assimilée à deux principales grandeurs, la perméabilité au gaz et la perméabilité à l'eau.
- **La diffusion** quant à elle est définie comme un transfert ionique sous l'effet d'un gradient de concentration. La grandeur qui lui est associée est la diffusion des ions chlorures.
- **Dégradation spécifique** : la carbonatation et la lixiviation sont des dégradations accélérées qui traduisent des désordres causés dans le béton par la carbonatation naturelle et la dégradation en eau pure. On a vu précédemment, que les BAP se caractérisent par un volume de pâte élevé, ce dernier est obtenu généralement par l'ajout d'une quantité importante d'additions minérales. Les additions minérales développent une microstructure différente de celle développée par un ciment Portland ordinaire. Ceci dépend étroitement de la nature de l'addition (inerte ou réactive) et de sa finesse, mais aussi du mode d'introduction de l'addition par substitution et/ou ajout.[12]

## I.2. Bétons de Fibres :

### I.2.1. Définition de béton de fibres :

Par inclusion directe de fibres isolées (Figure I.9), dont les propriétés mécaniques résultent de la combinaison des propriétés du béton, des fibres et de l'interface entre les matériaux.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton de modifier ces propriétés. Les fibres sont des éléments discontinus, de nature variable, répartis dans la matrice et ayant une orientation aléatoire (naturelle) ou forcée. Les fibres sont capables de limiter et couvrir les fissures. Les fibres aussi permettent d'améliorer ainsi le comportement post-fissuration du

béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et la macro fissuration. Elles ont de plus, la capacité de transférer les charges, dès lors qu'une bonne adhérence fibre/matrice est assurée la distribution homogène des fibres dans le béton est donc la condition principale pour pouvoir parler d'un béton renforcé avec les mêmes caractéristiques dans tous les points de la matrice. Par ailleurs, les fibres constituent une sorte de granulat filiforme gênant l'assemblage optimal du squelette des granulats. La géométrie des fibres, leur dosage, ainsi que la mise en place du matériau frais, sont des paramètres affectant très fortement le comportement global du matériau durci. [13]

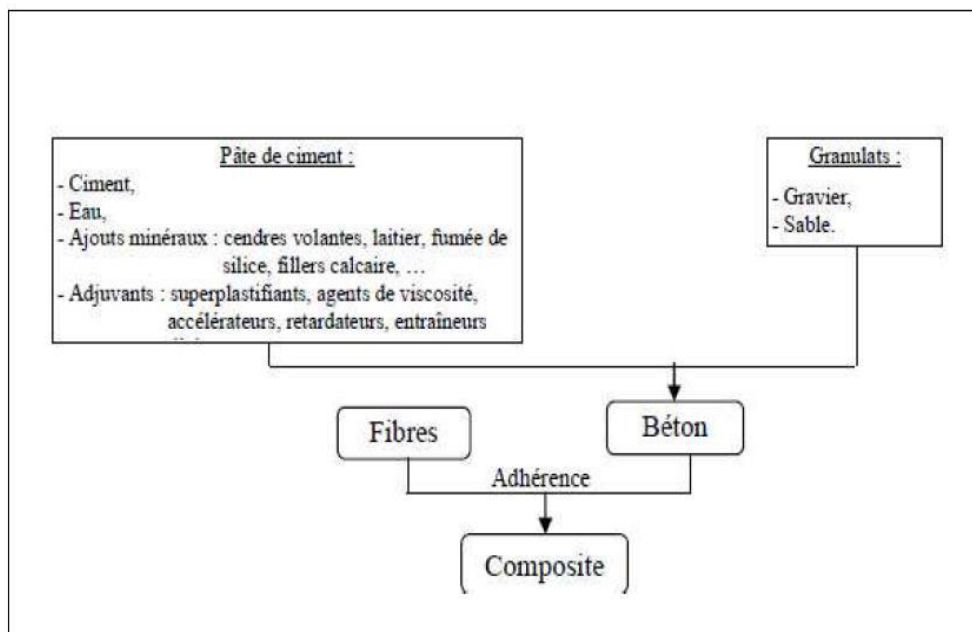


Figure I.9 : Modèle de composite à base des fibres [13]

### I.3. Les fibres:

#### I.3.1 Définition des fibres:

Le terme Fibre se rapporte à un corps solide flexible, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelque centimètre dont la longueur égale à quelques milliers de fois ce diamètre. Ce terme est généralement aussi utilisé 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, de la fibre de grande longueur ou filament continu.

Dans le rapport sur l'état de l'art publié par le comité 544, de L'American Concrete Institute en 1982 nous pouvons lire : "Les fibres sont produites à partir d'acier, de plastique, de verre et de matériaux naturels sous différentes formes et dimensions".

#### I.3.2. Types de fibres :

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres sont classées selon leur origine (naturelle, synthétique ou artificielle, leur forme (droite, ondulée, aiguille, ... etc), leur dimension (macro ou micro- fibre) et aussi par leur propriétés mécaniques. Les principales fibres utilisées sont:

### **I.3.2.1 Fibres naturelles :**

- **Fibres minérales :**

Elles regroupent plusieurs sortes de fibres (amiante, alumine ... etc), et sont utilisées en grande quantité dans plusieurs applications traditionnelles. Les fibres d'amiante autrefois utilisée pour l'isolation, se sont aujourd'hui révélées cancérigènes.

- **Fibres végétales :**

La principale fibre végétale est la cellulose qui résiste aux alcalis. Les fibres végétales résistent à la plupart des acides organiques mais sont détruites par les acides minéraux forts. Il existe quatre sorts de fibres végétales: les fibres provenant des poils, les fibres du liber. Elles sont souvent utilisées dans la fabrication du papier et dans les panneaux de construction (fibres de bois).

### **I.3.2.2 Fibres synthétiques :**

Cette famille regroupe plusieurs types de fibres comme (nylon, polypropylène, polyester ...etc). Elles sont apparues à la fin du XIXème siècle sous le nom de rayonne. Elles sont dérivées de la cellulose naturelle. Aujourd'hui, la plupart des fibres synthétiques proviennent des produits dérivés du pétrole et de polymères géants dont la structure ressemble à celle des matières plastiques. La première fibre plastique commercialisée avec succès, le Nylon, daté de 1938.

Depuis, de nombreux synthétiques, dont les fibres acrylique, l'aramide, l'oléfine et le polystyrène sont apparus. Ces fibres ont également été étudiées à des fins industrielles très précises, telles que la fabrication des matériaux d'isolation, t'issus pare-balle, les fuselages et ailes d'avion.

### **I.3.2.3 Fibres artificielles :**

Ce type de fibre est le plus utilisé dans le domaine industriel en général et dans le domaine de génie civil en particulier. Il regroupe les fibres de verre, les fibres de carbone, les fibres d'acier et d'autre. Elles sont aujourd'hui les plus répandues dans l'industrie de la construction. Nous allons présenter quelques principales fibres utilisées pour renforcer les mortiers et bétons.

### **I.3.2.4 Fibres de polypropylène :**

Le polypropylène est un polymère cristallisable de la famille de polyoléfines. Il est fabriqué depuis 1954 pour l'industrie textile. Il a connu une extension croissante dans ce domaine ou il apporte les avantages suivants: bonne résistance à la traction qui peut atteindre 800 MPa, déformabilité élevée.

Ces fibres sont obtenues suivant les processus d'extrusion, étirage qui confère une orientation prépondérante aux molécules et qui engendre des propriétés mécanique élevées. L'ajout des fibres de polypropylène au mortier et au béton remonte à 1960 mais ce n'est qu'à partir de 1967 qu'apparaissent des réalisations intéressantes notamment en Grande Bretagne. Ces fibres sont utilisées dans les bâtiments pour l'élaboration de panneaux décoratifs, ainsi que l'élaboration de revêtement de façades de plusieurs constructions et aussi dans la réalisation des canalisations et des pieux.

- **Fibres de verre :**

Ces fibres sont fabriquées à partir de verre fondu qui passe dans une filière, chauffé par effet Joule, qui comporte 50 à 800 tours d'un diamètre de l'ordre de 10 à 100mm. Elles sont disponibles dans le commerce sous forme de bobines (découpage à la demande) ou sous forme de morceaux prédécoupés de 3, 6, 12 et 50 mm de long. Ils sont regroupés en trois types: les fibres de verre classique (silice, soude, chaux), la fibre de verre au zirconium et la fibre au borosilicate.

Ces fibres sont généralement caractérisées par les propriétés suivantes:

- Bonne adhérence avec la matrice.
- Disponibilité sous toutes les formes (coupées, continues.....).
- Bonne résistance à l'humidité et à la corrosion.
- Conductivité thermique relativement faible.
- **Fibres métalliques :**

Ce type de fibre, qui regroupe les fibres d'acier et les fibres de fonte amorphe, font encore l'objet de recherche très importante dans le monde. On se limite aux fibres d'acier qui sont les plus utilisées dans le domaine de génie civil. En effet les propriétés mécaniques du béton renforcé par ces fibres sont influencées par la résistance d'adhésion interraciale entre fibre et la matrice. Les fabricants des fibres d'acier ont essayé par tous les moyens d'améliorer l'adhérence en jouant sur l'irrégularité de la surface de la fibre. Ce qui les conduits aux nombreuses variétés de fibre qui se différencient les unes des autres par leurs diamètre, leur section (rond, carré, rectangulaire). Leur longueur et leur mode d'opération. Les diamètres des fibres d'acier varient généralement entre 0,1 et 0,7 mm, avec des longueurs de 10 à 70 mm.

Les fibres métalliques utilisées en dallage industriel sont les plus souvent des fibres tréfilées comportant généralement des fils de 1mm de diamètre. Les différentes fibres existantes se différencient les unes des autres par le type d'ancrage actif dans la matrice du béton. Il existe des fibres fabriquées avec un ancrage dit déformable, par exemple des fibres à crochets telles que celle commercialisées par la société Bekaert sous la marque "DRAMIX".

Il existe d'autres types de fibres artificielles qui sont utilisé pour le renforcement des mortiers ou béton telle que, fibres d'amiante, fibres de cellulose.....).

Chaque type de fibres présente des caractéristiques et des propriétés qui lui sont propres : Dimensions (diamètre, longueur...), formes (lisse, rugueuse, plate, ondulée, crantée...), résistance à la traction et adhérence au béton, qui procurent un comportement mécanique spécifique aux structures renforcées de fibres.[14]

### **I.3.2.5. Les fibres végétales :**

Les fibres végétales les plus utilisées sont la paille, le chanvre, le lin, le sisal et le bambou (figure I.10). Ces fibres ont une structure creuse composée principalement de cellulose et possèdent une propriété très hydrophile. Les fibres végétales absorbent

l'eau et ce caractère est très important en raison de la méthode de confection des bétons.



Fibres De Chanvre



Fibres De Sisal



Fibres De Cellulose



Fibres De Jute



Fibres De Coco



Fibres De Bambou

**Figure I.10.** Exemples des fibres végétales

#### 1.3.2.5.1. Les fibres de palmier dattier



**Figure I.11 :** Fibres de palmier dattier coupées

Parmi les fibres végétales les plus cultivées, on peut citer les fibres de palmier dattier. Dans le sud de notre pays, il y'a plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques universitaires [19]. Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers (appellation locale). On peut avoir plusieurs types de fibre dans le palmier : de bois, de feuille, de tige, de surface... d'après la bibliographie, on peut résumer (Tableau 1.3) les propriétés physiques principales des fibres de surface de palmier dattier

Ainsi parmi les caractéristiques des fibres de surface de palmier dattier, on peut citer d'après les chercheurs :

- Un pouvoir d'absorption assez élevé (123.5% en moyenne),
- Les fibres sont poreuses avec une surface alvéole,
- Le pourcentage de cellulose (le responsable de la résistance) est relativement faible par rapport aux fibres de Sisal.

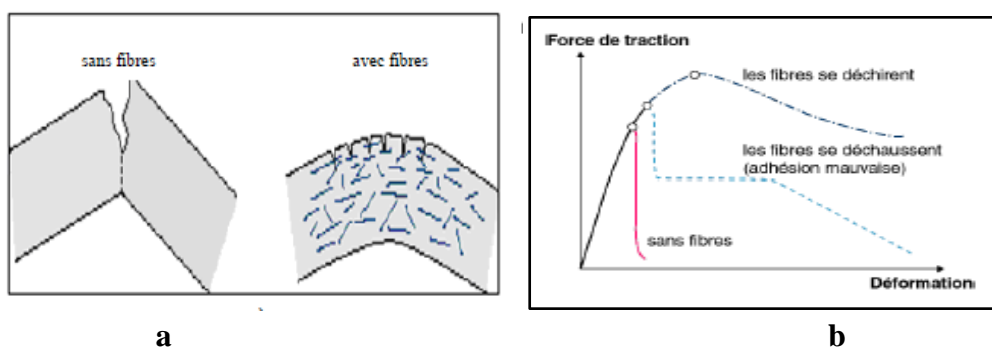
**Tableau 1.4** : Principales propriétés physiques des FSPD (Dokar, Elghers, D-Nour et D-Bida) [19,20]

| Propriété                              | Minimum - Maximum | Moyenne - CV(%) |
|--|-------------------|-----------------|
| Diamètre (mm)                          | 0.10-1.00         | 0.45-54.43      |
| Densité Absolue (kg/m <sup>3</sup> )   | 1300-1450         | 1383.33-5.52    |
| Densité Apparente (kg/m <sup>3</sup> ) | 512.21-1088.81    | 900-17.64       |
| Teneur en eau naturelle (%)            | 9.50-10.00        | 10-5.00         |

### I.3.3. Rôle des fibres :

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité. Il a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la (Figure I.12.a).
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (Figure I.12.b). [14]



**Figure I.12: Illustration de l'apport du renfort par des fibres [14]**

Le principe de couture des fissures et la limitation de leurs ouvertures est montré par la figure Figure I.13. Les fibres qui traversent la fissure offrent une résistance résiduelle (résistance au-delà de la fissuration). Ces fibres se déforment aux extrémités ancrées qui se redressent graduellement avec l'augmentation du chargement au-delà de la charge de fissuration. [15]



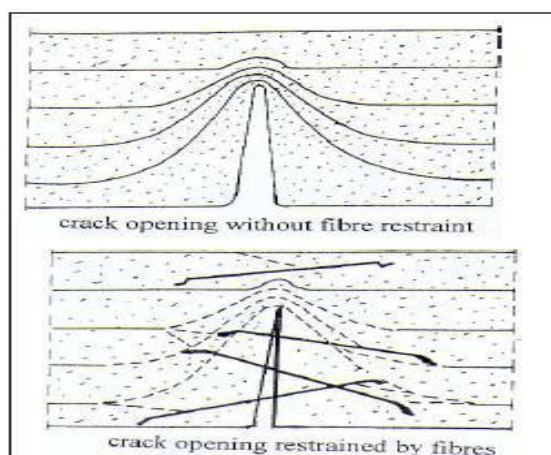


Figure I.13: Principe de couturassions d'une fissure [15]

#### I.4. Bétons autoplaçants fibrés :

##### I.4.1. Définition :

Malgré les améliorations appréciables obtenues au niveau du comportement mécanique des bétons, l'incorporation des fibres dans le béton reste problématique du point de vue de l'ouvrabilité et de la répartition homogène des fibres. Pour remédier à ces problèmes, l'association des fibres avec le béton autoplaçant (BAP) paraît prometteuse.

En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'absence de vibration de ces matériaux évite une distribution hétérogène des fibres dans la matrice [14]. Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs ont montré qu'il peut être une solution appropriée pour les applications sur poutres en I.

En béton précontraint, au niveau des zones fortement ferrillées afin de contrôler la fissuration. L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élancement. Ces propriétés ont été mises en évidence par différents essais à l'état frais, par exemple l'essai d'étalement « SLUMP FLOW » et l'essai d'étalement modifié dit « J-RING » qui permet d'évaluer notamment le risque de blocage.

- **Particularités :**

Les bétons autoplaçants fibrés doivent avoir les mêmes propriétés de base que les BAP non fibrés : étalement maximal, non ségrégation, non ressuage, non blocage etc. et ce malgré l'addition de particules supplémentaires que sont les fines.

##### I.4.2. COMPOSITION DES BAPF.

La composition de mélange du béton autoplaçant renforcé de fibres est souvent un compromis entre conditions sur l'état frais et durci : Une diminution soudaine d'ouvrabilité se produit à un certain contenu de fibre, qui dépend de la composition du mélange et de type de

fibres. Les paramètres touchant sur le comportement du béton dans l'état frais ont été variés dans plusieurs études expérimentales pour trouver leur effet sur les caractéristiques principales du BAPF [16].

#### **I.4.3.FORMULATION DES BAPF.**

La conception du mélange est souvent basée sur quelques principes de base augmenter la teneur en pâte, le dosage en superplastifiant et le contenu des granulats fins à l'allongement et au volume croissant de fibres. ROSSI, HARROUCHE et HOY [17] ont approché la conception du mélange des matrices de béton autoplaçant renforcé de fibres sur une façon plus systématique : ils ont optimisés le squelette granulaire, le contenu et les caractéristiques de la pâte doit être tenue en compte pour lier l'ouvrabilité et la composition du mélange. La distribution homogène et l'orientation des fibres sont souvent assurées mais rarement étudiées. La condition sur les caractéristiques principales du BAP demeure la même pour les BAPF ; l'obtention des BAPF peut être faite de différents points: la capacité de remplissage ; le comportement de post-fissuration ; la classe de résistance à la flexion par fendage et les coûts.

#### **I.5.Domaine d'utilisation des BAP :**

Les BAP sont utilisé aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton [8]. La plupart des éléments constituant les ouvrages, peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.)

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

- Densités de ferrailage importantes;
- Formes et géométries complexes : voiles, courbes;
- Voiles minces et de grande hauteur : piles de pont;
- Voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures;
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière, etc....

#### **I.6. Fabrication et transport des BAP :**

##### **I.6.1.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. [18]

### **I.7. Transports 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. [6]

### **I.8. Conclusion**

Ce chapitre présente une étude bibliographique sur les bétons autoplaçants et les bétons autoplaçants fibrés, leurs compositions, leurs applications, les principaux avantages et inconvénients de ce béton ... ,

On peut tirer de ce chapitre :

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

De nombreuses structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration d'armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Afin d'adapter les bétons à ces ouvrages, des recherches ont été menées au cours des dernières années dans le but de développer des formulations de béton se caractérisant par une haute ouvrabilité, tout en étant stables (ségrégation, étalement et air occlus), avec de bonnes caractéristiques mécaniques et de la durabilité. Ainsi, des bétons autoplaçants (BAP) ont été développés afin que la mise en place soit réalisée sans vibrations, seulement sous l'effet de la gravité, d'où le qualificatif d'autoplaçants.

Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées.

L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élancement.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton de modifier ces propriétés, Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration.

Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

## CHAPITRE II : METHODE EXPERIMENTALE ET CARACTERISATION DES MATERIAUX

### II.1. Introduction

#### 1<sup>er</sup> partie :

Le comportement d'un BAP à l'état frais se différencie notablement de celui d'un béton ordinaire. Son ouvrabilité se décline classiquement suivant: sa mobilité en milieu non confiné, sa mobilité en milieu confiné et sa stabilité

Nous avons choisi de présenter différemment les caractéristiques des BAP à l'état frais ainsi que les essais mécaniques (compression, traction par flexion).

#### 2eme partie :

Dans cette partie, on s'intéresse à la présentation des matériaux et des méthodes utilisées pour réaliser les différents essais expérimentaux de notre étude, La caractérisation des matériaux de construction nous permette de déterminer les dosages optimaux, ainsi que l'illustration de certaines interprétation ne pourrait être possible que si les différents constituent sont bien caractérisés, c'est l'objet de ce chapitre.

### II.2.premier partie :

#### II. 2. 1. Caractérisation des BAP à l' état frais :

##### II.2.1.1. Essai d' étalement au cône d' Abrams : la norme EN 12350 - 8.[21]

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams. Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné .Il permet en particulier de vérifier la fluidité du béton lors de sa réception sur chantier.

#### Matériel nécessaire :

- plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm de coté
- Cône d' Abrams
- Mètre ou règle de 90 cm.

#### Mode opératoire :

- S'assurer que la plaque est placé sur un support stable et horizontal.
- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le cône d' Abrams sur la plaque.

- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Equiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- 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.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesuré le diamètre final sur deux cotés perpendiculaires.

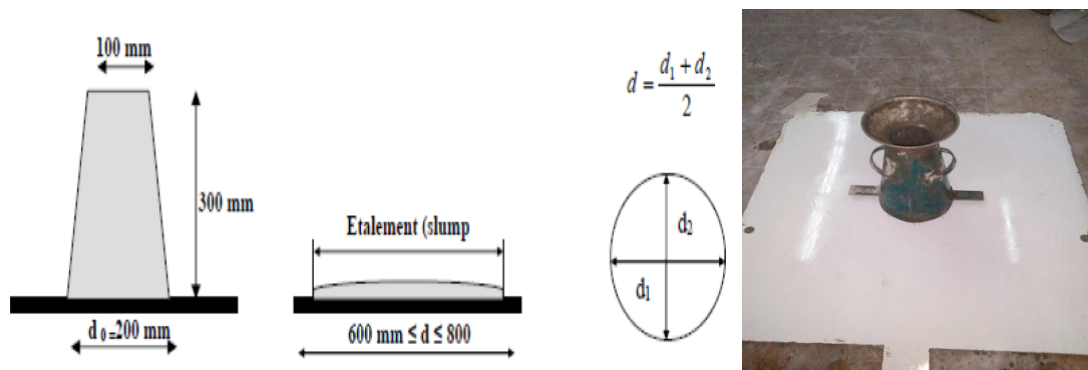


Figure II.1. : Essai d'étalement au cône d'Abrams.

### II.2.1.2. Essai à la boîte en L : la norme EN 12350 - 10.[22]

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures. La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage. Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans la partie verticales (H1) et horizontale (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de BAP. La valeur de rapport H2/H1 est supérieur à 0.8 traduit un bon écoulement.

#### Matériel utilisé :

- Boîte en L

#### Mode opératoire :

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 en L à travers le ferrailage. La distance libre entre les barres est de 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1

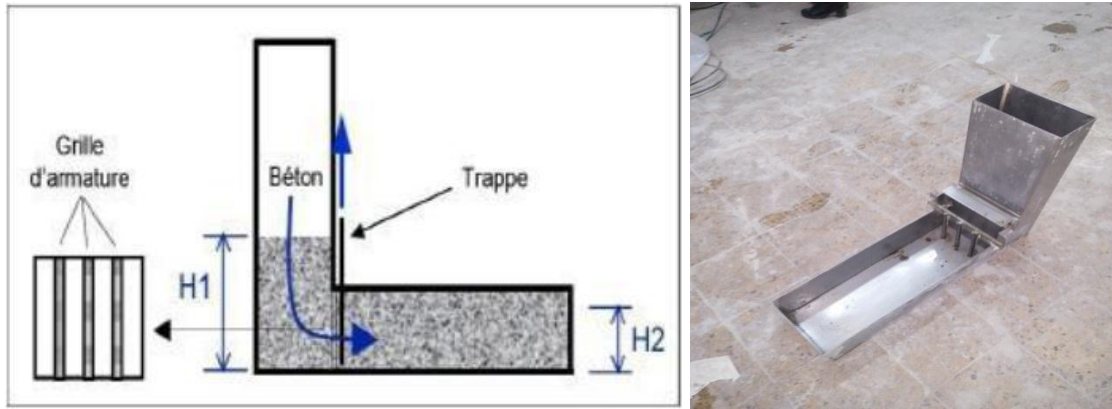


Figure II.2. : Essai de boit L.

### II.2.1.3. Essai de stabilité au tamis : la norme EN 12350 - 11.[23]

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm.

Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20%.

#### Matériel utilisé :

- Seau de 10 L +couvercle.
- Tamis 5 mm + fond.
- La balance

#### Mode opératoire :

- Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis le malaxeur.
- Attendre 15 mn.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis+fond sur la balance.
- Faire la tare.
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance  $\pm 0.2$  kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm  $\pm 5$  cm.
- Attendre 2 mn.
- Peser le fond avec la laitance
- On a :  $P \text{ laitances} = (P \text{ fond} + \text{laitance}) - P \text{ fond}$

- Calculer le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon.
- $\delta = (P \text{ laitance} / P \text{ échantillon}) * 100$ .

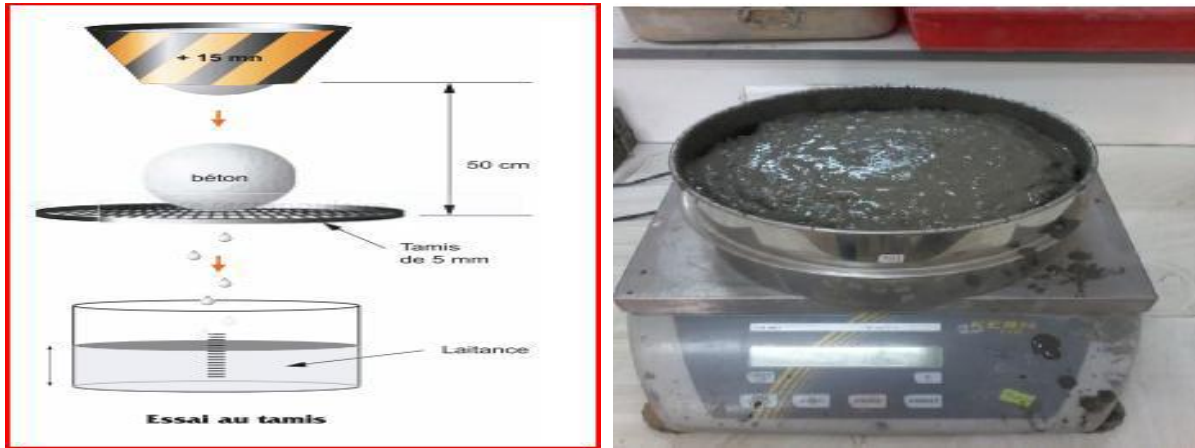


Figure II.3. : Essai Stabilité au tamis

#### II.2.1.4. La masse volumique du béton autoplaçant NF EN 12 350-6:[24]

$M_{vide}$  : la masse du récipient vide en g

$M_{rempli}$  : la masse du récipient rempli de matériau en g

$V$  : volume du récipient en  $cm^3$

La masse volumique est alors calculée en divisant la masse sur le volume par la formule suivante :

$$\rho = \frac{M_{rempli} - M_{vide}}{v}$$

#### II.2.2. Essais de caractérisations du béton autoplaçant à l'état durci :

##### II.2.2.1 Essai compression NF EN206-1 :[25]

###### But de l'essai :

- Le but est de déterminer la résistance à la compression du béton.
- L'essai se fait sur une éprouvette cubique 10x10x10

###### Principe de l'essai :

- Après malaxage, on remplit en béton un moule cubique normalisé.
- L'éprouvette sera immergée dans un bac d'eau pour durcir
- Le démoulage se fera après un 24 heures. Généralement, la résistance est déterminée à 28 jours.



Figure II.4. : Presse hydraulique de compression.

**Conduite de l'essai :**

- Ce temps écoulé, on retire le moule et on fait passer l'éprouvette à la presse permet la lecture de la force qui s'exerce sur les facettes latérales du cube de béton.
- Epreuve sera placée entre les deux mâchoires de la machine et on élèvera une seule lecture. Celle de la force correspondant à la rupture de l'échantillon. Soit F cette lecture.

Calculs :

La résistance sera:  $G = F / S$

- S : section de l'éprouvette : 100 cm<sup>2</sup>.

- F : force au moment de la rupture.

**II.2.2.2. Essais de traction par flexion: NF P18-408 [26]**

**But de l'essai :**

Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton. C'est un essai de traction par flexion qui consiste à écraser un prisme (7x7x28cm<sup>3</sup>) de béton placé horizontalement entre deux plateaux d'une presse.

**Conduite de l'essai :**

Lors d'un essai de flexion trois points, la poutre de béton est soumise dans sa partie supérieure à des contraintes de compression et dans sa partie inférieure à des contraintes de traction. Compte tenu que le béton résiste beaucoup moins à la traction qu'à la compression l'éprouvette va se rompre dès que le béton aura atteint sa limite en traction. La contrainte limite qui découle d'un calcul classique de résistance des matériaux en élasticité est  $\sigma_{tf}$  (contrainte de traction par flexion). Le matériau béton n'ayant pas un comportement élastique au voisinage de la rupture, il convient d'apporter au calcul de la résistance en traction du béton  $\sigma_t$  un terme correctif de 0,6 ( $\sigma_t = 0,6 \sigma_{tf}$ ). [2]



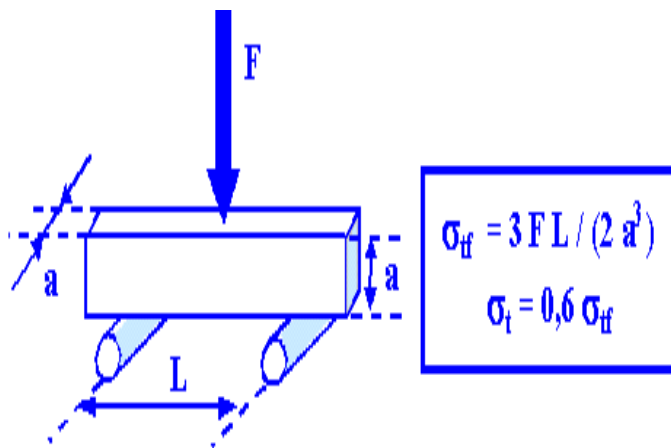


Figure II.6.1. : Formule de calcul de la résistance de traction

Figure II.6.2. : Essai de traction par flexion

### II.2.2.3. Absorption d' eau par capillarité

L'essai d'absorption d'eau par capillarité est un essai qui nous donne une information sur la capacité d'absorption d'eau dans un béton par remontée capillaire. Il consiste à mesurer la masse d'eau absorbée par une éprouvette de béton préalablement conditionnée par un étuvage à 80°C.

L'essai a été réalisé suivant la recommandation de l'AFPC-AFREM [27]. Sur des échantillons de béton de dimensions ( $\varphi \times h$ ) (11x 5) cm. Deux échantillons pour chaque type du béton ont été testés.

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

- Un séchage de l'échantillon à 80°C jusqu'à l'obtention d'une masse constante (l'état sec est obtenu lorsque deux pesées espacées de 24 heures, ne diffèrent pas plus, de 0,1%).
- L'étanchéité latérale est assurée à l'aide d'un papier d'aluminium adhésif.
- Les échantillons sont immergés dans l'eau du récipient sur une hauteur maximale de 3 millimètres à l'aide de cales (voir la figure II.7). Par ailleurs, le récipient est muni d'un couvercle évitant l'évaporation de l'eau.
- L'essai consiste à suivre par pesées successives la quantité d'eau absorbée par un échantillon de béton ou de mortier préalablement séché à des échéances de 0, 15min, 30min, 1h, 2h, 4h, 8h et 24h.

On peut déterminer le coefficient d'absorption capillaire par l'équation suivante :

$$\text{Cat} = \frac{Mt - M0}{A}$$

Ca t : Coefficient d'absorption à l'échéance t (kg/m<sup>2</sup>).

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

M0: Masse initiale de l'éprouvette (kg).

A : la section de l'éprouvette au contact de l'eau (m<sup>2</sup>).

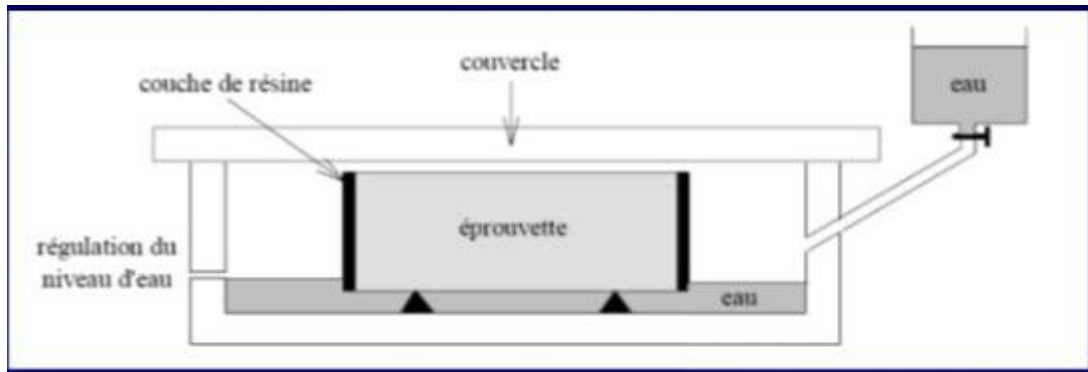


Figure II.7: schéma du dispositif de mesure d'absorption d'eau par capillarité

### II.3.deuxième partie :

#### II.3.1. Matériaux utilisés

##### II.3.1.1. Granulats

###### II.3.1.1.1. Sables

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, ce dernier est un déchet de concassage des roches de calcaire pour l'obtention du gravier, qui provient de la localité d'Enef ghdir (skikda), de module de finesse de 3.2.

###### II.3.1.1.2. Gravier

Dans cette étude nous avons utilisé trois fractions de gravier (3/8), (8/16), (16,20); provenant de la région d'Enef ghdir(skikda)

###### II.3.1.2. 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) [28] et provenant de la cimenterie de Hdjar Essoud.

La composition chimique et minéralogique du ciment sont données dans les tableaux II.1 et II.2.



**Tableau II.1 :** Composition chimique du ciment

| Oxydes     | CaO   | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SiO <sub>2</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | MgO | Na <sub>2</sub> O | cl-    | K <sub>2</sub> O | SO <sub>3</sub> | PAF | CaOlibre |
|------------|-------|--------------------------------|------------------|--------------------------------|-----|-------------------|--------|------------------|-----------------|-----|----------|
| % massique | 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        |

**Tableau II.2 :** Composition minéralogique du clinker

| Minéraux | C3S   | C2S   | C3A  | C4AF |
|----------|-------|-------|------|------|
| %        | 52-58 | 10-25 | 8-12 | 9-13 |

### II.3.1.3. Fillers calcaire

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

**Tableau II.3 :** Caractéristique chimique du filler calcaire.

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

### II.3.1.4. 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 fabricant et sont regroupés dans le tableau II.4.

**Tableau II.4 :** Propriétés physico-chimiques du plastifiant

|                                      |            |
|--------------------------------------|------------|
| Masse volumique (kg/m <sup>3</sup> ) | 1110       |
| Ph                                   | 5 ± 1      |
| Teneur en ions chlore (%)            | ≤ 0,1      |
| Teneur en Na <sub>2</sub> O Eq (%)   | ≤ 2,5      |
| Extrait sec(%)                       | 36,4 ± 1,8 |
| Plage d' utilisation (%)             | 0,25 à 2,5 |

### II.3.1.5. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée est une eau de robinet de labo génie civil

### II.3.1.6. Les fibre

Les fibres utilisées dans cette étude sont de deux natures, synthétique de polypropylène et végétale de Palmier dattier.

#### II.3.1.6.1. 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, 97).

Dans cette étude, on a utilisé des fibres de surface de palmier dattier (fig II.8.a) et (fig II.8.b). Les caractéristique physiques et mécaniques sont prises a partir d'une étude précédente de Kriker et al [29].



Figure (II.8.a) : Fibres de palmier dattier coupées



Figure (II.8.b) : fibres de palmier dattier à l'état brut

Caractéristiques physico-mécaniques des fibres de palmier dattier Les tableaux (II.5) et (II.6) donnent les principales propriétés physico-mécaniques des fibres de palmier dattier utilisées dans cette recherche (Kriker et al, 05) [29].

**Tableau (II.5) :** Caractéristiques physiques de la fibre de palmier dattier.

| Caractéristiques                        | Unités            | Valeurs limites |
|---|-------------------|-----------------|
| Diamètre                                | mm                | 0.10–0.80       |
| Densité apparente                       | kg/m <sup>3</sup> | 512.21-1088.81  |
| Densité absolue                         | kg/m <sup>3</sup> | 1300-1450       |
| Teneur en humidité                      | %                 | 9.5-10.5        |
| Absorption d'eau après 5 min sous l'eau | %                 | 60.05-84.12     |
| Absorption d'eau à la saturation        | %                 | 96.83-202.64    |

**Tableau (II.6) :** Caractéristiques mécaniques de la fibre de palmier dattier réalisé sur une fibre de

Longueur 20 mm

| 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 |

### II.3.1.6.2. Fibres de Polypropylène

Les fibres de polypropylène (PP) courtes sont fournies par la société Graniteux. Ces fibres sont ajoutées au béton et au mortier (figure II.2). 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. [30]



**Figure II.9.** 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                             | Valeur | Unités                 |
|--|--------|------------------------|
| - Longueur                               | 12     | Mm                     |
| - Section transversale                   | 30     | $\mu\text{m}^2$        |
| - Densité                                | 0.9    | $\text{g}/\text{cm}^3$ |
| - Module d'élasticité                    | 3500   | MPa                    |
| - Résistance chimique aux sels et acides | Haute  | -                      |
| - Point de fusion                        | 150    | $^{\circ}\text{C}$     |
| - Allongement à la rupture               | 50     | %                      |

## II.3.2. Essais de caractérisation

### II.3.2.1. Analyse granulométrique

L'analyse granulométrique permet de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux 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. 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. [31]



Figure II.10. Analyse granulométrique.

### II.3.2.2. Module de finesse

La norme XP P 18-540. [32] C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : (0.16-0.315-0.63-1.25-2.5 et 5(mm)) sur 100.

### II.3.2.3. Mesure de la propreté (l'essai d'équivalent de sable)

L'essai d'équivalent de sable, permettant de mesurer la propreté d'un sable, et effectuer sur la fraction d'un granulat passant au tamis à mailles carrées de 2mm. Il prend compte globalement de la quantité et de la qualité des éléments fins, en exprimant un rapport, conventionnel volumétrique entre les éléments sableux qui sédimentent et les éléments fins qui flocculent.

La valeur de l'équivalent de sable ( $E_s$ ) est le rapport multiple par 100, de la hauteur de la partie sableuse sédimentée, à la hauteur totale du floculat et de la partie sableuse sédimentée. Cet essai a été réalisé selon les modalités de la norme NF EN 933-8. [33]



Figure II.11 : Essai d'équivalent de sable

#### II.3.2.4. Masse volumique apparente

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 [34] L'essai consiste à remplir un récipient vide de volume connu de matériau sec sans le tasser et à peser ensuite cette quantité de matériau .on calcule la valeur de la masse volumique par le rapport :

$$\rho = M/V \text{ (g/ cm}^3\text{)}$$



Figure II.12 : Essai de masse volumique apparente

#### II.3.2.5. Masse volumique absolue

La masse volumique absolue est la masse d'un corps par unité de volume sans vides entre les grains. Cet essai est réalisé selon la norme NF EN 1097-3. [34].

Il s'agit de mesurer la masse, par unité de volume de matière pleine sans aucun vide entre les grains en versant une quantité connue de la poudre dans un liquide inerte, si la matière est hydraulique, sinon, dans de l'eau.



Figure II.13 : Masse volumique absolue

### II.3.2.6. L'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. [35]



Figure II.14 : La machine de Los Angeles



**II.3.. Résultats**

Les résultats de l'analyse granulométrique des sables et du gravier sont illustrés par la figure II.15

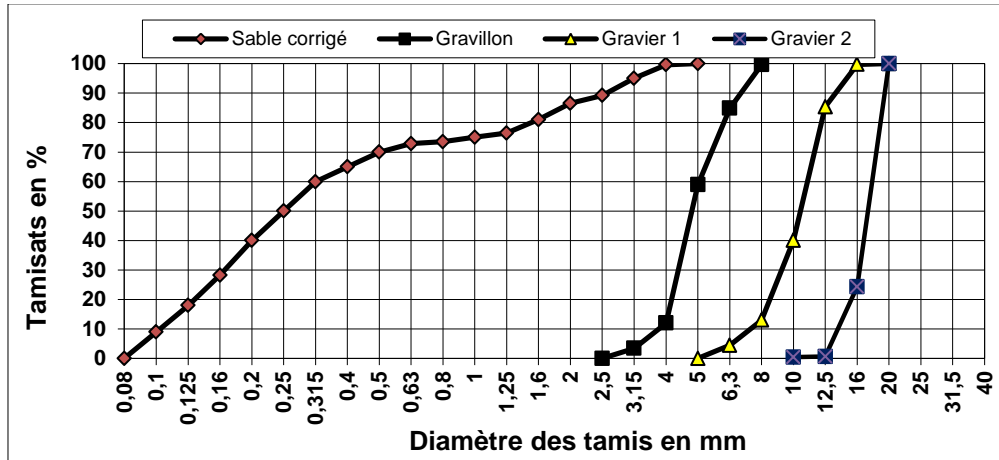


Figure II.15 : Analyse granulométrique

Tableau II.8 : Caractéristiques physiques des granulats

| Caractéristiques          | Unité  | Granulats      |                   |               |                |                 |
|---------------------------|--------|----------------|-------------------|---------------|----------------|-----------------|
|                           |        | Sable siliceux | Sable de carrière | Gravier (3/8) | Gravier (8/16) | Gravier (16/20) |
| Masse volumique apparente | g /cm3 | 1,48           | 1,60              | 1,51          | 1,54           | 1,59            |
| Masse volumique absolue   | g /cm3 | 2,63           | 2,68              | 2,68          | 2,68           | 2,68            |
| d/D                       | mm/mm  | 0/0,063        | 0/4               | 3/8           | 8/16           | 16/20           |
| Module de finesse         | %      | 1,9            | 3,2               | -             | -              | -               |
| Équivalent de sable       | %      | 92,71          | 86,16             | -             | -              | -               |

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 <sup>3</sup> | 1,02    |
| Masse volumique absolue   | g /cm <sup>3</sup> | 3,01    |
| Consistance normale       | %                  | 28      |
| Début de prise            | H /min             | 2/37    |
| Fin de prise              | H /min             | 4/12    |
| Refus au tamis 80 $\mu$ m | %                  | 5       |

**Tableau II.10 :** Caractéristiques physiques du filler calcaire.

| Caractéristiques          | Unités             | Calcaire |
|---------------------------|--------------------|----------|
| Masse volumique apparente | g /cm <sup>3</sup> | 0 ,79    |
| Masse volumique absolue   | g /cm <sup>3</sup> | 2,70     |
| Refus au tamis 80 $\mu$ m | %                  | 4,3      |

#### II.4. Conclusion

Dans ce chapitre, on s'intéresse à l'étalement du béton autoplaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) on utilisant la boit en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis, avec les essais destructifs de compression et de traction par flexion de 1,2,7 et 28 jours

Les résultats du procédé d'identification des différents constituants courants entrant dans la formulation des BAP (sable, gravillons, ciment, ajouts, adjuvant, fibres, eau) répondent aux normes en vigueur.

L'utilisation de différents types de fibres peut potentiellement non seulement faire l'objet d'une recherche moins investiguée, mais peut aussi contribuer à l'amélioration des propriétés des BAP fibrés.

## CHAPITRE III : FORMULATION ET PROPRIETES DES BETONS A L'ETAT FRAIS

### III.1. INTRODUCTION

Notre travail est organisé en deux parties :

La première partie est consacrée à la formulation des bétons autoplaçants d'étude en utilisant la méthode Japonaise en optimisant le rapport G/S et  $D_{max}$  sur les propriétés rhéologiques des bétons.

La deuxième concerne l'introduction des fibres de polypropylène comme fibrage témoin et les fibres de palmier dattier comme fibrage d'étude

### III.2. METHODES DE FORMULATION

#### III.2.1. L'approche Japonaise

La méthode de formulation des bétons autoplaçants est la suivante :

- 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.
- Pour assurer une bonne ouvrabilité, le volume de sable est fixé à 40% du volume total du mortier.
- L'estimation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40%. Ces mortiers sont caractérisés par deux essais :
  - ✓ Un essai d'étalement au cône
  - ✓ Un essai d'écoulement à l'entonnoir [36]
- 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/m<sup>3</sup>. Les rapports massiques eau sur ciment (E/C) et filler sur ciment (F/C) peuvent également être choisis sur des critères de résistance.
- Dosage de l'eau et du super plastifiant : Les dosages en eau et en 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

### III.3.Première partie :

#### III.3.1. Optimisation de la composition du BAP

- **Les données de base :**
  - Classe d'étalement du BAP : 2<sup>ème</sup> classe – (66 – 75) cm
  - le dosage du ciment est fixé de 350 kg/m<sup>3</sup>.
  - le rapport  $E/(C+F)=0,35$ .
  - le rapport  $F/(C+F)=0,33$ .
  - D max : 16 et 20 cm
  - Le rapport G/S : 1 – 1,4 – 1,6 – 2,0

#### III.3.2.Plan de travail :

Paramètres de formulation :

- Rapport G/S = 2
- Dmax = 16 cm

Le tableau III.1 résume la formulation 1

**Tableau III.1 : formulation 1**

|                         | 1 m <sup>3</sup> |            | Etalement   | Pouvoir de remplissage |
|-------------------------|------------------|------------|---|------------------------|
|                         | Volume (litre)   | Masse (kg) |   |                        |
| <b>D max</b>            | 16 cm            |            | <b>71,5 cm</b><br>(valeur cible<br><b>66 – 75</b> ) | <b>0,5</b>             |
| <b>G / S</b>            | 2                |            |   |                        |
| <b>Ciment</b>           | 116.28           | 350        |   |                        |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 57.71            | 154.66     |   |                        |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 320.99           | 860.25     |   |                        |
| <b>Sable Concassé</b>   | 92.86            | 248.86     |   |                        |
| <b>Sable de Dune</b>    | 96.64            | 254.18     |   |                        |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 63.84            | 172.38     |   |                        |
| <b>Eau</b>              | 182.83           | 182.83     |   |                        |
| <b>Superplastifiant</b> | 3.07             | 5.22       |   |                        |
| <b>Rapport E/C</b>      | -                | 0.52       |   |                        |
| <b>Rapport E/L equ</b>  | -                | 0.35       |   |                        |

Les résultats obtenus montrent (Voir les figures III.1.1 et III.1.2) un étalement correct avec un léger amoncellement des gros granulats au centre de la galette. Le pouvoir de remplissage est franchement insuffisant, résultant d'un blocage au niveau des barres de la boîte en L, des gros granulats dont la quantité est trop importante par rapport au dosage en sable.



Figure III.1.1 : essai d'étalement



Figure III.1.2 : la boîte en L

La première correction que nous avons entreprise était de réduire le rapport G/S de 2,0 à 1,6 (voir le tableau III.2 et les figures III.3.1, III.3.2 et III.3.3).

Tableau III.2 : formulation 2

|                         | Dosage de<br>1 m <sup>3</sup> | Résultats        |                           |                          |
|-------------------------|-------------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|
|                         | Masse (kg)                    | Etalement,<br>cm | Pouvoir de<br>remplissage | Stabilité au<br>tamis, % |
| <b>D max</b>            | 16 cm                         | <b>90,4</b>      | <b>0,98</b>               | <b>45,6</b>              |
| <b>G/S</b>              | 1,6                           |                  |                           |                          |
| <b>Ciment</b>           | 350                           |                  |                           |                          |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 145.31                        |                  |                           |                          |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 808.23                        |                  |                           |                          |
| <b>Sable Concassé</b>   | 292.04                        |                  |                           |                          |
| <b>Sable de Dune</b>    | 298.29                        |                  |                           |                          |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 172.38                        |                  |                           |                          |
| <b>Eau</b>              | 182.83                        |                  |                           |                          |
| <b>Superplastifiant</b> | 5.22                          |                  |                           |                          |
| <b>Rapport G/S</b>      | 1,6                           |                  |                           |                          |
| <b>Rapport E/C</b>      | 0.52                          |                  |                           |                          |
| <b>Rapport E/L equ</b>  | 0.35                          |                  |                           |                          |

L'analyse des résultats montre des valeurs satisfaisantes exceptée la valeur de la stabilité au tamis. Les photos (figure III.2.1, figure III.2.2 et figure III.2.3) montrent :

- Un très bon BAP du point de vue étalement
- Un blocage des gros granulats dans les barres de la boîte en L, ce qui peut être expliqué par le fait que la pâte est trop mole pour entraîner les gros granulats

- Un BAP instable, avec 45,6 % de laitance, entraînant une forte ségrégation lors du coulage les gros granulats se détachent des la pâte.



Figure III.2.1 : essai d'étalement



Figure III.2.2 : la boîte en L



Figure III.2.3 : stabilité au tamis

Des corrections étaient nécessaires et se résument comme suit :

- Dosage en filler calcaire
- Dosage en gravillon et en gravier
  - La fraction 3/8 – la fraction 8/16 (50 – 50)%
  - La fraction 3/8 – la fraction la fraction 8/16 (50 – 50)%

Le tableau III.3 et les figures III.3 résument les résultats obtenus.

Tableau III.3 : les formulations essayées G/S=1.6

|                         | 1m <sup>3</sup>   |              |             |        | Étalement, cm | Stabilité au tamis, % | Pouvoir de remplissage |
|-------------------------|-------------------|--------------|-------------|--------|---------------|-----------------------|------------------------|
|                         | La masse en (kg)  |              |             |        |               |                       |                        |
|                         | +10 kg<br>filaire | MF=200<br>kg | 3/8 et 8/16 |        |               |                       |                        |
| 50/50(%)                |                   |              | 30/70 (%)   |        |               |                       |                        |
| <b>Ciment</b>           | 350               | 350          | 350         | 350    | 56            | Non réalisé           | Non réalisé            |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 145               | 145          | 476.25      | 285    |               |                       |                        |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 808.75            | 808.75       | 476.25      | 665    |               |                       |                        |
| <b>Sable Concassé</b>   | 291.25            | 291.25       | 291.25      | 291.25 |               |                       |                        |
| <b>Sable de Dune</b>    | 297.5             | 297.5        | 297.5       | 297.5  |               |                       |                        |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 182.38            | 200          | 200         | 200    |               |                       |                        |
| <b>Eau</b>              | 182.83            | 182.83       | 182.83      | 182.83 |               |                       |                        |
| <b>Superplastifiant</b> | 5.22              | 5.22         | 5.22        | 5.22   |               |                       |                        |
| <b>Rapport G/S</b>      | 1.6               | 1.6          | 1.6         | 1.6    |               |                       |                        |
| <b>Rapport E/C</b>      | 0.52              | 0.52         | 0.52        | 0.52   |               |                       |                        |
| <b>Rapport E/L equ</b>  | 0.34              | 0.33         | 0.33        | 0.33   |               |                       |                        |

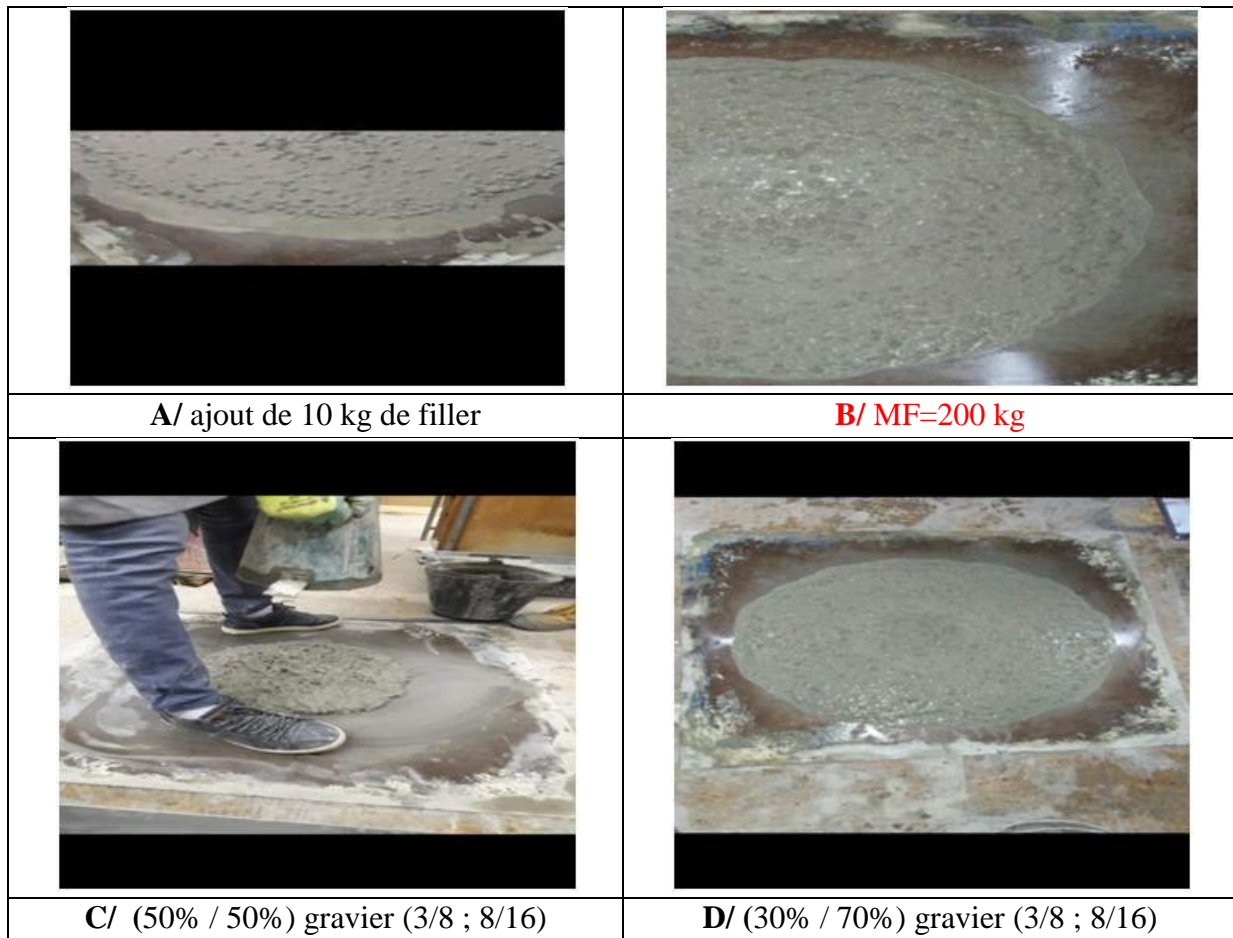
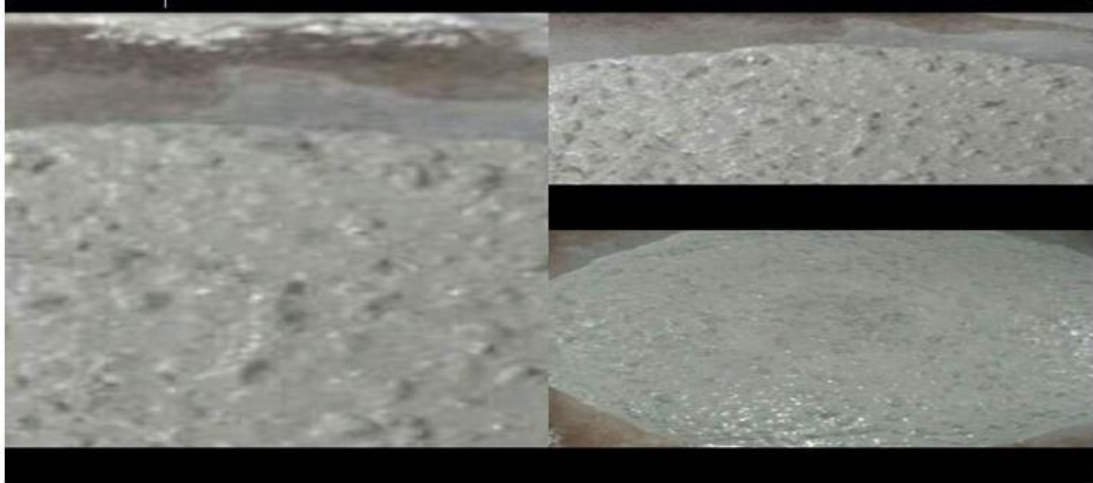


Figure III.3 : les essais d'étalement



Ces résultats ne sont pas satisfaisants vis-à-vis des critères d'autoplaçance, ce qui nous a conduit à apporter d'autres corrections notamment la diminution du rapport G/S à de 1,6 à 1.4. Les résultats sont illustrés par les photos présentés par les figures III.4.1, III.4.2 et III.4.3)



**Figure III.4.1 : l'essai d'étalement : G/S =1.4 Dmoy=65.75**



**Figure III.4.2 : boîte en L : G/S =1.4 H=0.81**



**Figure III.4.3 : stabilité du tamis G/S=1.4 %, P=11.29**



Cette formulation a donnée des résultats qui répondent aux critères exigés par les caractéristiques du BAP à l'état frais. Cette formulation sera retenue pour la suite du travail.

**Tableau III.4 :** les formulations référence G/S=1.4

|                         | Dosage de 1 m <sup>3</sup> | Résultats        |                           |                          |
|-------------------------|----------------------------|------------------|---------------------------|--------------------------|
|                         | Masse (kg)                 | Étalement,<br>cm | Pouvoir de<br>remplissage | Stabilité au<br>tamis, % |
| <b>Ciment</b>           | 350                        | 65,75            | 0,81                      | 11,29                    |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 271,16                     |                  |                           |                          |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 632,74                     |                  |                           |                          |
| <b>Sable Concassé</b>   | 316,37                     |                  |                           |                          |
| <b>Sable de Dune</b>    | 323,14                     |                  |                           |                          |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 180                        |                  |                           |                          |
| <b>Eau</b>              | 182,83                     |                  |                           |                          |
| <b>Superplastifiant</b> | 5,22                       |                  |                           |                          |
| <b>Rapport G/S</b>      | 1,4                        |                  |                           |                          |
| <b>Rapport E/C</b>      | 0,52                       |                  |                           |                          |
| <b>Rapport E/L equ</b>  | 0,34                       |                  |                           |                          |

- **Ajustement de la composition au m<sup>3</sup>**

La composition montre que la masse volumique apparente théorique est de **2261,54**, est inférieure à la masse volumique apparente réelle du béton (**2517.67**), dans ce cas il est nécessaire de réaliser l'ajustement de la composition au m<sup>3</sup> selon la méthode Dreux

Le tableau III.5 résume la composition.

**Tableau III.5 :** Composition d'étude

| Les composants          | 1 m <sup>3</sup> |
|-------------------------|------------------|
|                         | Masse (kg)       |
| <b>Ciment</b>           | 369,32           |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 287,59           |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 667,65           |
| <b>Sable Concassé</b>   | 333,82           |
| <b>Sable de Dune</b>    | 340,97           |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 189,92           |
| <b>Eau</b>              | 192,91           |
| <b>Superplastifiant</b> | 5,51             |
| <b>Rapport G/S</b>      | 1,4              |
| <b>Rapport E/C</b>      | 0,52             |

|                 |      |
|-----------------|------|
| Rapport E/L equ | 0,34 |
|-----------------|------|

#### III.4. Deuxième partie : Formulation des BAP avec ajout de fibres végétales

- **BAP avec ajout de fibres de polypropylène (BAP FPP)**

Les BAP PP sont renforcés de fibres de polypropylène avec un dosage de 900g/m<sup>3</sup> et de longueur de 12 mm (Dosage et longueur recommandés par le fournisseur).

- **BAP avec ajout de fibres végétales (BAP FPD)**

Les BAP FPD sont renforcés de fibres végétales de palmier dattier avec un dosage volumique équivalent que celui des fibres de polypropylène et de longueur de 30 mm (longueur d'étude). D'autres longueurs de 12 et 20 mm sont testées par d'autres études parallèles à la notre.



Figure III.5.1 : étalement Dmoy= 59cm



Figure III.5.2 : boî en L H=0.6

Les résultats obtenus montrent une perte d'ouvrabilité de 66 à 59 cm, ce qui a nécessité une correction supplémentaire sur le dosage en superplastifiant de 1% vers 1,1% y compris sur le BAP (témoin) dans le but de comparer les résultats et surtout pour mettre en évidence l'effet du fibrage sur les propriétés les BAP. (Voir le tableau III.6, III.7 et les figures III.6, III.7)

Tableau III.6 : les formulations dans 1 m<sup>3</sup>

|                         | 1 m <sup>3</sup>             |                     |                        |
|-------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------|
|                         | Béton sans fibre<br>(sp1.1%) | Béton avec fibre PP | Béton avec fibre<br>PD |
|                         | M (kg)                       | M (kg)              | M (kg)                 |
| <b>Ciment</b>           | 369.32                       | 369.32              | 369.32                 |
| <b>Gravier 3/8</b>      | 283.54                       | 282.07              | 282.07                 |
| <b>Gravier 8/16</b>     | 666.31                       | 664.1               | 664.1                  |
| <b>Sable concassé</b>   | 333.82                       | 333.82              | 333.82                 |
| <b>Sable de Dune</b>    | 340.97                       | 340.97              | 340.97                 |
| <b>Filler Calcaire</b>  | 189.92                       | 189.92              | 189.92                 |
| <b>Eau</b>              | 192.91                       | 192.91              | 192.91                 |
| <b>Superplastifiant</b> | 6.15                         | 6.15                | 6.15                   |
| <b>Fibre PP</b>         | -                            | 0.9                 | -                      |
| <b>Fibre PD</b>         | -                            | -                   | 1.1                    |
| <b>Rapport E/C</b>      | 0.52                         |                     |                        |
| <b>Rapport E/L equ</b>  | 0.34                         |                     |                        |



Figure III.6 : Avec fibre PP (SP 1.1%)



Figure III.7 : + fibres de P.D 3cm (Sp 1.1%)

Tableau III.7 : résultats des essais

|                               | BAP        |                       |                      |
|-------------------------------|------------|-----------------------|----------------------|
|                               | sans fibre | Fibre PP,<br>l = 12mm | Fibre PD,<br>l=30 mm |
| <b>Etatement, cm</b>          | 72.25      | 68.25                 | 67                   |
| <b>Taux de remplissage, %</b> | 0.86       | 0.81                  | 0.8                  |
| <b>Stabilité au tamis, %</b>  | 16.23      | 9.93                  | 14                   |

Les résultats présentés dans le tableau III.7 satisfont les critères exigés pour un BAP, on peut dire que tous les mélanges de BAP présentent des propriétés satisfaisantes à l'état frais.

### III.5. Conclusion :

#### Première partie

Dans ce chapitre on a travaillé sur l'influence du rapport G/S pour voir jusqu'à quelle valeur de la valeur du rapport G/S peut-on augmenter le dosage des gros granulats

On a trouvée que : Le rapport G/S égal à 1.4 garantit un bon écoulement, une bonne homogénéité et l'élimination de risque de ségrégation.

#### Deuxième partie

Les fibres végétales utilisées dans cette étude, malgré leur caractère hydrophobe, garantissent un bon comportement des BAP a l'état frais se rapprochant du béton témoin .ces résultats confirment que l'on peut confectionner des BAP renforcés de fibres de PP et de fibres végétales. Les fibres de Palmier Dattier ont été pré-mouillées avant leur introduction dans la bétonnière.

## CHAPITRE IV: Résultats et Discussions

### IV.1. Introduction

Après avoir formulé et caractérisé les BAP d'étude à l'état frais, il était nécessaire de mener une série d'essais pour la caractérisation des BAP à l'état durci.

Les résultats présentés dans ce chapitre concernant les BAP d'étude notamment le BAP témoin (BAP T), le BAP avec fibre de polypropylène (BAP PP) et enfin le BAP avec fibre de palmier dattier (BAP PD).

Les résultats des essais sur les BAP d'étude à l'état frais sont l'étalement au cône d'Abrams, le pouvoir de remplissage à la boîte en L et la stabilité au tamis

Alors que les résultats sur les propriétés mécaniques des bétons étudiés, sont résistance mécanique en compression et en flexion et aux propriétés de transfert notamment la perméabilité à l'eau et l'absorption d'eau par capillarité.

### IV.2. Les Résultats à l'état frais :

#### IV.2.1 L'étalement :

Les résultats obtenus sur l'étalement sont présentés par la figure IV.1

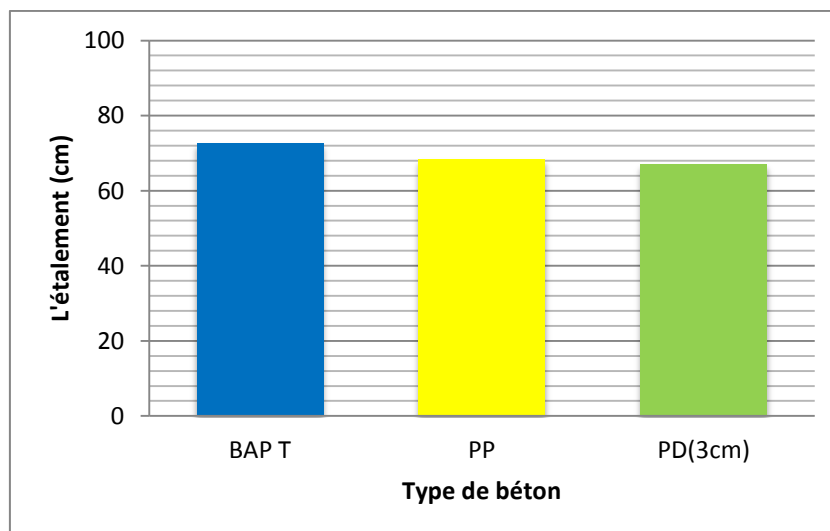


Figure IV.1 : L'étalement en fonction de type de béton

La figure IV.1 montre que tous les BAP présentent des résultats conformes aux normes (NF EN 12350 – 8, 10) puisque l'étalement d'un béton autoplaçant peut varier entre (550 et 850 mm). L'introduction des fibres de polypropylène (PP) ou de palmier dattier (PD) dans les BAP entraîne une diminution de l'étalement qui indique que l'étalement est gêné par les fibres. L'effet des fibres de PD est légèrement moins important que celui des fibres de PP sur l'étalement, car les fibres de PD sont introduites dans le BAP à l'état saturé d'eau.

#### IV.2.2. L boîte en L :

Les résultats obtenus sur le pouvoir de remplissage sont présentés par la figure IV.2

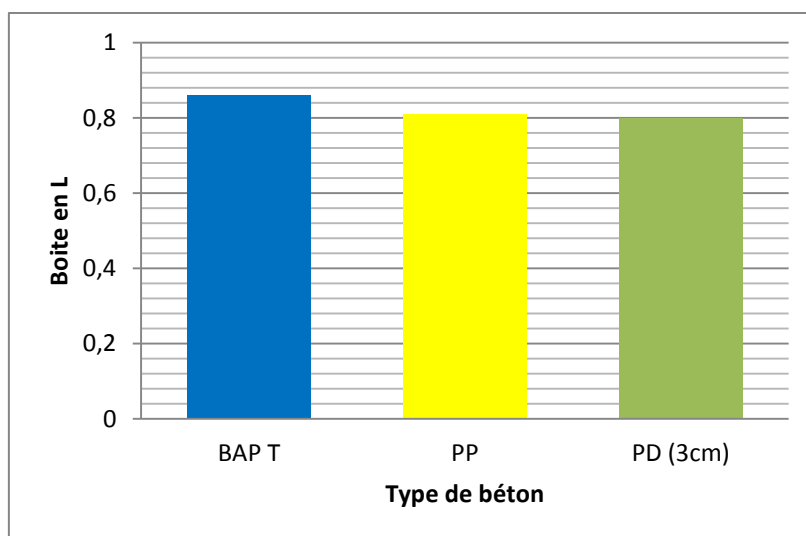
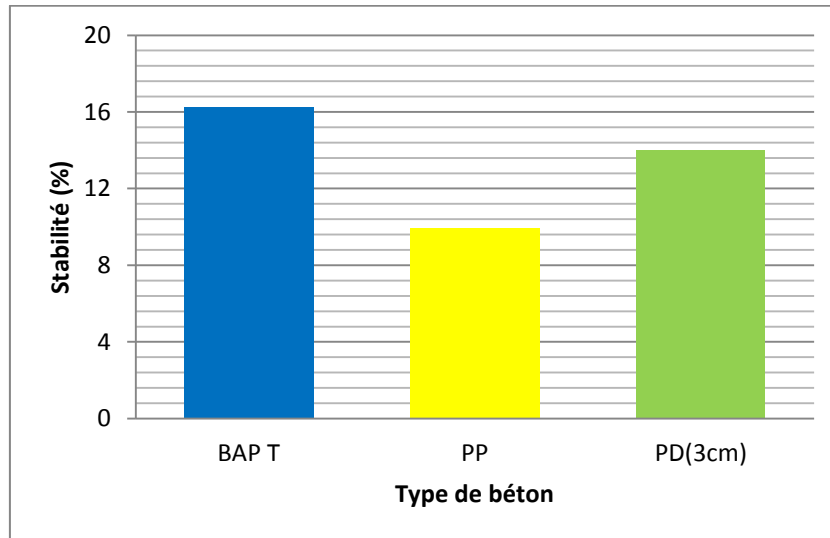


Figure IV.2 : La boîte en L en fonction de type de béton

D'après les résultats obtenus sur la figure IV.2, on peut noter que l'introduction des fibres entraîne une diminution du pouvoir de remplissage. Cette diminution est surtout notable pour le BAPF de Palmier Dattier, probablement en raison de la rugosité de la surface des fibres qui augmente le frottement avec les différents constituants du béton, ce qui pourrait réduire l'écoulement. Ainsi les fibres constituent une sorte de maillage qui limite les mouvements des gros granulats en particulier, entraînant ainsi une diminution de la maniabilité du béton en particulier les fibres en particulier pour les fibres les plus longues.

### IV.2.3. Stabilité au tamis :

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



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

Les résultats obtenus par l'essai de stabilité au tamis et présentés sur la figure IV.3 confirment que tous les BAP fibrés donnent des valeurs conformes aux recommandations de la norme (NF EN12350 – 8, 10). L'incorporation des fibres entraîne la diminution de la laitance des BAP.

### IV.3. Les Résultats à l'état durci :

#### IV.3.1. Résistance à la compression :

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

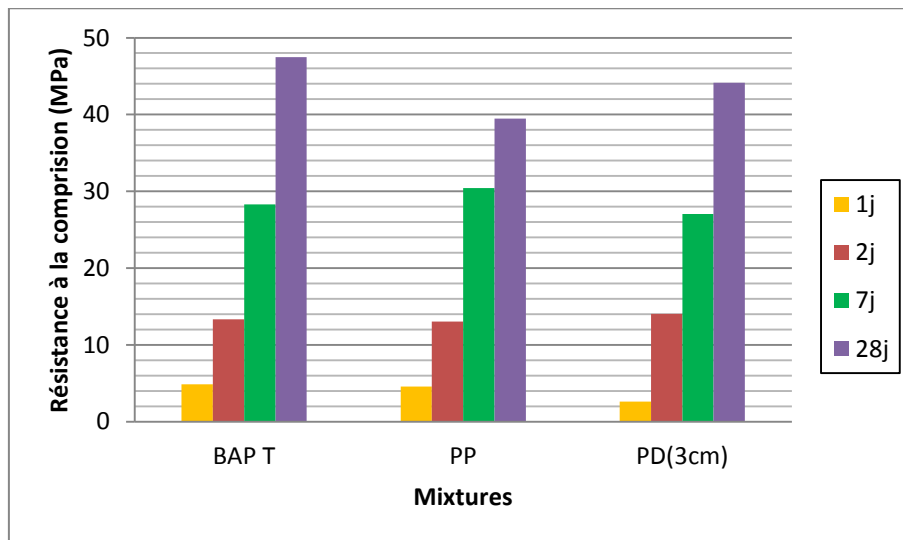


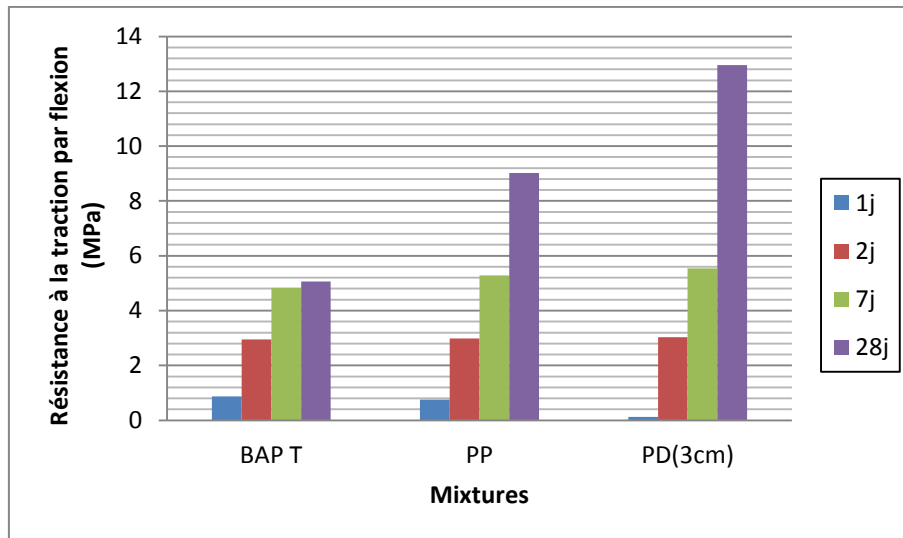
Figure IV.4 : Variation de la résistance à la compression

On distingue dans la figure (IV.4) que les mélanges ont une bonne résistance en compression à 28j, mais celle de BAPT est plus élevée. On conclut que les fibres peuvent entraîner une légère diminution de la résistance en compression.

#### IV.3.2. La résistance à la traction par flexion :

Les résultats obtenus sur les résistances mécaniques en traction par flexion sont présentés par la figure IV.5.





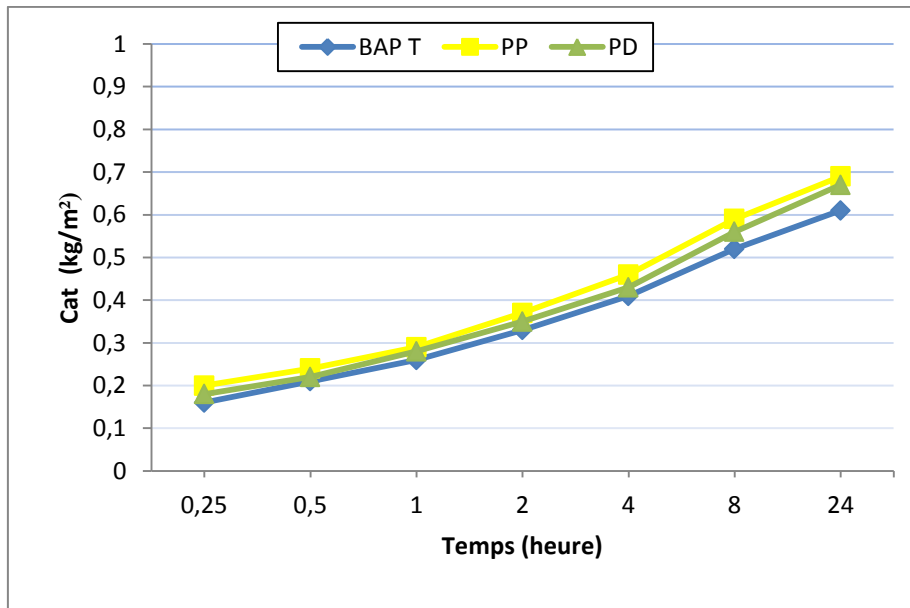
**Figure IV.5 :** Variation de la résistance à la traction par flexion

La figure (IV.5) présente les résistances en traction par flexion des BAP fibrés. Les résultats obtenus montrent l'effet bénéfique de l'utilisation des fibres dans le BAP. L'introduction des fibres végétales entraîne une augmentation de la résistance en traction par flexion des BAP fibrés par rapport au BAP sans fibres. Les BAP avec fibres de PD garantissent les meilleures résistances par rapport aux BAP avec fibres de PP.

Cela pourrait être expliqué par le fait que la fibre végétale se caractérise par un contour rugueux qui favorise l'adhérence avec la matrice cimentaire, contrairement à la fibre de polypropylène qui se caractérise par une surface lisse.

### IV.3.3. Absorption d'eau par capillarité :

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



**Figure IV.6 :** Absorption d'eau par capillarité des BAP testés

On peut noter que les BAP fibrés présentent une absorption capillaire légèrement supérieure à celle du BAP sans fibres. Ce qui indique que les fibres influent sur la capacité d'absorption d'eau du béton, en modifiant son réseau poreux. La figure (IV.6) illustre les résultats de l'absorption capillaire de trois BAP. Le renforcement des BAP par les fibres de PP ou de PD entraîne une augmentation de l'absorption capillaire.

L'introduction des fibres dans les BAP modifie le réseau poreux du matériau en créant une porosité supplémentaire à l'interface fibre – matrice cimentaire. Les BAP avec fibres de PD ont des coefficients légèrement inférieurs à ceux des BAP avec fibres de PP, cela est dû probablement au nombre de fibres de PD qui est inférieur à celui des fibres de PP et sa surface lisse qui facilite le transit d'eau.

#### **IV.3.4. Absorption d'eau par immersion totale :**

Les résultats obtenus sur l'absorption d'eau par immersion totale sont présentés par la figure IV.7.

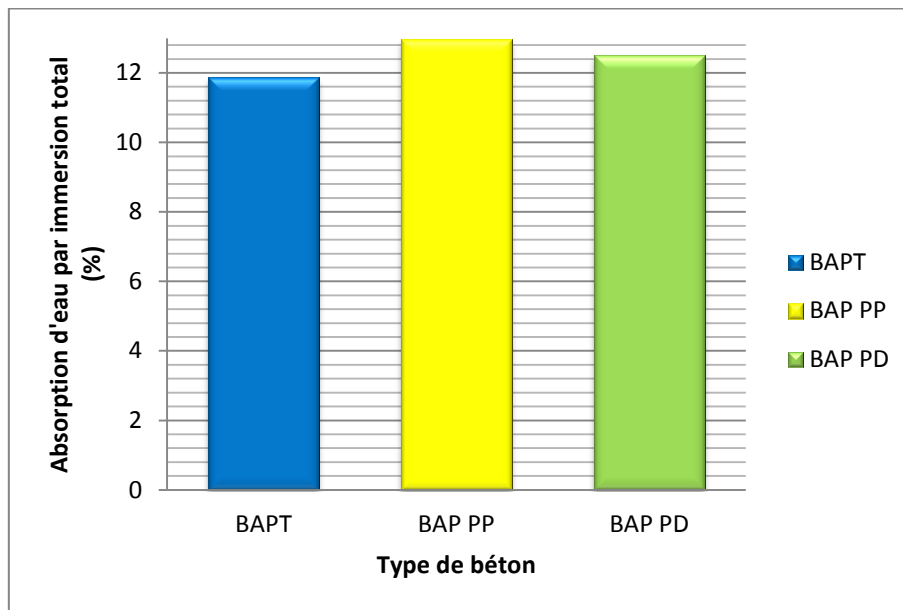


Figure IV.7 : Capacité d'absorption d'eau des BAP d'étude

D'après les résultats obtenus et présentés sur la figure (IV.7), la capacité d'absorption d'eau par immersion totale montrent que le BAP PP donne la plus importante valeur mais sensiblement proche des autres valeurs du BAPT et du BAP PD.

#### IV.4. Conclusion :

Le but de cette partie de travail est de mettre en évidence l'effet des fibres végétales de palmier dattier sur les caractéristiques des bétons autoplacants à l'état frais et à l'état durci par rapport à un BAP renforcé de fibres synthétiques de polypropylène et un BAP non fibré.

Les résultats des différents essais menés nous permettent de tirer les enseignements suivants :

##### Sur béton frais

- L'incorporation des fibres dans les BAP entraîne une perte de fluidité, qui est justifiée par la diminution de l'étalement des BAP. Les fibres gênent l'écoulement du BAP.

- L'effet des fibres de palmier dattier est légèrement moins important que celui des fibres de PP sur le pouvoir de remplissage et la stabilité des BAP, car d'une part les fibres de palmier dattier sont introduites dans le BAP à l'état saturé d'eau et d'autre part le nombre de fibres de PP est supérieur à celui des fibres de palmier dattier.

**Sur béton durci**

- L'incorporation des fibres dans les BAP entraîne une légère perte de résistance en compression.
- La perte de résistance en compression peut être expliquée par le fait que l'introduction des fibres perturbe la compacité du matériau et entraîne la formation d'une porosité supplémentaire.
- Les BAP avec fibres de palmier dattier garantissent les meilleures résistances à la traction par flexion que les BAP avec fibres de PP. Cela est due à la rugosité de la surface de la fibre de palmier dattier qui favorise l'adhérence avec le matériau cimentaire, en plus la fibre de palmier dattier présente une orientation perpendiculaire à la charge ce qui peut améliorer la ductilité du matériau.
- L'absorption d'eau par immersion total et par capillarité de BAP avec fibre de PP est plus élevée par rapport aux autres.

## CONCLUSION GENERALE

Le chapitre I présente une étude bibliographique sur les bétons autoplaçants et les bétons autoplaçants fibrés, Leurs compositions, Leurs applications, les principaux avantages et inconvénients de ce béton

On peut tirer de ce chapitre :

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage).

De nombreuses structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration d'armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Afin d'adapter les bétons à ces ouvrages, des recherches ont été menées au cours des dernières années dans le but de développer des formulations de béton se caractérisant par une haute ouvrabilité, tout en étant stables (ségrégation, étalement et air occlus), avec de bonnes caractéristiques mécaniques et de la durabilité. Ainsi, des bétons autoplaçants (BAP) ont été développés afin que la mise en place soit réalisée sans vibrations, seulement sous l'effet de la gravité, d'où le qualificatif d'autoplaçants.

Le béton de fibres est un matériau composite constitué d'une matrice béton et d'un renfort par inclusion directe de fibres isolées.

L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est en fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élanement.

L'ajout des fibres a pour rôle principal dans le béton de modifier ces propriétés, Les fibres sont introduites dans le béton pour compenser la fragilité du matériau en traction par une couture de la microfissuration.

Donc la fonction principale des fibres dans le béton est de réduire l'ouverture et la propagation des fissures et de transformer le comportement fragile du béton en un comportement ductile.

Dans le chapitre II, on s'intéresse à l'étalement du béton autoplaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) on utilisant la boîte en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis, avec les essais destructifs de compression et de traction par flexion de 1, 2, 7 et 28 jours

Les résultats du procédé d'identification des différents constituants courants entrant dans la formulation des BAP (sable, gravillons, ciment, ajouts, adjuvant, fibres, eau) répondent aux normes en vigueur.

L'utilisation de différents types de fibres peut contribuer à l'amélioration des propriétés des BAP fibrés.

Le troisième chapitre est structuré en deux parties, dans la première partie on a travaillé sur l'influence du rapport G/S pour voir jusqu'à quelle valeur du rapport G/S peut-on augmenter le dosage des gros granulats

On a trouvée que : Le rapport G/S égal à 1.4 garantit un bon écoulement, une bonne homogénéité et l'élimination de risque de ségrégation.

La deuxième concerne les fibres végétales utilisées dans cette étude, malgré leur caractère hydrophobe, garantissent un bon comportement des BAP à l'état frais se rapprochant du béton témoin. ces résultats confirment que l'on peut confectionner des BAP renforcés de fibres de PP et de fibres végétales. Les fibres de Palmier Dattier ont été pré-mouillées avant leur introduction dans la bétonnière.

Le but de chapitre IV est de mettre en évidence l'effet des fibres végétales de palmier dattier sur les caractéristiques des bétons autoplaçants à l'état frais et à l'état durci par rapport à un BAP renforcé de fibres synthétiques de polypropylène et un BAP non fibrés.

Les résultats des différents essais menés nous permettent de tirer les enseignements suivants :

#### **Sur béton frais**

- L'incorporation des fibres dans les BAP entraîne une perte de fluidité, La perte de fluidité est justifiée par la diminution de l'étalement des BAP qui gêné par les fibres.
- L'effet des fibres de palmier dattier est légèrement moins important que celui des fibres de PP sur la fluidité et la stabilité des BAP, car d'une part les fibres de palmier dattier sont introduites dans le BAP à l'état saturé d'eau et d'autre part le nombre de fibres de PP est supérieur à celui des fibres de palmier dattier.

#### **Sur béton durci**

- L'incorporation des fibres dans les BAP entraîne une légère perte de résistance en compression.
- La perte de résistance en compression peut être expliquée par le fait que l'introduction des fibres perturbe la compacité du matériau et entraîne la formation d'une porosité supplémentaire.
- Les BAP avec fibres de palmier dattier garantissent de meilleures résistances à la traction par flexion que les BAP avec fibres de PP. Cela est due à la rugosité de la surface de la fibre de palmier dattier constituée d'épines qui favorisent l'adhérence avec le matériau cimentaire, en plus la fibre de palmier dattier présente une orientation perpendiculaire à la charge ce qui peut améliorer la ductilité du matériau.
- L'absorption d'eau par immersion total et par capillarité de BAP avec fibre de PP est plus élevée par rapport à les autre BAP, est ce si due à la surface lisse et le nombre des fibres.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [1] guidebeton.com
- [2] OKAMURA. H. , OZAWA , K. (1994), “Self compactable high performance concrete in Japan” ACI International Workshop on high Performance Concrete, Bangkok, Thailand.
- [3] HAYAKAWA , M., MATSUOKA,Y., YOKOTA, K. (1995).”Application of super workable concrete in the construction of 70\_story building in Japan” ACI SP 154.
- [4] guidebeton.com le béton autoplaçant-Guide béton
- [5] <http://www.gramme.be/unite9/pmwikiOLD/pmwiki.php?n=BETON0607>
- [6] Hanaa Fares, «*Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée*», Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,
- [7] Latifou Bello, Méthodologie de formulation des Bétons Auto-Plaçants Légers. RAPPORT D'ÉTUDES ET RECHERCHES .Septembre 2015
- [8] Seridi said mémoire de master en Génie Civil « *Comportement de BAP a haut température* » 2013/2014.
- [9] « *R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman* » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.
- [10] Okamura H., Ouchi M., Self-compacting Concrete, Journal of advanced concrete technology, vol 1, p5-15, 2003.
- [11] PC. Aitcin, S. Jiang, BG. Kim, PC. Nkinamubanzi, and N. Pérov. L’interaction ciment : super plastifiant. Cas des polysulfonâtes. Bulletin des Laboratoires des ponts et Chaussées, Vol. 233 : 87-98, Juillet-Aout 2002.
- [12] Mémoire de Fin d’Etude En vue de l’obtention du Diplôme de Master 2en Génie Civil Option : Matériaux et Structures Présenté Benaddad Sabrina Melle : BenatsouNacira UNIVERSITE ABDERRAHMANE MIRA-BEJAIA FACULTE DE TECHNOLOGIE Département de Génie Civil Promotion 2012
- [13] Rossi .P, Harrouche, N, Lemaou .F, «*Comportement Mécanique des Bétons de Fibres Métalliques utilisés dans les Structures en Béton Armé et en Béton précontrainte*». Annales de l’itbtp, Série Matériaux 73, n°479 bis, pp. 166-183, Décembre 1989.
- [14] Youcef Fritih, Apport d’un renfort de Fibres sur le comportement d’éléments en Béton autoplaçant armé Thèse de Doctorat de L’université de Toulouse ,08 Juillet 2009.

- [15] Chemrouk, M. Tahenni, T et Boulekbeche.B, «**Béton renforcé en Fibres : un Matériau aux avantages multiples**». 1ère Conférence Internationale sur les Energies, Matériaux et Environnement Cieme'09 Centre Universitaire de Khemis Miliana, 22 et23 Novembre 2009.
- [16] GRÜNEWALD S, “Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete “, these de doctorat, University Darmstadt, Allemagne.
- [17] ROSSI P, HARROUCHE N, “Mix design and mechanical behavior of some steel-fiber-reinforced concretes used in reinforced concrete structures”, Materials and Structures, Vol. 23, pp. 256-266, 1990.
- [18] Sedran.T, Rhéologies et Rhéomètre des Bétons. Application au Béton Autonivlant, Thèse de l’Ecole Nationale des ponts et chaussées ; 1999.
- [19] 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’Etat, ENP, 2005, PP166.
- [20] KRIKER A., DEBICKI G., BALI A., KHENFER M.M., CHABANNET M, “Valorization of date palm fibers in reinforcement of concrete at hot dry climate”, pp20 –22 Sept. Vienna, ITALY 2004.
- [21] NF EN 12350 – 8, Essai pour béton frais - Partie 8 : béton autoplaçant - Essai d'étalement au cône d'Abrams », Novembre 2010.
- [22] NF EN 12350 – 10, « Essai pour béton frais - Partie 10 : béton autoplaçant - Essai à la boîte en L », Novembre 2010.
- [23] NF EN 12350 – 11, « Essai pour béton frais - Partie 11 : béton autoplaçant - Essai de stabilité au tamis », Novembre 2010.
- [24] NF EN 12350-6, « Essai pour béton frais Partie 6 : Masse volumique », Décembre 1999
- [25] NF EN 206-1, « Essais pour béton durci - Partie 3 : résistance à la compression des éprouvettes », Avril 2012
- [26] NF P18-408, « Essais pour béton durci - Partie 6 : détermination de la résistance en traction par flexion d'éprouvettes », Avril 2012
- [27] l'AFPC AFREM , « Durabilité des bétons », 1997
- [28] NA 442, 05, « CIMENT COMPOSITION, SPÉCIFICATIONS ET CRITÈRES DE CONFORMITÉ DES CIMENTS COURANTS ».2005
- [29] **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, Ecole Nationale Polytechnique, 186 p, 2005.
- [31] NF P 18-560, « Granulats - Analyse granulométrique par tamisage - GRANULATE. SIEBANALYSE », Septembre 1990
- [32] XP P 18-540 , « Granulats - Définitions, conformité, spécifications. », Octobre 1997



[33] P 18-597 , « Granulats - Détermination de la propreté des sables : équivalent de sable à 10 % de fines - GRANULATE. BESTIMMUNG DER SAUBERKEIT VON SAND : SANDGELEICHWERT MIT 10 PRO ZENT FEINTEILEN » ,Décembre 1990

[34] 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 intergranulaire » , Août 1998

[35] P18-573, « Granulats - Essai de Los Angeles - GRANULATE. LOS ANGELES PRUEFUNG » , Décembre 1990 .

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