REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie Civil

Elaboration et étude d'un composite cimentaire fibré à base de ciment ternaire et quaternaire

---

Présenté par

M^r^ HALLOUANE Benaissa

M^r^ BOUZARKKOULA Abdelkader

Proposé et Dirigé par

Pr. DEBIEB Farid

M^elle^ Hiba Noussiba

Promotion 2020

REMERCIEMENTS

Le présent travail

A été réalisé au sein du laboratoire du béton

De Hall de Technologie de Médéa.

On tient à remercier en premier lieu DIEU "Allah" Miséricordieux

Qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

On adresse nos remerciements à notre promoteur le professeur

DEBIEB Farid, on le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.

On remercie également M^{elle} Hiba Noussiba et le docteur **OULDKHAOUA Younes** à la fois présents et disponibles,

Nos sincères remerciements pour ses patiences, Ses disponibilités

Et surtout ses judicieux conseils.

Et sans oublier à remercier les responsables de laboratoires GC de l'université de Médéa

Qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.

On voudrait remercier nos familles

(Qu'on dédie ce travail) pour leurs soutiens et leurs encouragements.

Finalement, merci pour toutes personnes qui

Nous ont aidées de près ou de loin.

DEDICACE

Je remercie Dieu tout puissant qui m'a donné toute la volonté et la patience pour aboutir à la réalisation de ce travail.

Je dédiée ce modeste travail :

A mon source de douceur, de tendresse, d'amour et affection et grâce au encouragement et aux sacrifices qu'elle a consentis j'ai pu arriver à réaliser ce travail, ma très chère mère

A mon très cher père, pour les sacrifices qu'il a consentis pour mon éducation et pour l'avenir qu'il m'a cessé d'offrir.

A toutes mes chers frères.

Aces qui m'ont soutenu, encouragée, apprécie mon efforts et crées le milieu favorable, l'ambiance joyeuse et l'atmosphère joviale pour mon procurer ce travail, mes chers frères à dieu:

A mes chères amies

A Toute ma promotion.

A tout ce qui j'aime et tout ce qu'ils m'aiment.

Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce modeste travail en termes d'amour et de profonde gratitude.

Résumé

ملخص

هذه الدراسة جزء من موضوع بحث رئيسي يركز على استغلال مركب أسمنتي مقوى بالألياف يعتمد على الأسمنت الثلاثي والرباعي. الهدف الرئيسي من هذا العمل هو دراسة تأثير أنواع مختلفة من الأسمنت المتواجدة في السوق الجزائرية على سلوك الخرسانة المرصوصة ذاتيا المسلحة بالألياف (خ.م.ذ.ل). في هذه الدراسة تم استخدام ثلاثة أنواع من الأسمنت (الأسمنت ، االليتي ، والبوزولان) وأجزاء مختلفة من الألياف البلاستيكية (0.3٪ و 0.5٪)

نظرا لازمة وباء covid 19 لم يتم الانتهاء من البروتوكول التجريبي الذي تم رسمه ، أظهرت نتائج الجزء الأول من الدراسة أن إدخال الألياف البلاستيكية على الخرسانة المرصوصة ذاتيا في الحالة المرنة يقلل من تدفق سيولتها من جهة اخرى أدت الزيادة في جرعة الملدن الفائق إلى تحسين سيولة خ.م.ذ ضمن الحدود الموصى بها. بالإضافة إلى ذلك ، فيما يتعلق بالخصائص الميكانيكية ، يؤدي دمج الألياف البلاستيكية إلى تحسين في مقاومة الشد وزيادة طفيفة في مقاومة الانضغاط

Résumé

Cette étude fait partie d'une thématique de recherche principale axée sur l'exploitation d'un composite cimentaire fibré à base de ciment ternaire et quaternaire. L'objectif principal du présent travail est l'étude l'influence de différent type de ciment excitant dans le marché Algérienne sur le comportement d'un béton autoplaçant fibré (BAPF). Dans cette étude trois types de ciment (ciment au calcaire, laitier et pouzzolane) et différent fraction volumique de fibre plastique (0.3% et 0.5% FP) ont été utilisés.

Compte tenus de la crise de la pandémie de covid 19 , une bonne partie du protocole expérimental tracé n'a pas été achevée, Les résultats de la première partie d'étude montrent que l'introduction de FP a diminué les propriétés à l'état frais des BAP, une augmentation de dosage en superplastifiant (SP) mené une amélioration de la fluidité de BAP selon les limite de recommandation. De plus, concernant les propriétés mécaniques l'incorporation de FP engendre une amélioration de la résistance à la traction et une légère augmentation de la résistance à la compression.

Résumé

Abstract

This study is part of a main research theme focused on the exploitation of a fiber-reinforced cementitious composite based on ternary and quaternary cement. The main objective of this work is the study of the influence of different type of exciting cement in the Algerian market on the behavior of self compacting fibers reinforced concrete (SCCFR). In this works three types of cement (calcareous cement, slag and pozzolan) and deferent volume fraction of plastic fiber (0.3% and 0.5% PF) were used.

Due to crisis of the covid 19 pandemic, much of the experimental protocol drawn has not been completed, The results of the first part of the study show that the addition of FP decreased the properties in the fresh state of SCC, an increase in superplasticizer (SP) dosage led to an improvement in the fluidity of SCC according to the recommended limits. In addition, regarding the mechanical properties the incorporation of PF results in an improvement in tensile strength and a slight increase in compressive strength.

TABLE DES MATIERES

REMERCIEMENT

DEDICACE 3

INTRODUCTION GENERALE 1

CHAPITRE I:Synthése Bibliographique 1

I.1 Aperçu général sur les bétons autoplaçant 4

I.1.1 Historique 4

I.1.2 Avantages et inconvénients des bétons autoplaçants 4

I.1.3 Constituant d'un béton autoplaçants 5

I.1.4 Caractéristique des BAP à l'état frais 8

I.1.5 Formulations et Compositions des BAP 11

I.1.6 Application des BAP dans le monde 16

I.2 Le Béton de fibre 17

I.2.1 Rôles de fibres 18

I.2.2 Facteur influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres 19

I.2.3 Différents types de fibres utilisées 20

I.2.4 Propriétés mécaniques de béton de fibre 26

I.2.5 Bétons autoplaçant fibrés 31

I.2.6 Utilisation des BAP fibres dans les structures 34

I.2.7 Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés 36

I.3 Les bétons à base des ajouts cimentaire [48] 38

I.3.1 Types, origine et caractéristiques des matériaux d'additions 38

I.4 Conclusion 49

Table des matières

CHAPITRE II:Matériau et Essais 51

II.1 Introduction 52

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés 52

II.2.1 Ciment 52

II.2.2 Sable : 53

II.2.3 Gravier 54

Tableau II.4 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés. 55

II.2.4 Eau de gâchage 55

II.2.5 Superplastifiant 55

II.2.6 Fibre plastique 55

II.3 Formulation du béton 56

II.3.1 Formulation du Mortier autoplaçant 57

II.3.2 Formulation du béton autoplaçant 58

II.4 Préparation du mélange (Malaxage) 60

II.5 Les essais effectués sur BAP 61

II.5.1 Essais à l'état frais 61

II.5.2 Essai à l'état durcis 64

II.6 Confection et conditionnement des éprouvettes : 69

II.7 Conclusion 69

CHAPITRE III:Analyse et Interprétation des Résultats 71

ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTAT 71

III.1 Introduction 72

III.2 Etude des MAP 72

III.2.1 Optimisation des rapports S/M et SP/L 72

III.3 Etude des BAP 74

III.4 Etude des BAPF 75

Table des matières

III.4.1 Etalement au cône d'Abrams 75

III.4.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel 78

III.4.3 Capacité de passage à travers L-BOX 79

III.4.4 Stabilité au tamis 80

III.4.5 Résistance à la traction 81

III.4.6 Résistance à la compression 82

III.5 Etude des BAPFP à base différent type de ciment 83

CONCLUSION GENERALE 85

RECOMMANDATION 86

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I:Synthése Bibliographique……. 1

Figure I.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP……. 5

Figure I.2 : Structure chimique de SPPNS et PC…… 8

Figure I.3 : Différents essais pour la caractérisation des BAP…… 10

Figure I.4 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres……... 18

Figure I.5 : Différents Facteurs Influant Sur Le Comportement Mécanique…… 19

Figure I.6 : Quelques formes de fibres d'acier…… 20

Figure I.7: Fibres de verres…….. 21

Figure I.8: Fibres de carbones……. 22

Figure I.9: Fibres d'Aramide hachées et en files……. 23

Figure I.10: Fibres de polypropylène…….. 24

Figure I.11: Fibres végétales……... 25

Figure I.12 : Indices de ténacité du diagramme Charge-déflexion en flexion…… 30

Figure I.13: Indices de ténacité I30 des bétons renforcés De fibres de polypropylène.. 30

Figure I. 14: Effet des fibres sur l'étalement des BAP…… 32

Figure I.15 : Deux types de palplanche…… 35

Figure I.16 : Exemple d'un voussoir……... 35

Liste des Figures

Figure I.17 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions…… 37

Figure I.18 : Déchets de marbre à l'état poudreux…… 40

Figure I.19 : Pouzzolane naturelle sous forme de granulats……... 41

Figure I.20 : Déchets de marbre à l'état poudreux…… 41

Figure I.21. Influence des matériaux cimentaires sur le retrait de séchage du béton autoplaçant…… 42

Figure I.22. Gisement du Kaolin en Algérie……... 43

Figure I.23. Production notionnel de ciment en Algérie……. 49

CHAPITRE II:Matériaux ET Essais…… 51

Figure II.1 : Analyse granulométrique des granulats utilisées……... 54

Figure II.2 : Forme de fibre utilisée…… 56

Figure II. 3: Séquence de malaxage du BAP…….. 60

Figure I.4: Essais d'étalement……. 61

Figure II.5 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel)**……** **62**

Figure II.6 : Protocole de l'essai de la boîte de L-Box……... 63

Figure II.7 : Protocole de l'essai de stabilité au tamis…… 64

Figure I.8 Dispositif pour l'essai de résistance à la traction**……..** 64

Figure I.9: Dispositif de rupture à la compression**……** 66

Liste des Figures

Figure I.10: Mesure de variation dimensionnelle**……** 67

CHAPITRE III: Analyse et Interprétation Des Résultats……. 71

Figure I.1: Etalement des BAPF avec SP constant…… 76

Figure I.2: Dosage en SP en fonction de FP……. 77

Figure I.3: Etalement des BAPF avec SP variable…… 77

Figure I.4: Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable…….. 78

Figure I.5: L-BOX des BAPF avec SP constant……... 79

Figure I.6: L-BOX des BAPF avec SP variable…… 80

Figure III.7 : Stabilité au tamis des BAPF…….. 81

Figure III.8: Résistance à la traction des BAPF……... 82

Figure III.9: Résistance à la compression des BAPF……... 83

LISTE DES TABLEUX

CHAPITRE I:Synthése Bibliographique……. 1

Tableau I.1 recommandation des essais du BAP ……... 11

Tableau I.2. Données sur les cimenteries exerçant en Algérie …… 48

CHAPITRE II:Matériaux ET Essais…… 51

Tableau II.1 : Différents compositions utilisées dans la recherche…… 52

Tableau II.2 : Propriétés chimique et physique des ciments utilisées…… 53

Tableau I.3 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisé…….. 54

Tableau I.4 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés…… 55

Tableau II.5 : Formulation optimal du MAP obtenus…… 57

Tableau II.6: Compositions de différentes formulations BAP étudiés pour $1m^3$…… 58

Tableau II.7: Compositions de différentes formulations BAPF étudiés pour $1m^3$……**..** 59

Tableau II.8: Compositions des formulations BAP adopté pour 1 m^3. 59

CHAPITRE III: Analyse et Interprétation Des Résultats……. 71

Tableau III.1. Résultats sur MAPT pour différentes % de SP et S/M…… 73

Tableau III.2. Résultats sur BAP pour différentes % de SP. …… 74

LISTE DES ABREVIATIONS ET NOMENCLATURES

Al_2O_3 : Alumine ;

BAP : Béton autoplaçant ;

BAPT : Béton autoplaçant témoin ;

BAPF: Béton autoplaçant fibré ;

BAPFP : Béton autoplaçant fibré à base de fibre plastique ;

BAPFPC: Béton autoplaçant de fibre plastique à base différent type de ciment ;

BO : Bétons ordinaires.

BV : Bétons vibrés ;

C (CaO): Oxyde de calcium ou chaux vive ;

C-S-H : Silicate de calcium hydraté ;

C3A (3CaO,Al2O3) : Aluminate tricalcique ;

C3S (3CaO,SiO2): Silicate tricalcique ou « alite » ;

C2S (2CaO,SiO2): Silicate bicalcique ou « bélite » ;

C4AF (4CaO,Al2O3,Fe2O3) : Alumino-ferrite tétracalcique ;

CaCO3 : Calcite ;

CaSO4.2H2O : Gypse secondaire ;

C3A.3CaSO4.32H2O : ettringite secondaire ;

CaSO4 : sulfate de calcium ;

C.P.A : Ciment portland artificiel

C.P.J : Ciment portland composé

d : La dimension du plus petit grain de l'étendue granulaire;

D_{max} : La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire.

E/C : Eau / Ciment ;

E/L : Eau/liant ;

FP : Fibre plastique ;

Abréviation et Nomenclatures

FM : Fibre métallique ;

f : surface spécifique exprimée en cm^2/g du constituant.

G/S : Gravillons /sable

PM : poudre de marbre ;

PZ : pouzzolane naturelle ;

PB : poudre de brique ;

$\boldsymbol{\rho}$: Densité du constituant exprimée en g/cm^3

I : Moment d'inertie de la section transversale

$\mathbf{R_c}$: Résistance à la compression

$\mathbf{R_f}$: Résistance à la flexion

$\mathbf{R_t}$: Résistance à la traction

V : Volume des vides du mélange granulaire;

$\mathbf{V_f}$: Fraction volumique de fibre;

v : La distance de la fibre la plus éloignée

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est le matériau de construction le plus employé à l'échelle mondiale avec une quantité de 12 billion tonnes par an, ce qui correspond à une consommation de 1 m^3/ personne/ an. Sa fabrication fait appel à une matière liante qui est le plus souvent le ciment Portland. Il est bien connu que la production de ce dernier est très coûteuse sur le plan économique, et pollutive sur le plan environnemental. Par ailleurs, les quantités de ciment produites mondialement sont en croissance remarquable, elle était estimé à 3,6 billion tonnes en 2011 et s'élèvera à 5,8 billion tonnes en 2050 ce qui a pour effet d'augmenter les émissions de CO_2 de 3,24 billion tonnes à 5,22 billion tonnes (1 kg de ciment produit émisse 0,9 kg de CO_2). On note ici que le secteur de l'industrie du ciment est responsable de 5% à 8% de la quantité globale de CO_2 émisse dans l'atmosphère.

L'emploi des additions au ciment connaît ces dernières années un grand essor qui offre la solution la plus efficace consiste à baisser la quantité de clinker produite en le remplaçant par des matériaux d'addition ayant des propriétés proches ou analogues au clinker. Le laitier des hauts fourneaux, les cendres volantes, la fumée de silice, la pouzzolane naturelle, les fillers calcaires sont les matériaux d'additions les plus utilisés dans le secteur cimentier.

Par le mot béton autoplaçant (BAP), on désigne un béton superfluide qui est capable sous le seul effet de gravité de s'écouler et remplir tout le coffrage même le plus complexe et le plus encombré sans faire appel aux moyens de vibration ou de compactage pour son consolidation avec comme résultat un produit homogène, fini et de bel aspect.

Par rapport aux bétons conventionnels, la méthode de formulation du BAP fait appel à d'autres matériaux et à d'autres exigences techniques. Parmi les matériaux nécessaires pour l'obtention d'un béton de caractère autoplaçant, il y a le superplastifiant et les additions minérales. L'utilisation du premier permet non seulement de réduire le rapport Eau/Liant, mais aussi de lubrifier la surface des granulats et disperser les fines particules, tandis que le second permet d'écarter les particules de granulats (sable et gravier) et de réduire par conséquent les frottements intergranulaires. La composition du BAP exige de limiter le volume et la taille des particules de gravillon pour augmenter la capacité de passage dans les zones encombrées et éviter en conséquence le risque de ségrégation.

Introduction générale

Le béton fibré est un béton dans lequel sont incorporées des fibres. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres sont réparties dans la masse du béton, elles permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène. Les fibres, selon leur nature ont un comportement contrainte-déformation très différent. Elles peuvent, sous certaines conditions et pour certaines applications ou procédés, remplacer les armatures traditionnelles passives. Les fibres présentent des caractéristiques géométriques et mécaniques intéressantes selon leur nature. Chacune a une influence particulière sur les lois de comportement mécanique du béton, ce qui se traduit par des applications adaptées et spécifiques.

L'objectif principal de cette étude et la fabrication d'un neveu composite cimentaire fibré (applications dans BAP) avec différent type ciment.

Outre l'introduction générale, la présente thèse s'articule en quatre chapitres :

- **Chapitre I** : donne une définition détaillée sur les BAP (définition, avantage, application dans le monde……..) ainsi en mise en évidence par la suite, une aperçus sur les bétons fibrés et leur utilité dans le domaine de la construction le chapitre finalisé par les différentes type addition minérales utilisées dans la fabrication de ciment.

- **Chapitre II** : regroupe les caractéristiques des matériaux utilisés durant notre étude, les procédures de confection des mélanges, ainsi que les différents essais effectués.

- **Chapitre III :** donne une analyse et discussion des résultats des différents essais réalisés dans la partie expérimentale.

Finalement, la conclusion résume les résultats obtenus dans ce travail ainsi que des perspectives de recherche dans le futur.

CHAPITRE I:

Synthèse bibliographique

Chapitre I : Synthèse bibliographique

I.1 Aperçu général sur les bétons autoplaçant

I.1.1 Historique

En général, un béton fraîchement mis en place est vibré afin d'enlever l'air emprisonné, rendant ainsi le matériau plus compact ; on l'appelle communément béton ordinaire vibré (BOV). Le compactage est l'une des clés de la production d'un béton de bonne qualité avec une résistance et une durabilité optimales [1]. Toutefois, au Japon au début des années 1980, en raison des volumes croissants d'armatures avec de plus petites sections de béton et une réduction de la main d'oeuvre qualifiée, un compactage convenable était difficile à obtenir, conduisant ainsi à une mauvaise qualité du béton.

Okamura et Ouchi [2] ont donc proposé un concept de béton indépendant de la nécessité d'utiliser la technique du compactage. Ozawa et al. [3] produisent le premier prototype de béton autoplaçant (BAP) à l'université de Tokyo au Japon en 1988. Par définition, les BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables, mis en oeuvre sans vibration, la compaction s'effectuant par le seul effet gravitaire [4]. Des lors, les BAP sont passés d'une nouveauté de laboratoire à des applications pratiques dans le monde entier, mais hélas peu utilisé dans le secteur de la construction en Algérie. Cependant, le nombre croissant de travaux publiés chaque année qui traitent des BAP, comme par exemple, l'approche de formulation, l'étude des propriétés et les applications dans la pratique, la rhéologie, la durabilité, indique que les recherches sur ce matériau sont en plein essor. Ce qui justifie le passage des recommandations provisoires [4] à la normalisation AFNOR depuis novembre 2010,

I.1.2 Avantages et inconvénients des bétons autoplaçants

Par rapport aux bétons ordinaires, les BAP possèdent des propriétés rhéologiques à l'état frais nettement amélioré et leur utilisation accroît la productivité et facilite les conditions de travail. Nous avons vu que la fluidité des BAP est telle qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

- Une diminution du bruit sur site ;

- Une diminution de la pénibilité des tâches ;
- Une réduction des risques d'accident ;
- Réduction du coût de la main d'œuvre ;
- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier ;
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.

Toutefois, certains points restent à surveiller dans l'utilisation du béton autoplaçant :

- Augmentation du coût des matières premières, par la présence des nouveaux adjuvants, et des différentes additions minérales ;
- Compatibilité des matériaux ;
- Etanchéité des coffrages.

I.1.3 Constituant d'un béton autoplaçants

Comme tout type de béton, les BAP sont composés de matériaux de base soit de ciment, de sable, de granulats et d'eau, afin d'assurer leur fluidité et leur homogénéité. De plus Les BAP nécessitent l'utilisation des adjuvants chimiques (superplastifiants et d'agents de viscosité), ainsi que les ajouts minéraux [5].

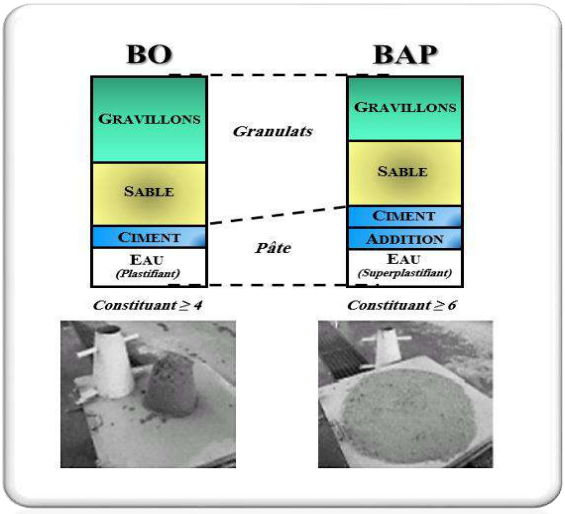


Figure I.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP [5].

Il existe de par le monde divers essais pour caractériser l'ouvrabilité des BAP. Nous allons décrire les caractéristiques des différents constituants entrant dans la composition du béton autoplaçant (ciment, additions minérales, granulats, adjuvants et eau). Chaque constituant joue un rôle différent dans l'écoulement et dans le comportement rhéologique du béton, et des interactions existent entre certains composants. La figure I.1 présente la comparaison entre la composition d'un béton fluide autoplaçant et d'un béton ordinaire.

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplaçant 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.

La fluidité d'un béton autoplaçant est contrôlée par l'état de contrainte entre les particules qui le constituent. En effet, pour que le béton s'écoule bien, il est primordial de réduire les frictions et les frottements existants entre les particules solides (gravier, sable, additions minérales, liant) qui génèrent des contraintes empêchant l'écoulement.

L'utilisation de granulats roulés (de forme plus ou moins sphérique) peut être avantageuse lorsqu'on désire réduire les frictions entre les granulats [5]**.** Le volume des gros granulats dans le béton est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération. Afin d'empêcher tout risque de blocage du béton par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre différent [6].

De plus la proportion des gravillons par rapport au sable est plus faible qu'avec un béton ordinaire, afin de permettre l'écoulement du matériau dans les zones confinées, leur volume est limité et le rapport gravillon/sable (G/S) est proche de 1 [7].

Les BAP sont caractérisés par une fluidité importante et surtout une diminution de la ségrégation et du ressuage. Pour obtenir ces propriétés, on ajoute de fortes teneurs en ajouts minéraux : fumées de silice, laitiers, cendres volantes, pouzzolanes et aditions calcaires.

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (20000 –30000 gr) [8]. Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont frais, afin d'améliorer certains propriétés, en modifiant principalement :

- Les solubilités ;
- Les vitesses de dissolution ;
- L'hydratation des divers constituants d'un liant hydraulique.

Deux aspect pour assurer la fluidité des BAP bien qu'il augmentation de volume de pate élevée de ciment ou par l'utilisation des superplastifiant (SP)

Les SP permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Ils permettent d'obtenir des bétons maniables et ouvrables par défloculation des grains de ciment. Les SP sont divisés en familles de produits parmi lesquelles nous citons les principaux : Polynaphtalènesulfonate (PNS), Polymélaminesulfonate (PMS), Lignosulfonates modifiés (LS), Polycarboxylate (PC), Polyacrylate (PA) et Polyoxyéthylène (POE). Les structures chimiques des superplastifiants de la nouvelle génération ne sont pas révélées par les fabricants pour des raisons liées au secret industriel. Toutefois, elles pourraient s'apparenter aux motifs « exemples » de la figure II.2.

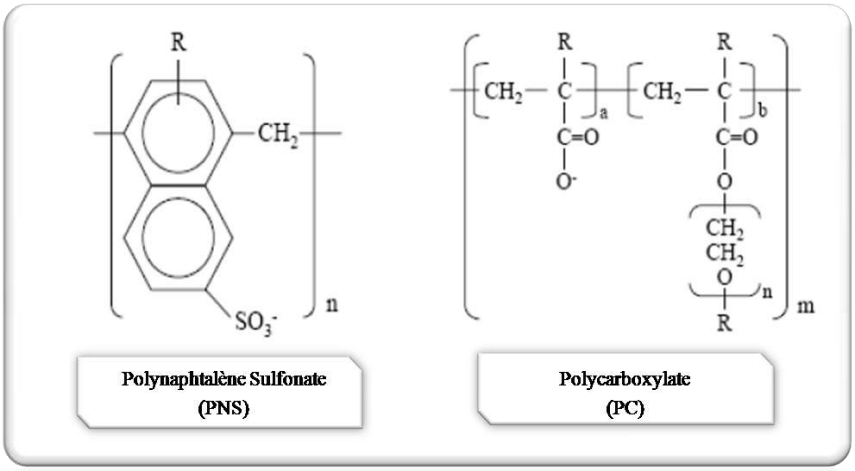


Figure I.2 : Structure chimique de SPPNS et PC [8]

La fluidité des BAP engendre parfois a une ségrégation, qui se donne un béton a difficile à réalisée en pratique si pour cela en utilisant des agents de viscosités. L'utilisation de ce dernier dans la formulation des bétons fluides est devenue récemment une nécessité pour garantir une bonne résistance à la ségrégation du béton. Si la formule ne contient pas d'agent de viscosité, il est nécessaire d'avoir une plus grande quantité de liant pour assurer un écoulement sans ségrégation.

Les agents de viscosité permettent un maintien de la fluidité et de la capacité de remplissage L'ajout d'un SP dans un béton augmente son ouvrabilité mais réduit sa viscosité.

De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage. Pour minimiser cet effet, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures, en général se sont des polysaccharides hydrosolubles [9].

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.).

I.1.4 Caractéristique des BAP à l'état frais

Bien que les propriétés du béton à l'état durci soient plus évoquées pour les bétons d'aujourd'hui, il s'avère que si un béton peut ne pas être mis en place correctement, ses propriétés désirées ne seront pas obtenues. Pour chaque application, les caractéristiques requises pour le béton frais sont différentes et définissent si un béton a des bonnes propriétés à l'état frais tell que ; les besoins de finition, de mise en place, de pompabilité, de résistance à la ségrégation,...etc [10].

De nombreux tests simples et empiriques ont été mis au point dans le but de mieux caractériser le comportement du BAP et de valider son utilisation. Il existe actuellement presque autant de tests ou de version de tests que d'équipes de recherche qui ont étudié la question de caractérisation du BAP à l'état frais c'est-à-dire : la capacité au remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation. Ces recommandations sont devenues in situ les essais de référence pour valider une formulation de BAP aussi répartissent les BAP

à l'état frais en quatre (04) propriétés essentielles suivantes, et propose des essais simples et empiriques à réaliser pour chacune d'elles. [11]

- La Capacité au remplissage ;
- La Capacité de passage ;
- La Résistance à la ségrégation ;
- Rhéologie.

La capacité au remplissage du béton est définie comme l'habilité du béton à entreprendre un changement dans sa forme sous l'effet de son poids propre, même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement. Cette capacité au remplissage peut être déterminée à l'aide de l'essai d'étalement [12, 13].

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à l'étalement à travers des espaces confinés sans ségrégation, sans perte d'uniformisation et sans blocage. En définissant la capacité de passage, il est nécessaire de considérer, la géométrie et la densité du ferraillage, la capacité de remplissage du mélange ainsi que la dimension maximale du granulat.

La résistance à la ségrégation est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité sur site du BAP. Ce dernier peut souffrir de la ségrégation durant la mise en place et après mais avant son durcissement. La ségrégation qui se produit après la mise en place est la plus défavorable surtout pour les longs éléments et même pour les éléments minces comme les dalles, ça peut mener vers des dégradations de surface comme sa fissuration.

La résistance à la ségrégation devient un paramètre important dans le cas de classe élevée de fluidité ou de faible viscosité, ou bien dans le cas où les conditions de mise en place encouragent la ségrégation. Si aucun de ces cas ne se présente, il n'est généralement pas nécessaire de spécifier la classe de la résistance à la ségrégation. L'essai de la résistance à la ségrégation des BAP est l'essai au tamis de 5 mm.

La figure I.3 représente aussi une description et schématisation sur les différents essais de la caractérisation des BAP. Le tableau I.1 synthétise les différents essais empiriques de la caractérisation et le contrôle des propriétés à l'état frais des BAP

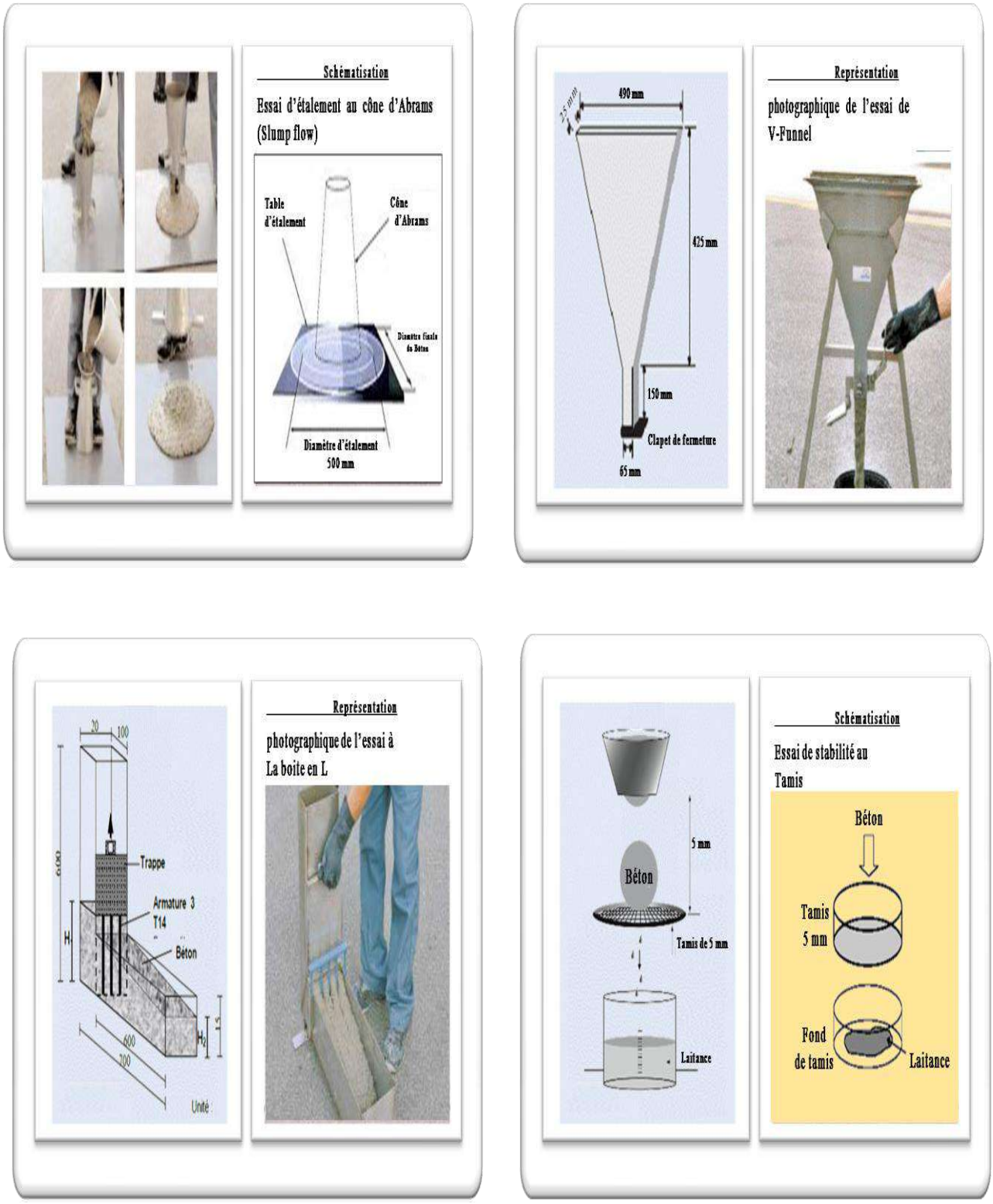


Figure I.3 : Différents essais pour la caractérisation des BAP [14].

Tableau I.1 recommandation des essais du BAP [14]

Propriétés	Essais	Plages recommandées
Capacité de Remplissage	Étalement au cône d'Abrams (Slump flow) (NF EN 12350-8)	550 ≤ SF1 ≤ 650 mm 660 ≤ SF2 ≤ 750 mm 760 ≤ SF3 ≤ 850 mm
	Temps d'étalement (T50) (NF EN 12350-8)	VS1 < 2 s VS2 ≥ 2 s
Capacité de Passage	Ecoulement à l'entonnoir (V-Funnel) (NF EN 12350-9)	0 > VF1 < 9 s 9 ≤ VF2 ≤ 25 s
	Essai à boîte en L (L-Box) (NF EN 12350-10)	PL1 ≥ 0.8 à 2 barres PL2 ≥ 0.8 à 3 barres
Résistance à la ségrégation statique	Essai de stabilité au tamis (NF EN 12350-11)	SR1 ≤ 20% SR2 ≤ 15%

I.1.5 Formulations et Compositions des BAP

Les différentes propriétés des bétons autoplaçants (fluidité, viscosité, résistance à la ségrégation, aptitude au remplissage, etc.) rendent leur formulation relativement compliquée.

Même si de nombreuses études ont été effectuées pour comprendre les principes qui régissent le comportement de ces bétons en milieux confinés, aucune méthodologie pratique de formulation ne semble avoir été établie, permettant à un chercheur ou à un ingénieur de fabriquer un béton autoplaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis [15-17].

Réaliser un béton autoplaçant est une opération complexe qui nécessite de trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles, et le dosage convenable de chacun de ces constituants afin d'obtenir une formulation répondant aux propriétés des BAP. Il est impossible de réaliser une formulation universelle de béton autoplaçant; chaque chantier utilisant ses propres matériaux (matériaux locaux) doit mettre au point sa propre formulation.

De multiples approches se sont développées à travers le monde pour la formulation d'un béton autoplaçant. Nous rapportons un exposé général sur les approches principales et quelques de ses modifications.

I.1.5.1 Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon)

Considérée comme la méthode générale de formulation, la formulation OKAMURA a été développée à l'Université de Tokyo par Okamura, d'après Ozawa et al rapporté par [18].

Cette méthode consiste d'abord à fixer le dosage de gravier dans le béton et celui du sable dans le mortier, ensuite de procéder à l'optimisation de la pâte de ciment afin de donner au béton résultant les meilleures performances. Le principe de cette méthode est le suivant:

- La teneur volumique G en gravillons du béton est fixée à 50% du volume du solide. Ce pourcentage permet d'éviter les risques de blocages, à condition que le mortier du béton réponde correctement aux critères d'ouvrabilité testés:

$$G = \frac{50}{100} G_{lim}(1 - A) \qquad \textbf{(I.1)}$$

Où:

A : quantité d'air choisie en fonction de la résistance au gel-dégel

G_{lim} : volume absolu d'un mètre cube de gros agrégats

- Le volume du sable est fixé à 40% du volume total de mortier:

Où:

$$S = \frac{40}{100}\frac{(1-A-G)}{(1-K_{sf})} \quad \textbf{(I.2)}$$

K_{sf} : taux de fines particules (<0.09 mm) dans le sable

- L'optimisation de la pâte s'effectue sur un mortier dont la teneur volumique en sable est égale à 40%

L'eau, le superplastifiant et les fines sont ajustés pour les mortiers pour obtenir une viscosité suffisante (mesurée par le temps d'écoulement par l'entonnoir en V) et une fluidité importante (mesurée par l'étalement au cône).

Les auteurs définissent alors deux grandeurs: étalement relatif et vitesse relative d'écoulement.

- La fluidité du mortier, donnée par:

$$D = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2} \quad \textbf{(I.3)}$$

Avec ;

d est le diamètre de la galette et d0 la base du cône.

- La viscosité du mortier, donnée par:

$$T = \frac{10}{t} \quad \textbf{(II.4)}$$

Avec ;

t le temps d'écoulement à l'entonnoir en V exprimé en secondes.

Selon les auteurs, ces deux grandeurs représentent la fluidité (plus la valeur de D est élevées, plus le mortier est fluide) et la viscosité du mortier (plus la valeur de Test faible, plus la viscosité est élevée).

Le dosage du superplastifiant et le rapport E/C sont optimisés pour obtenir simultanément :

$$D = 5 \text{ et } T = 1 \pm 0,1 \qquad \textbf{(II.5)}$$

Le béton obtenu est testé pour vérifier les propriétés d'ouvrabilité, et le dosage du superplastifiant peut être réajusté si nécessaire pour obtenir un béton autoplaçant satisfaisant.

I.1.5.2 Formulation LCPC (France)

L'approche développée en France au LCPC par Sedran et De Larrard en 1994 est basée sur le modèle d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. Un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité.

Le modèle permet de prévoir la compacité du squelette granulaire à partir des caractéristiques des constituants telles que la densité apparente, les proportions du mélange, les distributions granulaires et la compacité propre. Les auteurs ont modélisé le comportement à l'état frais du béton à partir de la compacité de son squelette granulaire.

Cette approche, basée sur la synthèse d'une quinzaine d'années de recherches, est simplifiée par la mise en œuvre d'un logiciel (Bétonlabpro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche [10, 19], et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour démoulage immédiat, bétons autoplaçants).Pour un béton autoplaçant, les grandeurs exigées à l'état frais sont :

- Un étalement au cône d'Abrams supérieur à 600 mm
- Un seuil de cisaillement inférieur à 500 Pa
- Une viscosité plastique comprise entre 100 et 200 Pa.s (grandeurs rhéologiques mesurées au BTHREOM).

Ces critères correspondent selon les auteurs à un béton assez fluide et qui ne présente pas deségrégation. Une proportion de liant (ciment + addition) est fixée à priori, pour laquelle on détermine le dosage à saturation du superplastifiant utilisé. Selon

l'expérience des auteurs, le dosage de saturation pourrait conférer au béton une viscosité élevée, par conséquent la moitié de ce dosage serait plus pertinente.

Le besoin en eau du liant en présence du superplastifiant est déterminé, et conduit au calcul de la compacité propre du liant, qui est une donnée d'entrée nécessaire. Grâce au logiciel, les dosages des constituants sont déterminés, en prenant en compte tous les paramètres de calcul, et de l'effet de paroi. Le dosage du superplastifiant peut être ajusté pour obtenir les critères d'ouvrabilité désirés, celui de l'eau pour obtenir la résistance à la compression ciblée.

I.1.5.3 Formulation CBI modifiée

La principale modification et extension de la méthode CBI est apportée par Bui et al dans [20]**,** qui ont proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

Leur méthode consiste à calculer l'épaisseur moyenne de la pâte autour des granulats du béton autoplaçant, grâce à une base de données importante de formulations de bétons [21]**.** L'espacement moyen entre les particules varie selon les auteurs entre 0,3 et 1 mm.

I.1.5.4 Formulation JSCE

La démarche proposée en 1998 par la société japonaise de génie civil [22] est fondéesur des travaux de recherche et des applications pratiques. Dans cette formulation, la quantité d'eau, le rapport eau/poudres et la teneur en poudre varient en fonction de l'utilisation ou non d'un agent de cohésion. Les points principaux de cette formulation sont :

Le volume absolu des gros agrégats varie en fonction de l'autocompactibilité désirée. Il est situé entre 0.30 et 0.32 m3/m3 et le diamètre maximum est limité à 20, voire 25mm.

- Quand un agent de viscosité est utilisé, la quantité d'eau se situe idéalement sous les 180 kg/m^3 dans les conditions d'exposition normales. Si la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, et uniquement dans ce cas, il peut être utilisé jusqu'à 190 kg

d'eau par m^3. En absence d'agents de viscosité, la quantité d'eau doit être située entre 155 et 175 kg/m^3.

- Les rapports eau/poudres et eau/liant sont basés sur les performances du béton à l'état durci. Si la fluidité n'est pas atteinte, on peut utiliser davantage de liant. Sansagent de viscosité, le rapport eau/poudres se situe entre 28 et 37% en masse et entre85 et 115% en volume.

- La quantité d'air dépend du diamètre maximum du gros granulat, de la résistance souhaitée et des conditions d'exposition du béton. La valeur type s'élève à 4.5%d'air.

- Les quantités de liant et de poudres sont déduites des rapports précédents. Avec un agent de viscosité de type polysaccharide, les poudres représentent en général0.13m^3/m^3. Dans les autres cas, une valeur standard devra être déterminée entre0.16 et 0.19 m^3/m^3.

- La quantité de fins agrégats se déduit des quantités précédentes (gros agrégats, poudres, eau et air).

- Le dosage de superplastifiant et d'agent de viscosité est évalué selon l'expérience. Le dosage de superplastifiant dépend cependant du rapport eau/poudres et de la nature des poudres. Il est généralement situé, pour les superplastifiants de nouvelle génération, entre 1 et 2 kg d'extrait par m^3, ce qui correspond, pour une solution aqueuse à 35%, à une quantité de 3 à 6 litres.

- Le dosage en agent de viscosité est très variable selon la nature de l'agent et le type de béton (avec ou sans ajout de fines) : de 0.15 à 0.30% de la quantité d'eau pour les agents cellulosiques, de 3 à5% pour les acryliques, de 2 à 3% pour les glycols, de l'ordre de 0.05% pour les polysaccharides solubles.

I.1.6 Application des BAP dans le monde

Les BAP sont utilisables bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiment ou de génie civil, et pour l'exécution des tunnels et de nombreux produits préfabriqués en béton, et dans les travaux d'assainissement et de réhabilitation. La plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP

(voiles, poteaux, piles, poutres, plancher, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, etc.). Les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en œuvre d'un béton classique est délicate

De plus pour les BAP actuellement est destinai à la réparation des ouvrages en BA grâce a ces bénéfices à l'état frais qui nous permit facilite la réalisation de réparation dans les coffrages très épaisses [23].

I.2 Le Béton de fibre

Les fibres sont les renforts qui fournissent la résistance au matériau composite. Une fibre est constituée de plusieurs filaments élémentaires dont les diamètres varient entre 5 μm et 25 μm suivant le type de fibres (métallique, verre, carbone, aramide, plastique…).

Les exigences structurelles et fonctionnelles souhaitables des fibres dans les matériaux composites sont :

- Un module d'élasticité élevé ;
- Une haute résistance et une bonne élongation à la rupture en traction ;
- Une bonne répartition des efforts entre les différentes fibres ;
- La stabilité des propriétés lors de la manipulation et la fabrication ;
- L'uniformité du diamètre des fibres et de la surface ;
- Une dureté élevée ;
- La durabilité et un coût acceptable.

Les fibres apportent au béton de nombreux avantages, notamment sur le comportement mécanique sous sollicitation de traction. Leur utilisation nécessite néanmoins la connaissance des mécanismes d'action ainsi que les précautions de mise en œuvre.

I.2.1 Rôles de 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 n'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 (Figure I.4)
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (Figure I.4)

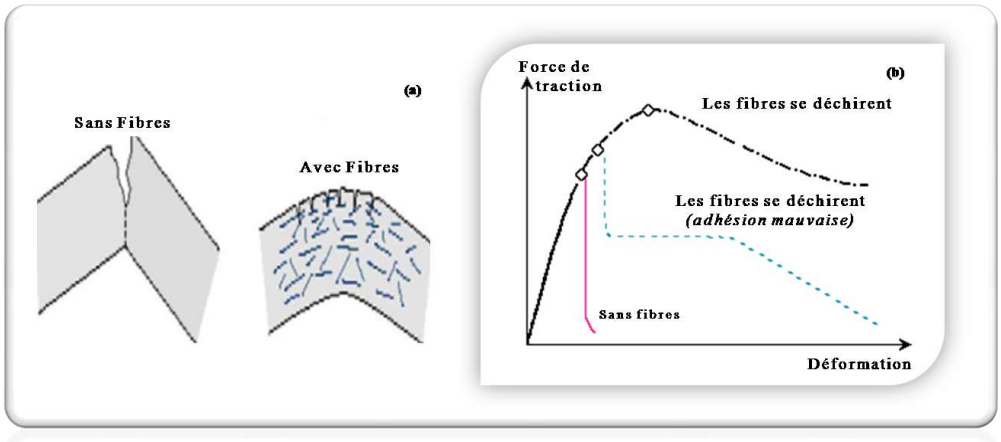


Figure I.4 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres [24].

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer la structure en s'opposant au développement des fissures et à leur propagation. Selon le type, le dosage et les éléments en béton dans lesquels elles sont insérées, les fibres permettent :

- l'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides Chang en la Structure du squelette granulaire,
- l'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration,

- la réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge,
- la réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur),
- l'augmentation de la résistance à la traction par flexion,
- l'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion.

I.2.2 Facteur influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture. Les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres sont illustrés dans la (Figure I.5). On peut donc aisément comprendre qu'il est extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable.

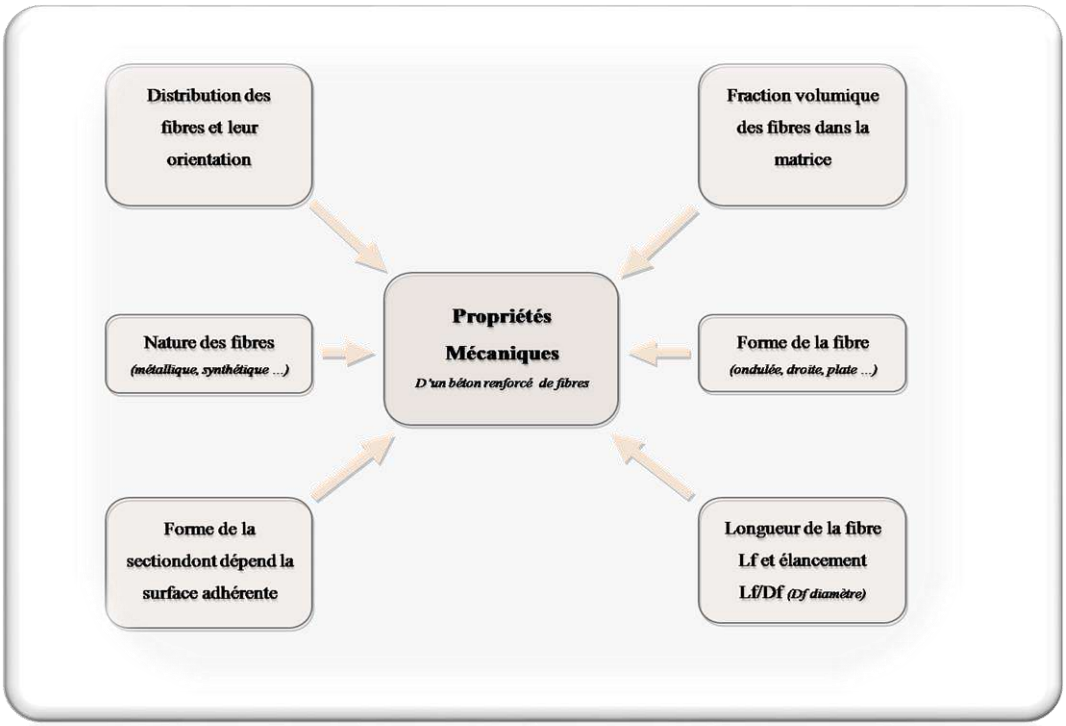


Figure I.5 : Différents Facteurs Influant Sur Le Comportement Mécanique

I.2.3 Différents types de fibres utilisées

I.2.3.1 Les fibres métalliques

Les fibres métalliques (**Figure I.6**) sont largement utilisées et leurs effets sur les propriétés rhéologiques et à l'état durci aussi bien que sur la durabilité ont fait l'objet de nombreuses études [25]. Les fibres d'acier sont sans doute les plus utilisées. Elles ont fait l'objet de plusieurs recherches.

A l'origine, les fibres rectilignes et de section circulaire (d'un type identique à celles servant à armer les pneumatiques) ont évolués vers les fibres d'acier en tôle cisaillée. Il existe de nombreuses variétés de fibres qui se différencient les uns des autres par :

- Leurs diamètres
- Leur section (ronde, carrée, rectangulaire ...)
- Leur longueur et leur mode d'élaboration
- Elles peuvent être rectilignes, ondulées ou présenter des élargissements aux extrémités, soit des coudes ou des crochets pour améliorer l'adhérence.

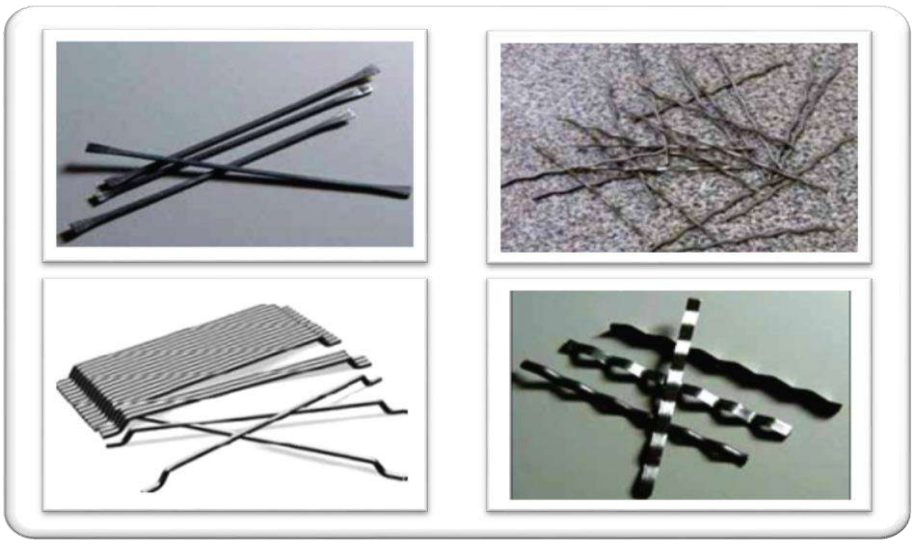


Figure I.6 : Quelques formes de fibres d'acier

Il n'a été souligné que les fibres d'acier :

- augmentent considérablement la résistance à la traction du matériau, sa ténacité ou encore sa capacité d'absorption d'énergie

- elles réduisent en même temps la fissuration malgré le surpoids lié à leur masse volumique élevée.

Comme il existe d'autres types de fibres métalliques mais ne sont pas largement utilisées. Citons par exemple ; les fibres d'inox, les fibres de fontes, …etc.

I.2.3.2 Les fibres de verre

Les fibres de verre (**Figure I.7**), par leurs qualités mécaniques et leur coût modéré, ont été les premières fibres artificielles utilisées dans les matériaux de construction. Cependant, les applications sont limitées en raison de leur faible résistance chimique aux alcalins.

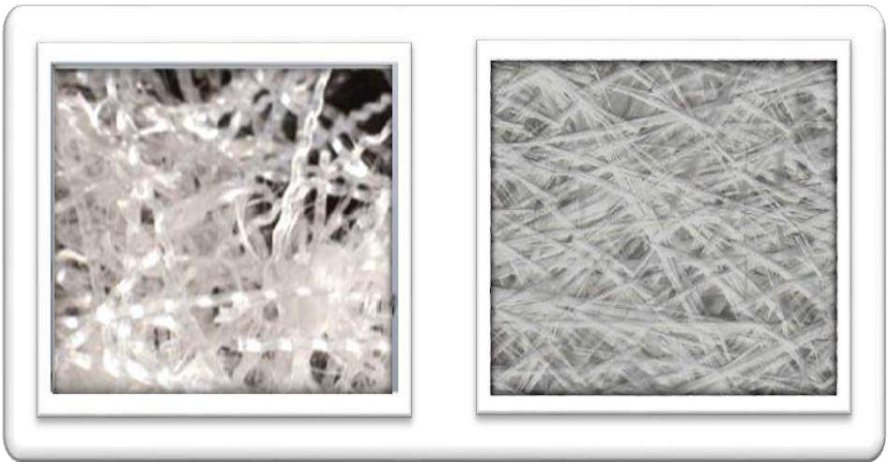


Figure I.7: Fibres de verres

- **Les fibres de carbone**

La plupart des fibres de carbone sont produites par la décomposition thermique du polyacrylonitrile (PAN). Le procédé de fabrication de ce type de fibre consiste à une oxydation à des températures de l'ordre 200-300°C, à différentes étapes de carbonisation (1000-1500°C et 1500-2000°C) et enfin à une graphitisation (2500-3000°C).

Les fibres (**Figure I.8**) de carbone sont caractérisées par :

- Haut module d'élasticité et haute résistance

- une rigidité spécifique (rapport rigidité/densité) élevée
- un faible coefficient d'expansion thermique (CET) longitudinal
- une faible sensibilité aux charges de fatigue
- une excellente résistance aux agents chimiques et à l'humidité
- Le module d'élasticité et la résistance des fibres de carbone sont stables lorsque la température augmente.



Figure I.8: Fibres de carbones

Cependant, les fibres de carbone ont une faible résistance à l'impact à cause de leur faible déformabilité et un coût élevé (10 à 30 fois plus que le verre-E).

Ce coût élevé provient du prix élevé des matières premières et de la complexité du processus de la carbonisation et de la graphitisation.

Les fibres de carbone peuvent être classées comme suit :

❖ Selon le type de précurseur :

- Fibres isotropiques "PITCH" caractérisées par un module élastique élevé.
- Fibres polyacrilonitrile "PAN" caractérisées par une résistance ultime et un coût très élevés.

❖ Selon les propriétés physiques et mécaniques :

- Module élastique élevé (HM).
- Haute résistance (HR).

I.2.3.3 Les fibres d'Aramide

Aramide est un terme générique pour un groupe de fibres organiques de faible densité et résistances spécifiques (rapport résistance en traction / densité) parmi les plus élevées parmi les fibres de renfort courantes.

Les fibres d'aramide (**Figure I.9**) sont caractérisées par :

- Une haute résistance ;
- une rigidité élevée ;
- une stabilité vis-à-vis des hautes températures.



Figure I.9: Fibres d'Aramide hachées et en files

La température d'utilisation typique pour les fibres d'aramide varie entre -200°C et +200°C. Trois types de fibres d'aramide sont commercialement disponibles portant les marques de fabricants telles que :

- Kevlar (Dupont, USA)
- Twaron (Akzo, Pays-Bas)

- Technora (Teijin, Japon)

Ces fibres sont résistantes à de nombreux produits chimiques, mais elles peuvent être dégradées par certains acides et alcalins.

I.2.3.4 Les fibres de polypropylène

Ces fibres obtenues par extrusion du polypropylène, se présentent en faisceaux ou sous forme de filament individuel. Lorsqu'elles sont utilisées sous forme de faisceaux, elles se séparent lors du malaxage. Elles se répartissent de façon multidirectionnelle dans le béton.

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

Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C).



Figure I.10: Fibres de polypropylène

I.2.3.5 Les fibres végétales

Les fibres végétales sont composées principalement de la cellulose qui est un polymère naturel. Ces fibres sont caractérisées par leurs propriétés mécaniques intéressantes ainsi que leur faible densité ce qui permet la fabrication de bétons à la fois légers et performants.

En outre, ces fibres ne souffrent pas les problèmes de corrosion contrairement aux fibres métalliques et elles résistent durablement aux attaques chimiques des alcalins contrairement aux fibres de verre.

L'utilisation de fibres naturelles (**Figure I.11**), et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages :

Premier avantage : Ces fibres sont largement disponibles à faible coût et leur utilisation en construction constitue de nouveaux débouchés pour les matières agricoles

Deuxième avantage : La valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO_2 et demandant peu d'énergie pour être produites.



Figure I.11: Fibres végétales

Dans les pays peu industrialisés, les fibres végétales constituent donc une alternative à faible coût économique et surtout écologique aux fibres synthétiques conventionnelles (fibres métalliques, minérales ou polymériques).

Les études relatives aux bétons ainsi renforcés avec ces fibres ont montré que lorsqu'elles sont introduites dans les compositions à des dosages optimums (en fonction de leurs formes et leur nature), elles réduisent la fissuration liée au retrait plastique à jeune âge tout en augmentent la résistance mécanique des matériaux.

Il est possible de combiner deux ou plusieurs types de fibres dans le béton afin d'avoir un maximum de synergie en terme de résistance à la flexion et au retrait. Ainsi, la combinaison de fibres métalliques avec des fibres en polypropylène, conduit à une augmentation très significative des performances en matière de ténacité, de résistance à la flexion ainsi qu'à une réduction de retrait.

I.2.3.6 Les fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs [26-28] ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

I.2.3.7 Les fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco (coco). Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre [29].Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

I.2.3.8 Les fibres animales

Pour les fibres animales, on peut trouver :

- fibres de poil ;
- fibres de laine ;
- fibres de soie

I.2.4 Propriétés mécaniques de béton de fibre

I.2.4.1 Résistance à la compression

Les résultats mis en évidence par différents chercheurs sur l'effet des fibres sur la résistance à la compression du béton renforce de fibres montrent quelques divergences.

Cependant ils sont d'accord pour dire que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression. Dans certains cas, on a une légère augmentation de la contrainte ultime, dans d'autres une légère diminution.

Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires à l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer a l'endommagement et donc limiter la charge maximale [30].

I.2.4.2 Résistance à la traction par flexion

L'augmentation de la résistance en flexion du béton de fibre est beaucoup plus importante, elle peut atteindre 200 % et plus. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de l'axe neutre durant la flexion. La flexion varie avec la géométrie de la fibre, son orientation et son adhérence à la matrice [30].

Avec les fibres de polypropylène, Dardare [31] a obtenu des augmentations de résistance en flexion beaucoup plus faible est même des diminutions lorsque le pourcentage dépassait 1%, il explique ces diminutions par des mauvaises homogénéités du béton, dues à, des valeurs E/C trop élevées. Ainsi, le pourcentage de 1 % en volume doit être un maximum à ne pas dépasser résistance en flexion de l'éprouvette non renforcée résistance en flexion de l'éprouvette renforcée.

I.2.4.3 Résistance au choc

Sous l'action de sollicitation dynamique, les structures en béton de fibres présentent souvent un très bon comportement, en augmentant les charges de rupture, en modifiant parfois les schémas de fissuration. Certains auteurs (Dardare et autre [31] vont jusqu'à comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.

I.2.4.4 Résistance à l'usure

La résistance à l'abrasion du béton de fibres n'est pas sensiblement augmentée d'autre auteurs affirment qu'après élimination de la laitance superficielle et mise à jour des fibres, la résistance est améliorée d'environ 15 % [32].

I.2.4.5 Résistance aux agents extérieurs

La résistance du béton renforcé de fibres (BRF) aux attaques du milieu ambiant, par exemple à l'action du gel, dépend de la qualité de la matrice et ne devrait pas être très différente de celle d'un béton ordinaire.

Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel, il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange [32].

I.2.4.6 Module de Young

Cette caractéristique mécanique est aussi importante que les précédentes car elle conditionne la rigidité des structures. En comparant un béton sans fibre à des bétons de fibres bruts, on note une légère augmentation du module avec la teneur en fibres qui peut s'expliquer à l'aide de la loi des mélanges [33].

Pour Zhang [34] ont trouvé qu'en général, le module est affecté principalement par les propriétés de la matrice du béton. Quant au béton de fibres optimisé, le sable induit une baisse de module par rapport au béton témoin.

Selon Rossi [35], la chute de la résistance et du module de Young des BRF s'explique par une quantité plus considérable de sable et de pâte de ciment que celle d'un béton ordinaire, mais aussi par une porosité plus élevée.

Bentalha [36], ont trouvé dans leurs recherches que le module expérimental du béton renforcé de fibres métalliques est légèrement supérieur au béton témoin et qu'il s'accroît avec la longueur des fibres.

I.2.4.7 Ténacité de la matrice

Les performances mécaniques des BRF s'évaluent d'une manière différente de celles des bétons conventionnels. Les notions de ténacité et de ductilité priment sur celles de résistance mécanique. Ainsi, il est important de pouvoir juger adéquatement des performances post fissuration des composites [37].

La fragilité est la caractéristique d'un matériau qui se casse brutalement lorsqu'il atteint sa résistance ultime. La ténacité correspond à la résistance du matériau à la

propagation des fissures [37]. La ténacité est définie selon ACI 544[38] comme suit: "La ténacité est une mesure de la capacité d'absorber l'énergie pendant la déformation.

Elle peut être estimée à partir de la surface sous la courbe contrainte-déformation ou la courbe charge déformation". Elle est également définie par NDT [2007] comme suit: "La ténacité est la capacité du matériau d'absorber l'énergie de se déformer plastiquement avant la fracture.

La ténacité est proportionnelle à la surface sous la courbe contrainte-déformation de l'origine au point de la brisure (breaking point)".

La ductilité est définie selon SPSCI [2007] comme suit : "La ductilité est la capacité de permettre de changer de forme sans fracture. Dans l'acier laminé plat, la ductilité est usuellement mesurée par la dureté ou les propriétés mécaniques dans un test de traction".

Ainsi, la rupture ductile correspond à la décohésion des granulats de la matrice, qui se fait de manière progressive. Par contre, la rupture fragile correspond à la rupture inter-granulaire, qui est plus brusque [37].

Dans le cas du chargement en flexion, la surface sous la courbe charge-déflexion est utilisée pour estimer la capacité d'absorption d'énergie ou la ductilité du béton [34]. La ténacité en flexion peut être évaluée à l'aide de la norme ASTM C 1018, à partir des courbes de charge-déflexion.

La résistance en flexion peut également être déterminée à partir de la lecture maximale de la charge dans ce test et à partir de l'ASTM C 78. D'après ASTM C 1018, les indices I5, I10 et I30 correspondent aux déflexions de 3 ; 5,5 et 15,5 fois de la déflexion correspondant à la première fissure se déterminent comme il est illustré sur la figure **I.12**.

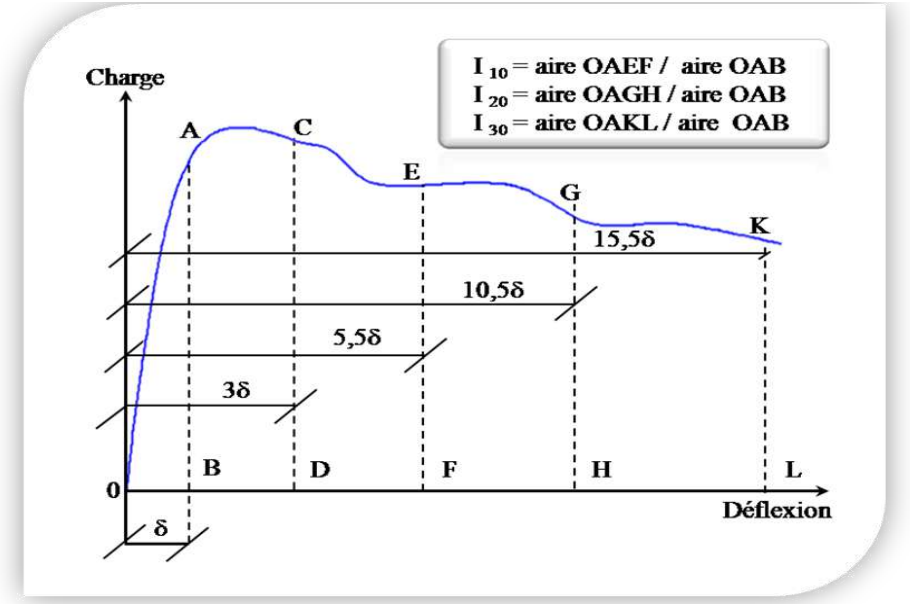


Figure I.12 : Indices de ténacité du diagramme Charge-déflexion en flexion

Comme il est montré sur la figure **I.13**, l'indice de ténacité I30 (des bétons de fibres de polypropylène) est influencé par le dosage en fibres, et le rapport E/C, sachant que les séries NF et G correspondent, respectivement à des rapports E/C de 0,40 et 0,50.

L'indice de ténacité dépend largement de la charge de la première fissuration. Les autres facteurs pouvant affectés la ténacité sont la longueur, le matériau et la géométrie des fibres, et les caractéristiques d'adhérence des fibres [38]

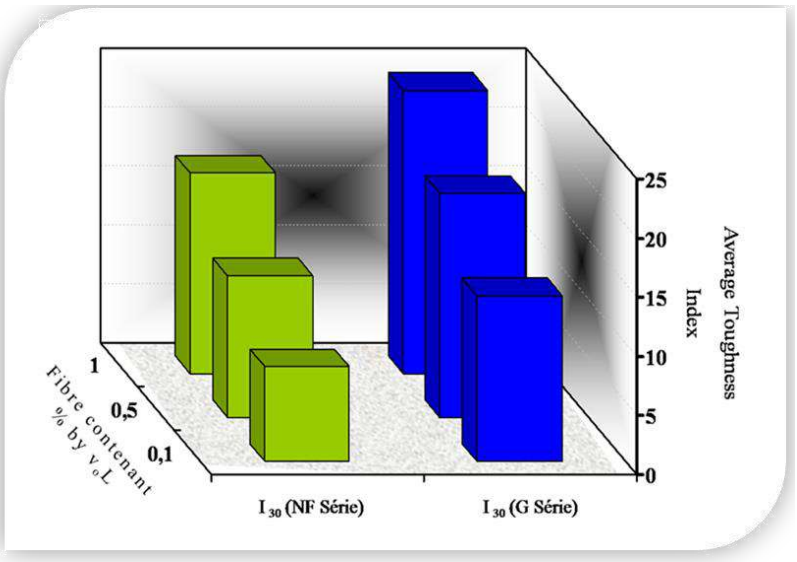


Figure I.13: Indices de ténacité I30 des bétons renforcés De fibres de polypropylène [38]

I.2.5 Bétons autoplaçant fibrés

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.

Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs sont montrés qu'il peut être une solution appropriée pour les applications sur poutres en I en béton précontraint, au niveau des zones fortement ferraillées afin de contrôler la fissuration [39].

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. D'après Groth P [40], 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. Pour bien déterminer l'effet des fibres, ces essais ont également été effectués avec un béton autoplaçant de référence (non fibré), appelé aussi « béton témoigne ».

I.2.5.1 Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais

Grunewald [25] a réalisé un programme aux années de (2001, 2003, 2004, 2005) dédié aux propriétés des BAP fibrés en fonction de la teneur en fibres, du type de fibres (métallique et polypropylène avec différentes géométries) et du rapport massique sable/granulat.

Pour la composition de référence, le rapport S/G de 40% était utilisé car considéré comme optimal pour la compacité du béton. Après les différents essais d'ouvrabilité réalisés

sur les différentes compositions des bétons à l'état frais, les conclusions ci-après ont été tirées.

I.2.5.2 Effet sur l'étalement

L'analyse de ces résultats montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente. Le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans la composition de référence. On remarque aussi sur la (Figure I.14.A) une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface spécifique, ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions.

En outre, pour certaines compositions voir (Figure I. 14.B) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. La (Figure I.14.C) illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu.

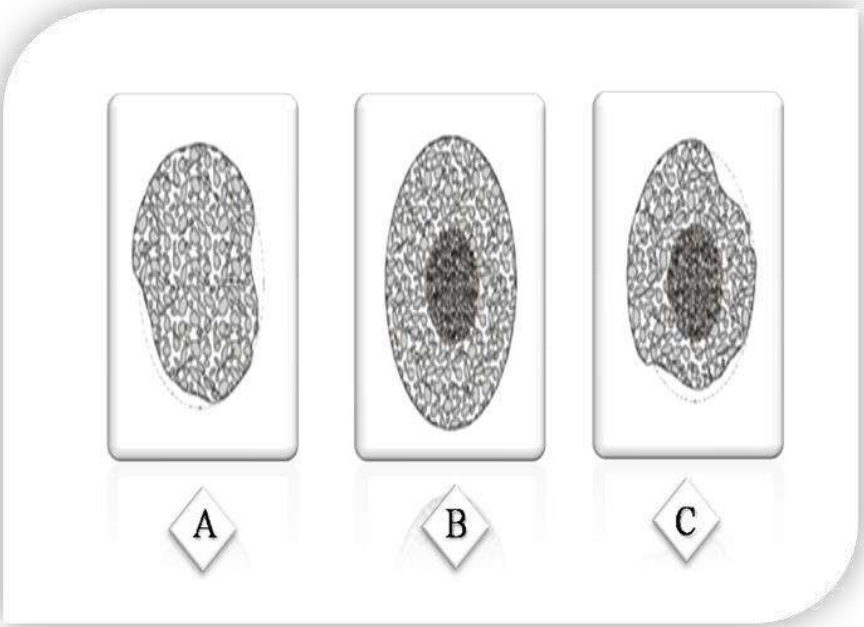


Figure I. 14: Effet des fibres sur l'étalement des BAP [89]

Sachant que l'élancement (Lf/Df) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, Grünewald et Walraven [25] se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme elle produit entre la teneur volumique en fibres Vf et l'élancement. Aucune différence n'a été observée entre l'étalement mesuré directement après malaxage et 1 heure

après malaxage. En revanche, une augmentation du facteur de fibre réduit sensiblement l'étalement.

I.2.5.3 Essai de V-Funnel

Les temps d'écoulement à travers l'entonnoir (V-Funnel) pour les différentes compositions directement après malaxage sont dans une gamme comprise entre 4,5s et 5,7s. On note une augmentation linéaire du temps d'écoulement en fonction du facteur de fibres.

Le comportement à l'écoulement des bétons évalué par l'intermédiaire de cet essai dépend essentiellement de la viscosité ainsi que de la taille du plus gros granulat par rapport aux dimensions de l'ouverture de l'entonnoir. Les temps de passage à travers l'entonnoir à t =1hsont nettement plus élevés qu'à t =0h.

I.2.5.4 Essai J-Ring

Le J-Ring est un essai d'étalement modifié par les japonais pour évaluer la sensibilité au blocage des bétons fibrés dans le milieu confiné notamment par les armatures. Les fibres affectent de manière significative la capacité de passage par rapport à la composition de référence sans renfort de fibres.

L'espacement exigé des barres pour le non blocage augmente avec le dosage en fibre. [41] ont réalisé une étude sur le comportement à l'état frais des bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques et ont conclu que l'écoulement est obstrué par les barres, ce qui crée une différence de niveau entre le béton restant à l'intérieur de l'anneau et celui passé à travers. L'élancement de la fibre, la teneur des granulats (fins ou gros) et les caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment affectent également ce comportement

I.2.5.5 Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique)

Grünewald et Walraven [25] ont constaté que lorsqu'on augmente le dosage en fibres, la porosité interne du squelette granulaire est plus importante et donc la viscosité plastique est plus élevée. C'est une conséquence du frottement dit « solide » qui favorise la résistance à l'écoulement jusqu'à une concentration de fibres métalliques de 1 %, la viscosité plastique accroît avec une pente très faible.

Au-delà de cette valeur, cette dernière devient nettement plus grande et l'écoulement du béton frais est quasi nul justifiant ainsi la consistance élevée du milieu. De plus, à taux de fibre donné, cette viscosité est plus importante lorsque les fibres sont longues.

I.2.5.6 Orientation et distribution des fibres

L'orientation et la distribution des fibres affectent les performances et les caractéristiques des BAP fibrés à l'état durci. Petersson [42] a réalisé une étude sur la distribution des fibres métalliques dans la boîte en L qui a consisté à réaliser des photographies aux rayons X des sections transversales du béton durci.

Les conclusions retenues sont que les fibres étaient relativement bien distribuées, bien qu'une légère ségrégation des fibres fût observée par rapport aux gros granulats.

Par ailleurs, il a été constaté que la majorité des fibres étaient orientées dans le sens de l'écoulement, cet effet était plus prononcé pour des fibres de plus grande longueur.

Groth et Nemegeer [43] a aussi conclu que l'écoulement oriente les fibres. Même si l'écoulement propre aux BAP confère aux fibres une orientation préférentielle, le même auteur est arrivé à la conclusion selon laquelle, aux dosages en fibres courants. L'effet de ce renfort est relativement le même pour un béton vibré ou autoplaçant du moment qu'ils ont la même classe de résistance et le même type et dosage en fibres. Cette conclusion a été tirée en se basant essentiellement sur les performances en flexion.

I.2.6 Utilisation des BAP fibres dans les structures

Nous allons présenter quelques exemples d'applications des BAP fibrés dans les éléments de structure.

I.2.6.1 Palplanches

A l'origine, les palplanches étaient réalisées en bois (maintenant en acier). Il s'agissait de pieux faits de planches qu'on enfonçait dans la terre pour former un encaissement dans l'eau.

Spanbeton ; un producteur hollandais d'éléments en béton préfabriqués propose aujourd'hui des palplanches en béton. Ces éléments sont précontraints et renforcés avec des

barres en acier. Comparés à ceux en acier, les éléments en béton sont plus durables et peuvent être employés comme partie portante de la charge d'une structure, (Figure I. 15).



Figure I.15 : Deux types de palplanche

I.2.6.2 Voussoirs

Les voussoirs subissent souvent des dommages au cours de la construction. Les fibres, en réduisant la fragilité du matériau, peuvent éviter l'endommagement du béton d'enrobage qui est provoqué par le placement imprécis des voussoirs. Pendant leur durée de service, ils peuvent être accidentellement soumis à une augmentation de la température provoquée par un feu (Figure I.16).



Figure I.16 : Exemple d'un voussoir

I.2.7 Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés

Les propriétés mécaniques permettant de caractériser un BAP fibré à l'état durci sont les résistances à la compression, à la traction, et à la flexion. Les fibres influent directement sur l'ouverture de la fissure et donc sur la rigidité et la ductilité après fissuration.

I.2.7.1 Comportement à la flexion

D'après Groth [40] une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité et du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de fibres.

Alcantara [44], Granju et al [45] ont étudié le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibraflex (FM) et synthétiques de type polypropylène (FS). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m^3 pour FM, 9 kg/m^3 pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m^3 pour un fibrage mixte.

Les résultats obtenus sont détaillés ci-après :

- Les fibres métalliques « FM » qui sont réputées très adhérentes à la matrice ont conduit à une augmentation de la capacité portante néanmoins la résistance résiduelle chute rapidement pour des flèches imposées plus élevées.

- Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges.

- L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.

- Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques. Les (figures I.17) illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche.

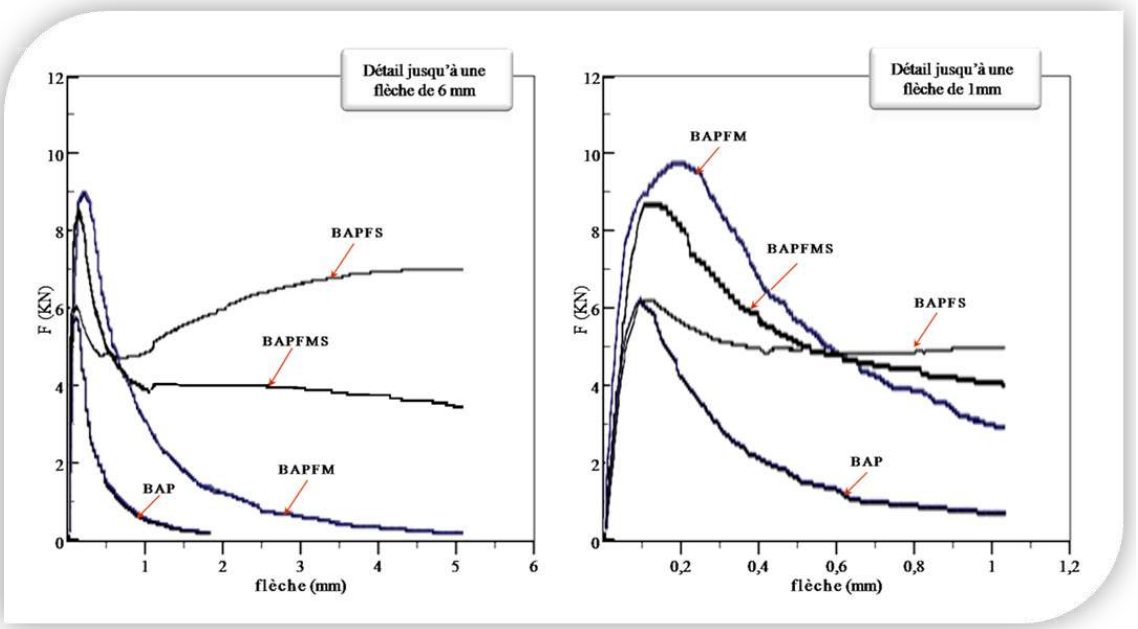


Figure I.17 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions [44].

Kawamata et al [46] ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorait le comportement à la flexion des bétons.

I.2.7.2 Comportement à la compression et à la traction

Dans la même étude réalisée par Alcantara [44], l'auteur a conclu que la résistance à la compression n'était pas significativement sensible à l'adjonction de fibres dans un BAP. La résistance au jeune âge est quelque peu faible, probablement due à un effet retard de l'hydratation des mélanges et/ou des fillers, lié aux adjuvants. Néanmoins, à long terme, la résistance correspond à celle d'un béton ordinaire avec un même rapport E/C.

Les résistances à la compression visées à 28 jours ont été atteintes pour tous les types de bétons, avec une très légère diminution des rapports Rcomp/Rtrac entre 7 et 28 jours. Cette réduction modérée est probablement due à l'amélioration de l'adhérence des fibres avec le béton dans le temps, mécanisme dont dépend fortement la résistance à la traction.

À partir d'essais de traction directe effectués par Pons et al [47], Les auteurs en ont tiré les principales conclusions ci-après :

- Les fibres métalliques réputées très adhérentes agissent dès les plus faibles ouvertures de fissures ; elles confèrent au matériau une résistance apparente en traction améliorée en agissant dès la microfissuration

- Les fibres synthétiques, glissantes, seront mises en tension plus progressivement et vont ponter les macrofissures en faveur d'une résistance résiduelle à la traction maintenue les deux types de fibres ont des effets complémentaires en agissant sur des niveaux d'ouvertures de fissure différents.

I.3 Les bétons à base des ajouts cimentaire [48]

Les matériaux d'additions ou particulièrement les additions minérales (additions au ciment ou matériaux cimentaires) sont des matières finement broyées de sorte que leur finesse est similaire ou supérieure à celle du ciment Portland [48]. Les pâtes, les mortiers et les bétons contenant des matériaux d'additions possèdent de meilleures propriétés telles que la faible chaleur d'hydratation, la faible perméabilité, la faible consommation de clinker et le faible impact environnemental liés à la réduction des émissions de CO_2 [49-51]. Ils contribuent via leurs effets physique et physico-chimique à améliorer les performances des mortiers et bétons aussi bien à l'état frais qu'à l'état durci.

L'emploi des additions au ciment à côté des superplastifiants connaît ces dernières années un grand essor de la part des industries de ciment et des entreprises fabricant du béton prêt à l'emploi. A titre d'exemple, l'ajout de fumée de silice et de l'adjuvant de type superplastifiant permet de formuler un BHP avec un faible rapport E/C. Le développement du BAP a rendu possible l'introduction des matériaux d'additions dans sa composition avec un volume élevé [52].

I.3.1 Types, origine et caractéristiques des matériaux d'additions

Les matériaux d'additions ou additions minérales sont des poudres fines ou très fines de taille inférieure à 80 μm ou 125 μm [53]. Selon leur cinétique d'hydratation ou réactivité chimique, elles se divisent en deux familles :

- les additions de type I : additions inertes ou quasi-inertes ;
- les additions de type II : additions à caractère hydraulique latent ou pouzzolanique.

I.3.1.1 Fillers calcaires (FC)

Les fillers calcaires (poudre de calcaire ou fines calcaires) sont des poudres fines résultant du concassage des pierres calcaires pour l'obtention des granulats de différentes tailles ou classes granulaires. Cette poudre fine représente approximativement 20% de la matière première. Chimiquement, les fines calcaires sont composées essentiellement de $CaCO_3$ avec plus de 75%. L'utilisation de fillers calcaires dans les mortiers et bétons a prouvé son utilité.

Dehui et al. [54] ont montré que l'incorporation des FC par remplacement partiel au granulat fin contribue à améliorer les propriétés du béton. En outre, les FC permettent par leur effet physique de disperser les particules du ciment et de produire un béton de microstructure compacte par remplissage des pores, ce qui contribue à une amélioration de l'ouvrabilité, de la résistance et de la durabilité [55, 56].

I.3.1.2 Poudre de marbre (PM)

La poudre de marbre (PM) est un déchet résultant des opérations de sciage, façonnage et lustration de la pierre de marbre [57]. Cette pierre naturelle d'origine calcaire met des années pour sa formation. Elle est caractérisée par sa beauté, sa grande variété et son aspect lisse et brillant qui font d'elle l'une des roches les plus nobles que puisse exister. Chaque marbre a son originalité de par sa composition et de par de ses couleurs. Le marbre est couramment utilisé pour fabriquer des objets esthétiques aussi bien pour les maisons (revêtements muraux, des dallages, éléments sanitaires), les jardins publics que pour l'aménagement des voies [48].

Lorsque la pierre de marbre est transportée de la carrière de marbrier vers l'usine, elle est découpée en de petites pierres dépendant des dimensions recherchées. Ces petites pierres sont ensuite façonnées et lustrées de telle manière à obtenir la taille et l'aspect souhaités. Pendant ces opérations une quantité importante de marbre qui représente presque 20% à 30% de la matière première est perdue et souvent rejetée dans la nature (Figure I.18) [58].



Figure I.18 : Déchets de marbre à l'état poudreux [58].

Plusieurs travaux traitant l'effet de l'incorporation de la poudre de marbre sur les bétons ont été publiés ces dernières années. Sadek et al. [59] ont rapporté que l'utilisation des déchets générés par l'industrie de marbrerie comme addition minérale pour la production des BAP est très avantageux de point de vue environnemental et économique. L'exploitation de la poudre de marbre contribue au développement durable via la réduction de la consommation des ressources naturelles [60]. Topçu et al. [61] ont étudié l'effet de la PM sur les propriétés des BAP.

I.3.1.3 Pouzzolane naturelle (PN)

La pouzzolane naturelle (PN) est issue d'une roche volcanique siliceuse (Figure I.19). Elle est utilisée pour la fertilisation des sols, la fabrication des bouts inflammables des allumettes, la fabrication de matériaux de construction, l'épuration et la filtration des eaux usées ainsi que la fabrication de certains produits de beauté. Ce produit naturel est formé d'éléments vitreux, et composés essentiellement de silice, d'alumine et d'oxyde de fer. Lorsque la PN est broyée à une finesse supérieure à celle du ciment Portland, elle aura une aptitude à réagir avec la chaux en présence d'eau, et à former des composés possédant des propriétés liantes (C-S-H II). Selon la norme ASTM C618, les additions minérales de classe N telle que la PN doivent avoir une teneur en SiO_2+Al_2O_3+Fe_2O_3 supérieure à 70% [62]. Une étude antérieure a été conduite par Senhadji et al. [63] sur l'effet de la PN, la fumée de silice et les fillers calcaires sur la résistance du mortier en deux milieux différents standard et acidique, a révélé de l'effet bénéfique de l'ajout de PN dans l'amélioration de la résistance à long terme en milieu standard et la résistance à l'acide sulfurique. Cette

amélioration est due au raffinement de la microstructure de la matrice cimentaire en raison de la transformation de C-H à C-S-H II et C-A-S-H suite à la réaction pouzzolanique.



Figure I.19 : Pouzzolane naturelle sous forme de granulats.

En Algérie, ce matériau est disponible en abondance dans la région de l'Ouest exactement à Beni-Saf. Elle est commercialisée principalement auprès des cimenteries qui l'utilisent après l'avoir finement broyée comme addition active dans la fabrication des ciments composés. Krachaï et al. [64] ont étudié l'influence de la PN de béni-Saf sur les performances mécaniques des BAP. Ils ont trouvé que l'incorporation de la PN avec 15% engendre une importante augmentation des résistances mécaniques après 28 jours.

I.3.1.4 Fumée de silice (FS)

La fumée de silice est un sous-produit provenant de l'industrie de silicium métal et de ses alliages. La FS est une matière extrêmement fine avec plus de 95% des particules inférieures à 1 μm. Les particules de FS sont de frome sphérique et sont 100 fois plus petites que celles du ciment Portland (Figure I.20). La FS est composé d'une forte teneur en silice amorphe. Sa surface spécifique varie de 180000-220000 g/cm2.



Figure I.20 : Déchets de marbre à l'état poudreux [58].

La FS est une solution efficace dans l'objectif de réduire la sorptivité de l'eau et la pénétration des ions de chlorures [65]. Cependant, le retrait de séchage se trouve augmenter avec l'incorporation de la FS (Figure I.21). L'utilisation combinée de la FS et d'autres additions minérales est une solution efficace pour atténuer le risque de retrait. La co-addition de metakaolin et de la FS contribue à améliorer l'ouvrabilité en atténuant l'effet négatif associé à l'emploi de la FS seule [66]. Par ailleurs, des bétons de haute performance ont été produits en sélectionnant un liant ternaire composé du ciment ordinaire, de MK et de la FS.

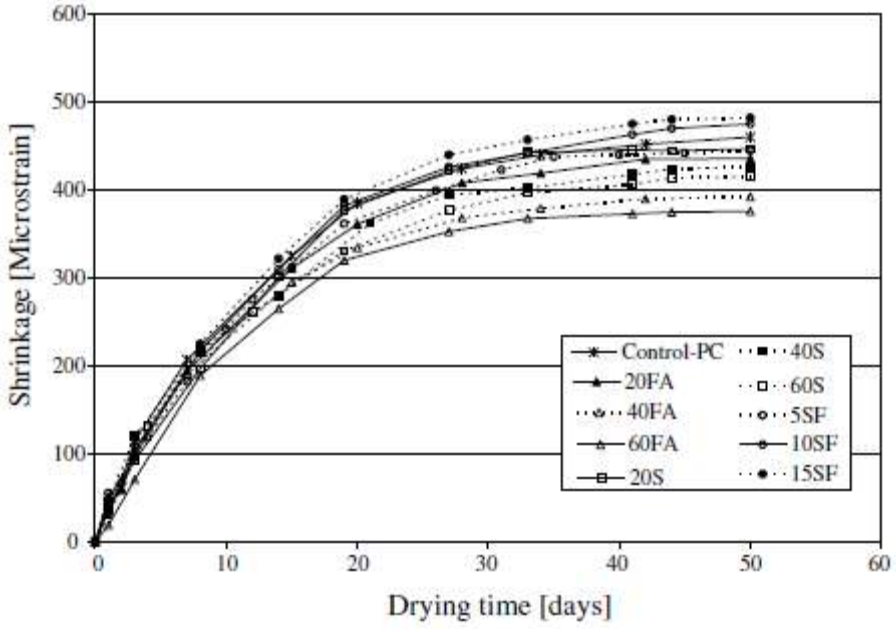


Figure I.21. Influence des matériaux cimentaires sur le retrait de séchage du béton autoplaçant [65].

Le métakaolin est une matière pouzzolanique produit à partir d'une argile blanche appelé le kaolin (Figure 2.22). Ce dernier est extrait depuis la mine, ensuite il subit un traitement pour le rendre pur. Le kaolin traité est utilisé comme matière première dans les industries de la céramique sanitaire, des carreaux mural et de sol, de la vaisselle, des réfractaires, des matériaux ignifuges, du caoutchouc, des peintures, des papiers et colles [67]. Le kaolin est aussi utilisé dans le domaine de la médicine et plus précisément la médicine dentaire comme pâte dentifrice. Il est considéré comme une argile très fine dont la

taille de ses particules peut varier entre 0,2 et 15 μm, alors que sa surface spécifique est de l'ordre de 10000 à 29000 cm^2/g [68].

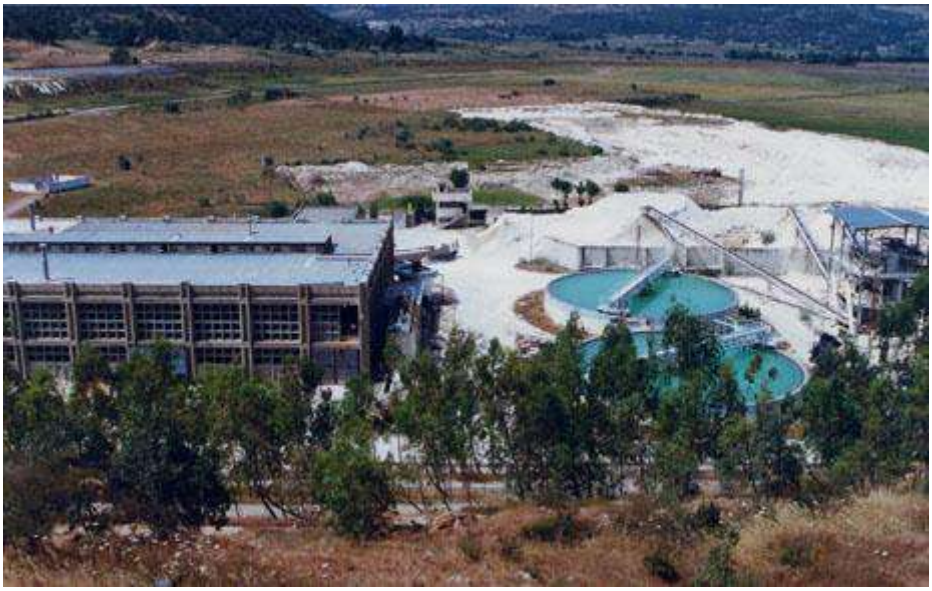


Figure I.22. Gisement du Kaolin en Algérie.

L'incorporation du MK dans la composition des BAP leur procure une meilleure résistance à la ségrégation, et ce pour différents rapports E/L et sans l'utilisation de l'agent de viscosité [69]. En effet, la substitution de 5% à 10% du ciment par du MK peut diminuer le ressuage du béton. De point de vue de durabilité, un taux de substitution allant à 20% permet d'améliorer la perméabilité des BAP [70]. La substitution de 15% du ciment par du MK dans le béton semble le plus efficace, autant pour la résistance que pour la durabilité. Hassan et al. [71] ont étudié l'influence du MK sur la rhéologie et la résistance à la compression des BAP. Ces auteurs ont rapporté qu'à 25% de teneur en MK, ce dernier engendre une augmentation de la demande en SP, du temps d'écoulement T50, de la viscosité plastique, du seuil de cisaillement et de la résistance à la compression à 28 jours respectivement de 27%, 180%, 240%, 320% et 22%.

I.3.1.5 Laitier de hauts fourneaux (LHF)

Le laitier de hauts fourneaux est un sous-produit de la production de l'acier dans les hauts fourneaux des usines sidérurgiques. Ce matériau est formé essentiellement de silicates et d'aluminosilicates de calcium et d'autres substances. Il possède une composition chimique relativement similaire au ciment Portland. Le laitier de hauts fourneaux est le

matériau cimentaire le plus utilisé en France avec les fillers calcaires pour la production des ciments composés [72].

Selon la norme Européen, le LHF est utilisé pour la fabrication du Ciment de Haut Fourneau (CEM III ou CHF selon la notation française) dont sa teneur en LHF peut varier entre 36% jusqu'à 95%. La production mondiale du laitier est estimé à 250 million tonnes par an dont environ 90 million tonnes (36%) est utilisé pour la production des ciments et bétons [73]. En Algérie, le LHF est actuellement utilisé pour la production des ciments résistants aux sulfates avec le ciment Portland artificiel à faible teneur en C3A.

Les résultats des recherches sur l'incorporation du LHF dans les ciments et les bétons sont positives autant sur le plan technique, économique qu'environnemental, ce qui encourage de plus en plus les industries de ciment à l'utiliser avec de grandes quantités. En effet, l'utilisation du laitier permet (i) d'améliorer l'ouvrabilité et d'augmenter la pompabilité du béton, (ii) diminuer la chaleur d'hydratation, (iii) augmenter la résistance à long terme, (iv) réduire la perméabilité, (v) conférer au béton une résistance élevée à la pénétration des ions chlorures, (vi) réduire les émissions de dioxydes de carbone liée à la production du clinker.

Uysal et Sumer [49] ont indiqué qu'il est possible de réduire les dégradations dues aux attaques de sulfate de magnésium par environ 33% en remplaçant 40% de ciment par du LHF dans la composition de BAP.

Boukendakdji et al. [73]ont rapporté que la réactivité du laitier Algerian est trop faible en comparaison avec la fumée de silice. Nous rappelons que cette dernière dépend principalement de la finesse du laitier, elle s'accélère avec l'augmentation de la finesse, et d'autres paramètres tels que la matière première, la composition chimique (rapport CaO/SiO2), la composition minéralogique et le type d'activation choisi.

I.3.1.6 Poudre de brique (PB)

La poudre de brique est une poudre fine obtenue suite au broyage de déchets de brique ou de l'argile rouge calcinée. Les déchets de briques sont générés par l'industrie des produits rouges ou obtenus suite aux opérations de réalisation ou de démolition des constructions. Leur quantité est en croissance à cause de la grande consommation de brique

et au nombre élevé de briqueteries qui rejettent ce que représente 10 à 15 % de leurs productions (briques non conformes, déformées et cassées) [74].

Certains matériaux argileux peuvent développer une activité pouzzolanique lorsqu'ils sont traités thermiquement et finement broyés. Par exemple, le kaolin se transforme en metakaolin et la bentonite se transforme en une poudre réactive (bentonite calcinée). Comme la brique est fabriquée sous une température de 1000 à 1100 °C, et après l'avoir broyé à une finesse supérieure ou similaire au ciment Portland, elle peut développer une activité pouzzolaniquen [75]. Karaman et al. [76] proposent des températures entre 700 et 1100 puisqu'elle permet non seulement d'augmenter la résistance de la brique (par environ 253%), mais aussi de diminuer son absorption d'eau par approximativement 50%

Il a été rapporté que l'incorporation de la PB comme matériau cimentaire offre des performances similaires aux autres matériaux pouzzolaniques tels que les cendres volantes [77]. En effet, des mortiers confectionnés avec de la PB ont montré une microstucture plus dense par rapport au mortier sans addition, ce qui est expliqué par l'effet combiné de la réaction pouzzolanique qui conduit à la formation des C-S-H II, et l'effet de remplissage [77, 78]. Ceci conduit au remplissage des pores et micropores menant ainsi à une matrice compacte et étanche.

Ces résultats sont d'importance du moment qu'ils favorisent la réutilisation des déchets de brique issus de l'industrie des produits rouges, de la réalisation et de la démolition des constructions, comme matériau cimentaire substituant partiellement le ciment Portland. Nous pouvons alors conclure que l'utilisation de la PB comme matériau pouzzolanique est tout à fait faisable aussi bien sur le plan technique, économique qu'environnemental.

I.3.1.7 Poudre de verre (PV)

Une quantité importante de déchets de verre est annuellement jetée par les usines de production des éléments en verre (panneaux, miroirs, tubes et bouteilles), les ateliers de verrerie et les habitants. Ces déchets posent des problèmes multiples à savoir l'aspect dangereux lié à leur collectage par les agents de propreté, et la détérioration de l'environnement liée à leur dépôt. Si ces déchets sont traités et ensuite broyés à une poudre fine, il est possible d'envisager leur utilisation comme un matériau cimentaire pour remplacer partiellement le ciment Portland. La poudre de verre (PV) est principalement

composée de silice amorphe avec 70% et de 30% de l'oxyde de sodium (Na2O), de l'oxyde de calcium (CaO), et d'autres oxydes en faible proportion [79].

L'utilisation de la PV comme matériau d'addition dans les ciments et bétons est encourageant. Rodier et Savastano [80] ont prouvé que l'activité pouzzolanique de la PV augmente avec son broyage, et pour avoir une meilleure activité, la taille des particules de PV doit être inférieure à 40 μm.

I.3.1.8 Poudre de céramique (PC)

La céramique est un matériau constitué d'argile et des aluminosilicates provenant des feldspaths. Le mélange de ces matériaux et son traitement à haute température permet de fabriquer des pièces solides, réfractaires et durables souvent utilisée dans les maisons et les bâtiments comme éléments d'ornements et appareils sanitaires. Senthamarai et Manoharan [81] ont rapporté que la production journalière de céramique génère environ 30% de déchets dont leur non utilisation pose un gros problème environnemental lié à leur dépôt.

Plusieurs travaux de recherches ont été menés afin d'étudier la possibilité d'utilisation de déchets de céramique comme granulats pour remplacer les granulats naturels ou comme filler pour substituer partiellement le ciment [82, 83]. L'utilisation de la PC dans les mortiers et les bétons avec une teneur croissante conduit à des résistances à la compression acceptables avec un pourcentage optimal de 50%. Eldieb and Kanaan [84]ont montré que l'addition de la PC avec un pourcentage de 10% confère au béton une bonne résistance à la compression, tandis qu'un pourcentage rangeant entre 10% et 20% permet d'améliorer le maintien d'ouvrabilité. De point de vue de durabilité, un pourcentage de 40% conduit d'une part à diminuer la pénétration des ions de chlorures et la perméabilité, et d'autres part à augmenter la résistivité électrique d'où une meilleure protection contre le risque de corrosion.

L'incorporation de la PC comme matériau filler dans la composition de BAP permet d'améliorer ses propriétés à l'état frais. Cependant, les propriétés à l'état durci telles que la résistance et l'adhérence BAP-acier se trouve négativement affecter surtout avec l'augmentation de la quantité de PC [83]. Des bétons de haute performance ont été fabriqués avec succès en utilisant la PC (finesse de 5550 cm2/g) avec un taux variant entre 20% et 40% [85].

Lasseuguette et al. [86] ont mené une étude expérimentale sur deux types de poudre de céramique blanche et rouge. Ils ont trouvé que la PC de couleur blanche est plus réactive, ce qui est attribué à la différence observée aux niveaux des compositions chimique et minéralogique.

I.3.1.9 Utilisation des additions minérales dans les cimenteries Algériennes [48]

Le secteur cimentier en Algérie est en progrès continu et accéléré ces dernières années. Avant dix ans, l'Algérie disposait de 13 cimenteries alors qu'aujourd'hui l'industrie du ciment compte 25 cimenteries entre publiques, privées et mixtes, dont 19 sont opérationnelles, 6 en cours de construction ou en phase d'étude (Figure I.23).

Les cimenteries opérationnelles produisent différents types de ciments (CEM I 42.5 et 52.5, CEM II 42.5, CEM III 42.5, CEM IV 42.5, CEM V 42.5, CRS et ciment blanc). Le tableau I.2 montre que les ajouts les plus utilisés dans les cimenteries Algériennes sont le calcaire, la pouzzolane naturelle et le laitier de hauts fourneaux. Ces matériaux cimentaires sont en général incorporés en mélange binaire avec un pourcentage ne dépassant pas 35%.

Néanmoins, pour augmenter la production du ciment, une solution efficace consiste à utiliser d'autres matériaux d'additions surtout les fines issues de broyage des déchets industriels ou agricoles qui sont peu coûteux et disponibles, et d'aller à des pourcentages supérieurs à 50 % pour abaisser la consommation excessive des ressources naturelles (calcaire et argile) et pour aussi produire des éco-ciments (ciments à faible impact environnement) à coût réduit.

Dans notre pays, plusieurs recherches ont été menées sur les ciments et les nouveaux ajouts minéraux tels que la poudre de marbre, le metakaolin, la bentonite calcinée, la poudre de brique, et les résultats obtenus ont montré la faisabilité de leur incorporation en mélange binaire, ternaire voir quaternaire.

Notons qu'il est possible d'incorporer les additions minérales au sein de la cimenterie dans le cru du ciment pour corriger la composition du cru (ex. : utilisation des cendres volantes comme source d'alumine) ou par mélange avec le clinker (additions au ciment) ou de les ajouter au moment de malaxage, c.-à-d. dans le malaxeur pour le cas d'une centrale à béton (additions au béton) en remplaçant une partie du ciment ordinaire.

Tableau I.2. Données sur les cimenteries exerçant en Algérie [48]

Cimenteries	Capacité de production (MT/an)	Additions minérales utilisées
Aïn El Kebira à Sétif	3	Calcaire, Laitier, pouzzolane naturelle et tuf
Oued Sly à Chlef	4	Calcaire
Ain Touta à Batna	1	Calcaire,pouzzolane naturelle
Hamma Bouziane à Constantine	1	6 à 20% de pouzzolane naturelle
Tébessa	0,45	15à 20% de calcaire, laitier, pouzzolane naturelle
Rais Hamidou à Alger 0,45 Poussière	0,45	Poussière
Hassasna à Saida	0,5	15% de pouzzolane naturelle ou de calcaire
Béni-Saf à Ain Temouchent	3,2	6 à 20 % de pouzzolane naturelle
Hadjar soud à Skikda	0,95	6 à 20% de laitier
Meftah à Blida	1,2	Tuf
Zahana à Mascara	1,5	Pouzzolane naturelle
Sour El Ghozlane à Bouira	1	Calcaire et tuf
Biskra	5	20 à 35% de pouzzolane naturelle ou de calcaire
El Beidha à Laghouat	2	Calcaire et pouzzolane naturelle

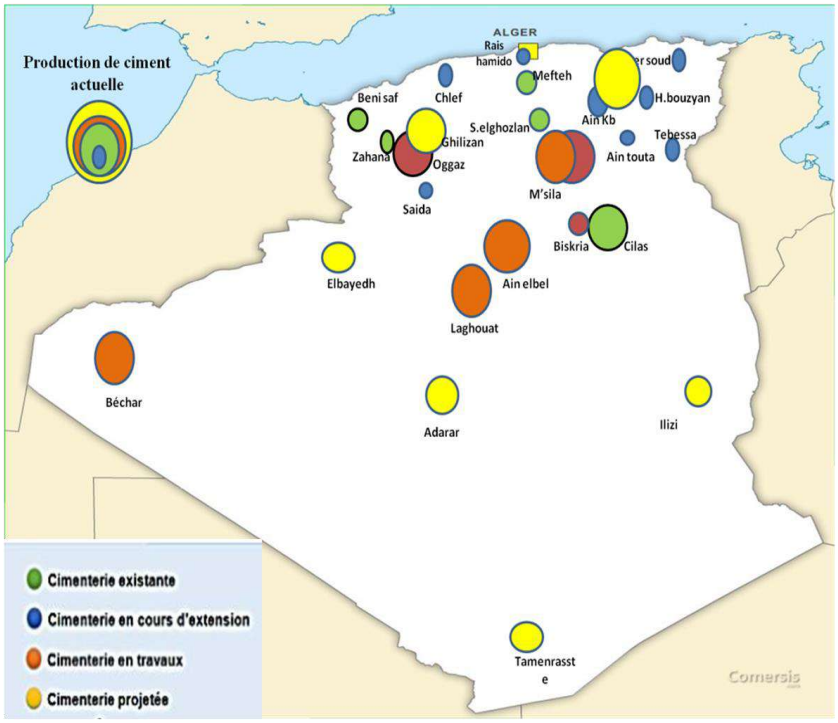


Figure I.23. Production notionnel de ciment en Algérie [14, 48]

I.4 Conclusion

D'après cette partie de recherche bibliographique, l'essentiel est résumé sur la formulation du béton autoplaçant, ces constituants ainsi que l'importance de son utilisation. La formulation des bétons de autoplaçant relève de l'optimisation de volume de pate et le dosage en SP. En effet, l'avantage du béton de autoplaçant c'est qu'il est un matériau destinée aux milieux confiné sans aucune vibration ou énergie externe, même dans des espaces étroits avec un renforcement encombré. Le résultat final est une qualité de béton sans ségrégation et ressuage. Les inconvénients associés aux BAP sont liés à son coût, car des grands volumes de ciment Portland et d'adjuvants chimiques sont nécessaires pour assurer une meilleure maniabilité.

Les bétons de fibre possèdent plusieurs avantages tels qu'une bonne résistance à la fissuration et à la traction, ainsi qu'une bonne ductilité.Il existe plusieurs loi qui modélisent le comportement de béton de fibre d'acier pour différent types de sollicitation traction, compression en flexion

L'utilisation des additions minérales est très bénéfique tant au niveau technologique, environnemental, qu'économique. Des bétons ayant de propriétés

particulières peuvent être actuellement fabriqués en incorporant des matières fines ou ultrafines. La réduction de la quantité de gaz é effet de serre est l'une de préoccupation majeure des fabricants du ciment. En effet, le fait de substituer une part de ciment par des poudres fines issues de broyages des déchets industriels, cela permet de réduire la quantité du clinker produit ainsi que l'énergie consommée pour sa production.

Dans cette étude, on s'intéresse à étudier de l'introduction de fibre plastique sur les propriétés des bétons autoplaçant avec défirent type de ciment excitant sur le marché algérienne (CEMI, CEMII, CEMIII….), puis on va comparer nos résultats avec celui des autres recherches.

CHAPITRE II:

Matériaux et Essais

Chapitre II : Matériaux et essais

II.1 Introduction

Dans ce chapitre on présente en première partie les matériaux utilisés pour la confection des BAP étudies avec leurs caractéristiques. On s'intéressera par la suite la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons. Dans une seconde partie, on exposera les différentes procédures expérimentales de fabrication, aux séquences de malaxage, de mise en place et de la conservation des différentes éprouvettes. Pour finir, on présentera les essais réalisés en laboratoire que se soit à l'état frais et à l'état durci. Pour répondre aux différentes questions de cette étude, trois familles de béton ont été réalisés. La nomenclature choisis est représentée dans le tableau suivant (Tableau II.1) :

Tableau II.1 : Différents compositions utilisées dans la recherche.

Notation	Désignation
BAPT	BAP Témoin sans fibres.
BAPF	BAP à base de fibre plastique avec pourcentages (0.3et 0.5%).
BAPFC	BAP fibré à base différents type de ciment (ciment I, ciment II/A, ciment II/B, ciment III).

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

II.2.1 Ciment

Notre travail consiste à étudier l'effet de différents types de ciment excitent dans le marché Algérien sur les propriétés des BAPF. Pour ce la trois type de ciment on été utilisés comme objectif comme suit :

1. Ciment Portland composé (CPJ-CEM II/A 42.5N) de la cimenterie Lafarge (M'sila) ce type pour les BAP témoin ;
2. Ciment Portland composé (CEM II 42.5 N) de la cimenterie Sour El Ghozlane (Bouira) ;

3. Ciment Portland composé (CEM II 42.5 N) de la cimenterie de Beni-Saf (Ain temouchent) ;

Les propriétés chimique et physique des ciments utilisées sont présentées dans le tableau II.2

Tableau II.2 : Propriétés chimique et physique des ciments utilisées.

Type de ciment / Caractérisation	CEM II/A de Lafarj	CEM II/A de Sour El Ghozlane	CEM II/A de Beni-Saf
Ajout utilisées	Calcaire	Laitier	Pozzolane
Addition en %	80-94 % de clinker 6 – 20 % de calcaire	80-94 % de clinker 6 – 20 % de laitier	80-94 % de clinker 6 – 20 % de pouzzolane
Masse volumique absolue	3100 kg/m^3	3080 kg/m^3	3120 kg/m^3
Consistance normale	E/C= 0.28	E/C= 0.28.5	E/C= 0.29
Temps de prise	60min	60min	60 min
Surface spécifique Blaine	SSB=3700 cm^2/g	SSB=3500cm^2/g	SSB=3650 cm^2/g
Classe de résistance	42.5	42.5	42.5
Type de prise	Normal	Normal	Normal

II.2.2 Sable :

Pour cette étude Le sable utilisé est un sable de dune provient de la région de Oued-Souf situé à 500 Km au sud de l'Algérie. La courbe de l'analyse granulométrique et les caractéristiques physiques de sable utilisée sont donnée dans la figure II.1 et tableau II.3 respectivement:

Tableau II.3 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisé.

Caractéristiques	Type de sable	Norme
Provenance	Oued-Souf	/
Classe granulaire	0/5	/
Module de finesse	2.36	NF EN 933-1 [87]
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.65	NF EN 1097-6 [88]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.58	NF EN 1097-6 [88]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.5	NF EN 1097-6 [88]
Equivalent de sable (%)	90	NF EN 933-8[89]

II.2.3 Gravier

Deux classes granulaires de gravier (3/8 et 8/15) ont été utilisé dans cette étude provenant de carrière **Hanacha** de la région de Médéa dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau II.4 ainsi l'analyse granulométrique est présentée dans la figure II.1.

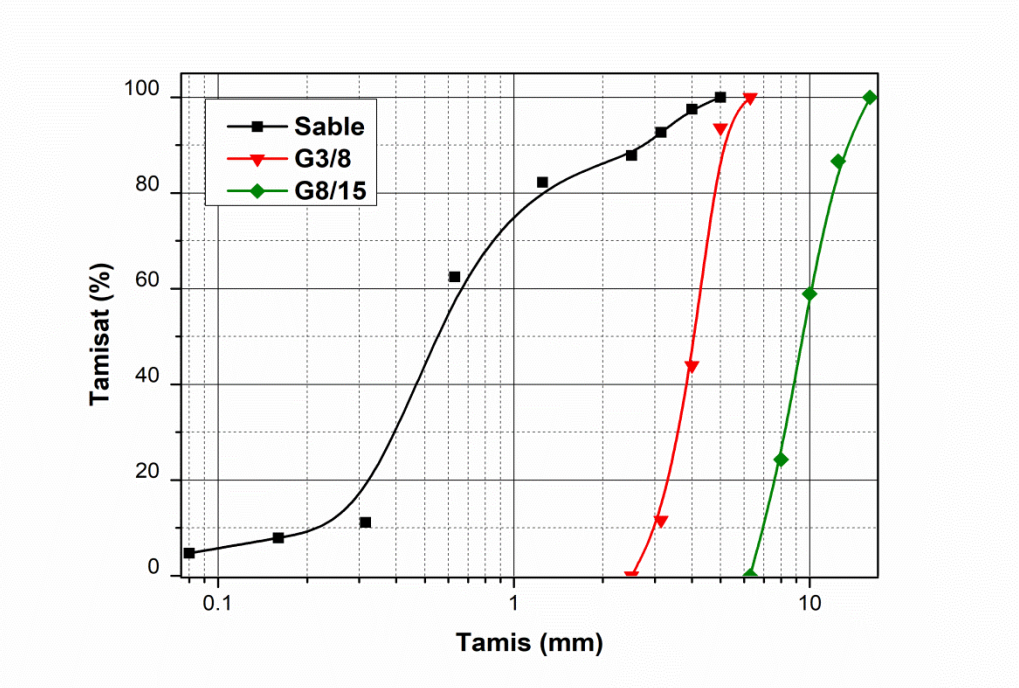


Figure II.1 : Analyse granulométrique des granulats utilisés.

Tableau II.4 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés.

Caractéristiques	Type de gravier		Norme
Provenance	Hanacha		/
Classe granulaire	3/8	8/15	/
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.55	2.58	NF EN 1097-6 [88]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.42	1.40	NF EN 1097-6 [88]
Taux d'absorption d'eau (%)	2.3	2.5	NF EN 1097-6 [88]
Résistance au choc LA (%)	26.18	24.10	NF EN 1097-2 [74]

II.2.4 Eau de gâchage

L'eau utilisée pour gâcher les bétons étudiés est l'eau du robinet de notre laboratoire, sa température était comprise entre 10 et 22°C.

II.2.5 Superplastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant (SP) haut réducteur d'eau de la troisième génération fabriqué par la société Granitex-NP et commercialisé sous le nom suivant : Medaflow 145. C'est un liquide de couleur jaunâtre, de pH de 6 et de densité de 1,07. L'extrait sec de cet adjuvant représente 30% de sa masse. sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment **(Annexe A)**.

II.2.6 Fibre plastique

Les fibres utilisés ce sont des fibres de forme rectilignes, ils sont obtenus par le recyclage des déchets plastiques (PET). Dans notre cas, nous avons préparés les fibres pour obtenir une longueur de 4 cm, et de diamètre de 4 mm.

L'incorporation de ce dernier est ce fait par rapport au volume du béton avec des pourcentages de 0.3 % à 0.5 %. (Figure II.3).

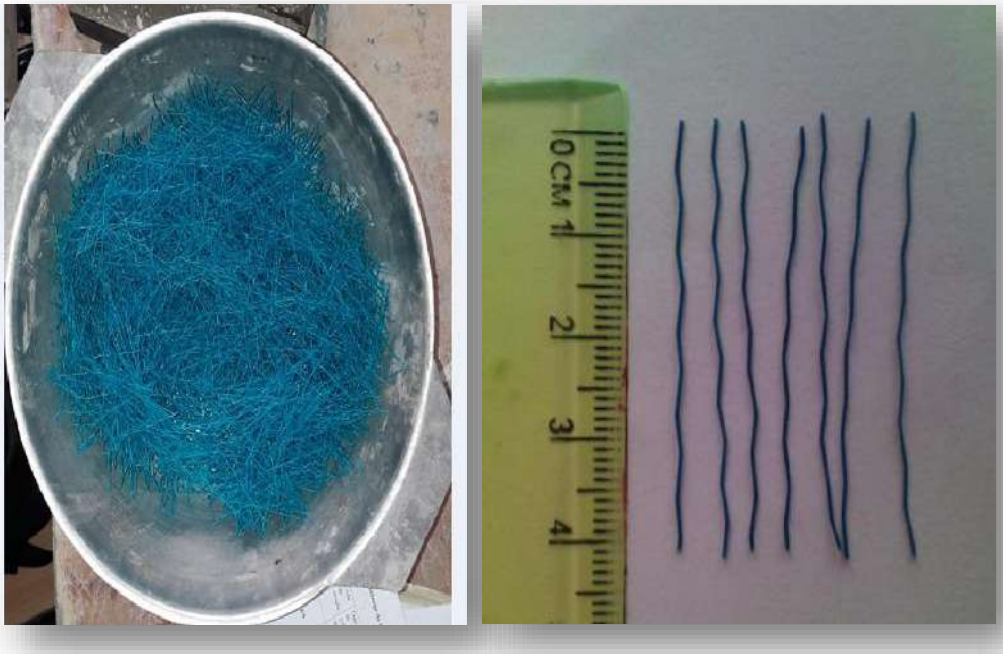


Figure II.2 : Forme de fibre utilisée.

II.3 Formulation du béton

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériaux de la gâchée, afin d'obtenir le béton qui aura les propriétés souhaitées. Le paramètre important considéré dans la formulation est le rapport Eau/Liant. Lors de la formulation, la caractérisation d'un BAP est nécessaire. Cela consiste à connaître son comportement à l'état frais à partir de tests mis en place depuis son développement. Évidemment, un béton est qualifié d'autoplaçant, non pas par rapport à sa composition, mais parce qu'il possède certaines propriétés à l'état frais : la capacité de remplissage, la capacité de passage et la résistance à la ségrégation. [7]

Les principaux tests réalisés sont empiriques, et ont pour objectif de vérifier les différentes propriétés définies ci dessus. Ils sont destinés à caractériser le béton avec les termes qualitatifs de fluidité, hétérogénéité et absence de blocage. Dans notre étude nous nous étions fixés des paramètres le rapport Eau/Liant et varie les autres paramètres à savoir la quantité de sable dans le mortier donc le rapport Sable/Mortier (S/M) et le pourcentage en superplastifiant par rapport au liant.

La formulation que nous avons adoptée est basée sur la formulation proposée par le japonais OKAMURA et appelée la méthode générale, avec quelques modifications concernant la sélection de la quantité de sable dans le mortier, le rapport eau/liant ainsi que le rapport superplastifiant/liant. Ces derniers ont été évalués expérimentalement de manière à avoir des valeurs de l'étalement au cône d'Abrams et du temps d'écoulement au V-Funnel acceptables. Pour la sélection des quantités d'air et de graviers, la méthode OKAMURA a été maintenue. [7]

II.3.1 Formulation du Mortier autoplaçant

Pour la formulation du mortier autoplaçant (MAP), et comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, le rapport Eau/Liant (E/c) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Sp/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenu doit être compris entre 270 mm $\leq$ d $\leq$330 mm, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec $\leq$ t $\leq$ 10 sec [15].

- **Remarque :** le dosage de Sp est varies avec un pas de 0.5 %.

De notre étude on a proposés trois formulations optimales du mortier autoplaçant qui remplit les conditions de OKAMURA (voire tableau II.5).

Tableau II.5 : Formulation optimal du MAP obtenus.

Formulation 1	**Formulation 2**	**Formulation 3**
E/c =0.4 S/M =0.4 Sp=0.7 D_{moy} =31.5 mm T_{moy} = 2.42 s	E/c =0.4 S/M =0.45 Sp=0.75 D_{moy} =30.7mm T_{moy} = 2.54 s	E/c =0.4 S/M =0.5 Sp=0.9 D_{moy} =30.6mm T_{moy} = 5.82s

II.3.2 Formulation du béton autoplaçant

D'après les résulta de la formulation du MAP, nous avons passé à la formulation de BAP par les étapes suivant :

- On considéra les résultats de MAP ;
- L'optimisation de BAP est doit être satisfaire selon les recommandations de EFNARC ;
- Si les résultats obtenus dans les MAP n'est pas satisfaire on essayer d'ajuster le SP vers le seuil inferieur ou supérieur pour obtenir un bon BAP ;
- Pour notre cas deux formulations (formulation 1 et 2) des MAP sont sélectionnés pour évaluer le BAP, la troisième formulation sera écartée par son forte d'utilisation de sable et de SP. Le tableau II.6 représente les déférentes compositions utilisé pour le choix de BAP ;
- Une fois le BAP satisfaire aux recommandations de ENFARC, on passer par la deuxièmes étape d'étude qui consiste à déterminer les compositions des BAPF et les BAPFC (Voire tableau II.7).

- **Remarque :** Pour la deuxième étape d'étude les même formulations de BAPT sont prise en considération le seul paramètre varie est le SP pour obtenir un BAP selon les exigences.

Tableau II.6: Compositions de différentes formulations BAP étudiés pour $1m^3$.

	F1	F2	F3	F4
Ciment (g)	13879.3	13879.3	13879.3	13879.3
Sable (g)	21145.5	21145.5	21145.5	23788.7
Gravier 3/8 (g)	8109.1	8109.1	8109.1	8109.1
Gravier 8/15 (g)	16185.0	16185.0	16185.0	16185
Eau $_1$(g)	4334.0	4327.2	4320.4	4326.3
Eau $_2$(g)	1857.4	1854.5	1851.6	1854.1
SP(g)	97.2	111	124.9	131.9
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4
S/M	0.4	0.4	0.4	0.45
sp (%)	0.7	0.8	0.9	0.95

Tableau II.7: Compositions de différentes formulations BAPF étudiés pour 1m^3.

	F1	F2	F3	F4
Ciment (g)	13879.3	13879.3	13879.3	13879.3
Sable (g)	23788.7	23788.7	23788.7	23788.7
Gravier 3/8 (g)	8109.1	8109.1	8109.1	8109.1
Gravier 8/15 (g)	16185	16185	16185	16185
Eau $_1$(g)	4326.3	4326.3	4312.7	4319.5
Eau $_2$(g)	1854.1	1854.1	1848.3	1851.2
SP(g)	131.9	131.9	159.6	145.7
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4
S/M	0.45	0.45	0.45	0.45
SP (%)	0.95	0.95	1.15	1.05
Fibre (%)	0.5	0.3	0.5	0.3

Le tableau suivant présente les différentes compositions des bétons confectionnés dans cette étude. Les différentes proportions ont été calculées selon la procédure donnée en (**Annexe D)**.

Tableau II.8: Compositions des formulations BAP adopté pour 1 m 3.

	BAPT$^-$	BAPF
Ciment (g)	13879.3	13879.3
Sable (g)	23788.7	23788.7
Gravier 3/8 (g)	8109.1	8109.1
Gravier 8/15 (g)	16185	16185
Eau $_1$(g)	4326.3	4319.5
Eau $_2$(g)	1854.1	1851.2
SP (g)	131.9	145.7
E/C	0.4	0.4
S/M	0.45	0.45
SP (%)	0.95	1.05
Fibre (%)	0.5	0.3

II.4 Préparation du mélange (Malaxage)

La séquence de malaxage et la composition du béton ont un rôle important pour avoir une hydratation correcte, ce qui conduit à un béton performant et durable.

Les mélanges ont été confectionnés dans un malaxeur à béton d'une capacité de 40 litres. Selon les caractéristiques souhaitées et les composants du béton, les auteurs suivent plusieurs séquences. Pour notre cas, la séquence suivie est celle décrite dans la figure II.3, elle suit les étapes suivantes :

- Calculer la quantité d'eau effective que l'on va mettre dans la bétonnière. Ce calcul permet de prendre en compte l'eau contenue dans les gros granulats et le sable tout en connaissant le coefficient d'absorption de chacun **(Annexe B**).
- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant (**Annexe B**).
- Malaxer le sable, ciment et gravier (3/8 et 8/15) pendant 30 secondes pour homogénéiser le mélange.
- Ajouter pendant 1 minute la première quantité d'eau (Eau1 = 70% Eau) .
- Ajouter pendant 1 minute le superplastifiant dilué dans le restant de l'eau de gâchage (Eau2 = 30% Eau).
- Malaxer pendant 3 minutes et introduire les fibres plastiques qui sont mouillées précédemment, progressivement en pluie au mélange.
- Arrêter le malaxeur et laisser le mélange au repos pendant 2 minutes.
- Malaxer pendant 30 secondes.

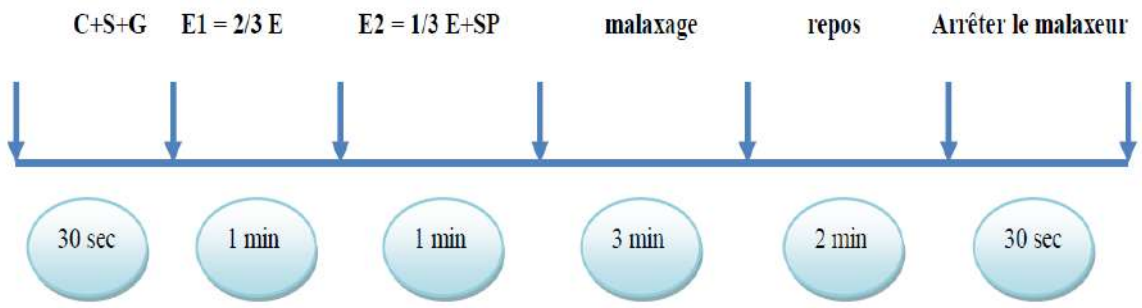


Figure II. 3: Séquence de malaxage du BAP

II.5 Les essais effectués sur BAP

II.5.1 Essais à l'état frais

II.5.1.1 Essais d'étalement et T50

Cet essai consiste à déterminer l'habilité du béton à se déformer sous son propre poids en faisant face aux forces de friction. C'est l'essai type pour évaluer la déformabilité du BAP. L'étalement et le temps d'écoulement T_{50} peuvent être classés selon la norme européenne (EN 12350-8) [90]. Après avoir humidifié la surface de la plaque grâce un chiffon pour éliminer l'eau en excès, on place le cône sur le centre de la plaque et on équipe la partie supérieure du cône d'un entonnoir avant de prélever un échantillon correspondant au béton représentatif. Par la suite on soulève le cône verticalement d'une manière minutieuse (à l'aide des deux poignées), et on lance le chronomètre dès le soulèvement du cône jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle de 50 cm gradué sur la plaque, cette mesure c'est le T_{50}.Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, on mesure le diamètre final (D1 et D2) sur deux côtés perpendiculaires, et on détecte visuellement s'il y a des signes de ségrégation de béton (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier). Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues. (Figure II.4)



Figure II.4: Essais d'étalement.

II.5.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-funnel)

La viscosité apparente caractérisé par le V-funnel peut être classé selon la norme européenne EN 12350-9 [91] , cet essai permet d'estimer le temps de vidange de béton sous son propre poids. Le temps mesuré indique la fluidité et la capacité de béton a passé dans des orifices qui sont petites (capacité de passage / blocage). Apres avoir placé le funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé, nous avons prélevé dans un seau un échantillon de béton représentatif d'environ de 12 litres pour remplir l'entonnoir avec le béton, et puis nous avons mis de seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir avec l'ouverture de clapet. Apres cette opération, nous avons rempli l'entonnoir pour une deuxième fois de béton et nous avons mis le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir. Après une attente de 10 secondes, nous avons ouvrit le clapet en laçant le chronomètre et quand la première lumière est apparue à travers l'orifice de l'entonnoir, nous avons arrêté le chronomètre, cette mesure est l'équivalent de temps d'écoulement (Figure II.5).



Figure II.5 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

II.5.1.3 Essai de La Boîte En L (L-Box)

L'aptitude à l'écoulement dans la boîte en L peut être classée selon la norme européenne EN 12350-10 [92], cet essai est réalisé en utilisant une boite ayant une forme en L. Elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables. La partie verticale de la boite 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 boite à travers le ferraillage. 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 H_2/H_1. Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellent de granulats en aval de la grille. C'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation. Il est également possible d'exprimer le résultat de l'essai par la seule valeur de H1. Cette mesure est plus précise que le rapport H2/H1 mais son utilisation est moins répandue (Figure II.6).



Figure II.6 : Protocole de l'essai de la boîte de L-Box.

II.5.1.4 Essai de stabilité au tamis

L'essai de ségrégation au tamis vise à qualifier la résistance du BAP à la ségrégation dynamique en mesurant l'indice de ségrégation (IS) qui est le rapport de la quantité de laitance sur la masse de l'échantillon. Dans cet essai, avant de peser le tamis + fond sur la bascule et faire la tare il faut qu'on pèse le fond seul, et le tamis à vide afin de peser. Juste après 15 mn on verse au centre du tamis un poids de béton égal à 4.8 kg (tolérance ± 0.2 kg) avec une hauteur de chute de 50 cm ± 5 cm [93] (Figure II.7).. On note le poids de l'échantillon, et après 2 min d'attente, On calcule le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon selon l'équation sous dessous:

$$\text{IS}\ (\%) = \frac{\text{Masse de laitance}}{\text{Masse de l'échantillion}} \text{x}100 \qquad \textbf{Eq : II.1}$$



Figure II.7 : Protocole de l'essai de stabilité au tamis.

II.5.2 Essai à l'état durcis

II.5.2.1 Essai de résistance traction par flexion

Selon la norme EN- 12390-5 [94]c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points) (Figure II.8), une éprouvette prismatique de côté a et de longueur L. Dans notre étude, cet essai est effectué sur des éprouvettes prismatiques de dimensions (7×7×28) cm, à 3, 7, 28 jours.

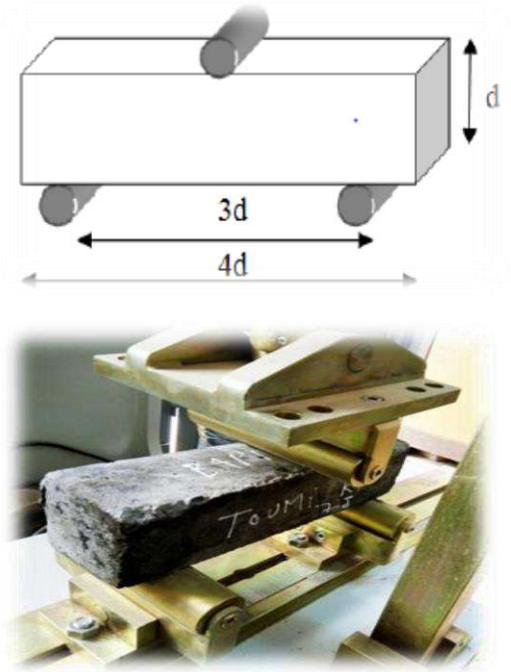


Figure II.8 Dispositif pour l'essai de résistance à la traction

La contrainte de flexion sur la fibre inférieure est donnée par la formule suivante :

$$\sigma t = (M / I)\, v \qquad (II.2)$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge :

$$M = Ff\ L/4 \qquad (II.3)$$

I : Moment d'inertie de la section transversale :

$$I = a4/12 \qquad (II.4)$$

v : La distance de la fibre la plus éloignée :

$$v = a/2 \qquad (II.5)$$

La résistance à la traction par flexion est calculée donc par la formule suivante :

$$\sigma t = (1.5Ff\ L)/\ a^3 \qquad (II.6)$$

Et ;

$$ft_{28} = 0.9\ Ft.L\ /\ a^3 \qquad (II.7)$$

II.5.2.2 Essai de résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme EN- 12390-5 [94] par compression axiale pour d'éprouvettes cubique à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN .La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (3) d'éprouvettes cubique (15x15x15) cm.

La figure II. 9 montres les étapes de l'écrasement l'essai.

Les demi-prismes de l'éprouvette obtenus après rupture à la traction seront rompus à la compression comme indiquée sur la figure III.10, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

$$Rc = Fc / b^2 \qquad (II.8)$$



Figure II.9: Dispositif de rupture à la compression

II.5.2.3 Retrait et gonflement

En l'absence de toute charge, le béton se déforme instantanément. Ces déformations sont dues essentiellement à une perte d'eau de gâchage par évaporation, qui se traduit par un rétrécissement des éléments en béton. Le retrait dépend non seulement des conditions de conservation (humidité, température) mais dépend aussi des constituants du béton. (Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) .

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 heure placées dans un réctractomètre) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (de 1j jusqu'à 28 jours). La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C, et le gonflement la conservation des éprouvettes est fait à un bac d'eau de température de 25à 30°C.



Figure II.10: Mesure de variation dimensionnelle

La mesure a lieu, l'axe longitudinal de l'éprouvette étant vertical. Si, d'une mesure à l'autre, la variation de longueur d'une des 3 éprouvettes dépasse de plus de 0.03mm celle de l'éprouvette ayant la variation la plus voisine, il y a lieu d'en rechercher la cause (poussière, mauvais contact de scellement des plots, etc.), et si elle ne peut être éliminée, l'éprouvette doit être rebutée.

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 1600 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations).même métal que l'appareil.

A. Mesure des variations de masse :

Si, en plus de retrait, on désire mesurer la variation de masse, pesé à 0.1g près l'éprouvette à chacun des temps ou est effectuée une mesure de longueur.

B. Expression des résultats :

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports:

- **ΔL:** Variation de longueur par apport à la longueur origine,
- **L0** : Longueur de base, prise égale à 280mm.

- **ΔM:** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage,
- **M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

Le compte rendu donne les valeurs de ces rapports pour les différents âges et pour les différentes éprouvettes mesurées. Les moyennes arithmétiques de ces 3 valeurs à un âge déterminé caractérisent la valeur du retrait et celle du gonflement à cet âge de l'échantillon (éventuellement, de la variation de masse).

C. Conduite de l'essai :

Au moment de la mesure, le comparateur est mis au zéro sur la tige étalon en Invar de longueur L = 160 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

$$l = L + dl(t) \qquad \textbf{Eq.II.9}$$

Soit l (t_0) la longueur de l'éprouvette au temps t0 choisi d'origine. En général, cette origine est prise au moment du démoulage, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \qquad \textbf{Eq.II.10}$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \qquad \textbf{Eq.II.11}$$

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

II.5.2.4 Absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau, pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (m_i- m_0) .

- **Remarque : Pour les essais de retrait, gonflement et absorption les essais n'est pas menées à cause de l'épidémie (covid-19) qui a empêcher le déroulement de travaille, depuis mars 2020 pour des préventions sanitaire.**

II.6 Confection et conditionnement des éprouvettes

Des moules normalisé permettant de réaliser 3 éprouvettes prismatiques de section carrée 4cm×4cm et de longueur 16cm (ces éprouvettes sont appelés « éprouvettes 4×4×16 »). Après quoi le moule est arasé, recouvert d'une plaque de verre et entreposé dans la salle ou l'armoire humide. Entre 20 h et 24 h après le début du malaxage, ces éprouvettes sont démoulées et entreposées dans un cure, dans l'eau à 20 C° ± 2 C° ou dans l'air libre selon la nature de l'essai, jusqu'au moment de l'essai de rupture. Au jour prévu, les 3 éprouvettes sont rompues en flexion et en compression.

II.7 Conclusion

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les super plastifiant).

Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons autoplaçant fibré, Pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais (l'étalement, la capacité de passage, de remplissage et la résistance à la ségrégation),

Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, absorption d'eau, retrait, gonflement).

Des essais menée au domaine thermique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés de l'isolation est de transfert de chaleur .Pour reconnaitre l'effet du bois sur le béton de sable ce soit à l'état frais ou durci.

CHAPITRE III:

ANALYSES ET INTERPRETATIONS DES RESULTAT

III.1 Introduction

Dans ce chapitre l'ensemble des résultats trouvés dans la réalisation expérimentale sont exposés, analysés et comparés avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la littérature.

Afin de mettre en évidence les caractéristiques à l'état frais et durci des mortiers et bétons autoplaçant fibré à base déférente type de ciment notre étude est divisée en deux parties :

- La première étape consiste à effectuer des essais sur mortier afin d'optimiser le rapport sable sur mortier (S/M) et le rapport superplastifiant sur liant (SP/L);
- La deuxième étape est consacrée aux mesures des propriétés à l'état frais à l'échelle des BAPF. On passera ensuite à la discussion des résultats issus des essais tels que l'étalement, le temps d'écoulement, la ségrégation.
- La troisième étape est mettre en évidence à l'interprétation issus des essais à l'état durci tels que la résistance à la compression ainsi à la traction.

III.2 Etude des MAP

III.2.1 Optimisation des rapports S/M et SP/L

Pour la formulation du mortier autoplaçant de référence, on a utilisé la méthode générale dite aussi japonaise. Les rapports SP/L et le S/M sont ajustés de telle manière à obtenir un mortier de grande fluidité avec un étalement entre 270 et 330 mm, une viscosité appropriée avec un temps d'écoulement entre 2 et 10 secs et de grande résistance à la ségrégation et sans effet de ressuage (évalué visuellement). L'optimisation du pourcentage de SP consiste à développer les meilleures caractéristiques du mortier à l'état frais pour passer à la formulation du BAP.

Dans cette étude, on a testé trois compositions contenant quatre pourcentages de SP, et on a varié le pourcentage du SP de 0.7% à 0.8 % avec un pas de 0.5% avec un rapport E/C=0.4. Les résultats des essais d'étalement au mini-cône et le temps d'écoulement au mini V- funnel pour le choix de SP et le S/M optimale sont illustrés dans le tableau III.1.

Tableau III.1. Résultats sur MAPT pour différentes % de SP et S/M.

MAPT formulés				
Mélanges		MAP1	MAP2	MAP3
SP %		0,7	0,75	0,8
S/M		0.4	0.4	/
		0.45	0.45	/
		0.5	0.5	0.5
Etalement	S/M=0.4	31.5	33.5	/
	S/M=0.45	28	32	/
	S/M=0.5	26	27	29
Temps d'écoulement	S/M=0.4	2.45	2	/
	S/M=0.45	2.84	2.5	/
	S/M=0.5	5.6	5.48	4.31
Observation visuelle	S/M=0.4	Mélange fluide + ressuages	Mélange fluide + ressuages et ségrégation	/
	S/M=0.45	Mélange peut ferme	Mélange fluide aucun signe de ressuages et ségrégation	/
	S/M=0.5	Mélange ferme	Mélange ferme	Mélange peut ferme

D'après le tableau ci-dessus, on a constaté que plus on augmente le pourcentage du SP plus la fluidité augmente, une augmentation du dosage de SP de 0.5% mène à une

augmentation de 20 mm de diamètre du mortier. Pour un dosage de 0.75% avec un S/M=0.45 le mortier présente une bonne fluidité avec un étalement de 32 cm. Avec l'utilisation des matériaux locaux Algériens, un rapport S/M égal à 0,45 est le rapport adéquat pour obtenir des mortiers très fluides, homogènes et de grande capacité de passage dans les zones les plus encombrées, en revanche pour les formulation avec un rapport S/M 0.4 et 0.5 présente des MAP n'est pas conforment aux exigence pour la formulation des BAP. Dans notre cas la sélection de formulation pour passer au BAP on choisi la formulation 2 qui contient un rapport S/M= 0.45 et un dosage en SP égale 0.75 %.

III.3 Etude des BAP

Pour passé à la formulation des BAP les résultats des MAP sont prise en considération avec un ajustement de SP vers le seuil inferieure ou supérieure pour obtenir un bonne BAP conforme aux recommandations de ce dernier. Le tableau suivant présente les différentes formulations testées :

Tableau III.2. Résultats sur BAP pour différentes % de SP.

Béton formulé	Etalement (mm)	V-funnel (Sec)	L-box (%)	Stabilité au tamis (%)	Ajustement SP (%)
Formulation1(F1)	575	7	64	15	0.75
Formulation1(F2)	674	6	70	19	0.8
Formulation1(F3)	687	6	94	23	0.85
Formulation1(F4)	715	6	94	25	0.95
Limite EFNARC [95]	550-850	6-12	80-100	15-30	/

Selon les résultats trouvés un ajustement en SP est nécessaire pour obtenir des BAP selon les recommandations (EFNARC) des BAP. Cette ajustements avec 1.5% en SP

peut du d'une part à la l'introduction de gravier qui contient des particules fin autour de surface de gravier qui participent par conséquent à la demande en SP, d'autre part peut du est au volume de béton qui nécessite un dosage en SP élevé part rapport à son mortiers.

Plusieurs étude [14, 50, 96-100] ont formulé des BAP avec les matériaux locaux Algérienne .Il sont trouvée que la gamme en SP varié entre 0.85 à 1%. Dans notre cas on a choisi la formulation 4 comme une formulation témoin pour passer à la formulation des BAPF et BAPFC.

III.4 Etude des BAPF

III.4.1 Etalement au cône d'Abrams

Les résultats de l'écoulement pour les différents mélanges des BAP élaborés sont traduits en histogrammes dans la figure III.1. Les résultats montrent que les diamètres d'étalement des mélanges à base de fibre plastique sont situés entre 715 à 520mm, alors ce qui indique une faible déformabilité des BAP avec l'introduction de FP. Selon les limites et la classification des BAP on peut voire aussi à travers la figure que, les valeurs d'étalement ne sont pas acceptables par les recommandations EFNARC [95], et sont classées hors la catégorie (SF1-SF3) pour le BAP avec 0.5%de FP. L'écoulement des BAPFP est affecté par la fraction volumique et la longueur des fibres, plus qu'on augmente le pourcentage et la longueur des fibres, plus que l'écoulement diminue [101-103], ce qui donnent un mélange n'est pas homogène, un étalement n'est pas circulaire, cela veut dire que l'écoulement est contracté selon une ou plusieurs directions.

Samana et Dahmani [104] ont étudié les propriétés à l'état frais du BAP à base de fibre plastique et ont noté que l'étalement diminuait à mesure que la quantité de fibre et la longueur augmentait, est convergé plus rapidement vers le seuil inférieur. Les meilleurs valeurs d'étalement se sont produits lorsque en ajoutant une fraction volumique faible avec petite longueur.

Pour notre travail on à respecté les limites de EFNARC [95] (fluidité dans le domaine ciblé) pour toutes les familles des BAP pour faciliter, Les figure III.2 III.3

représente la variation de dosage en SP pour avoir un étalement selon les critères des BAP. D'apprêt ces

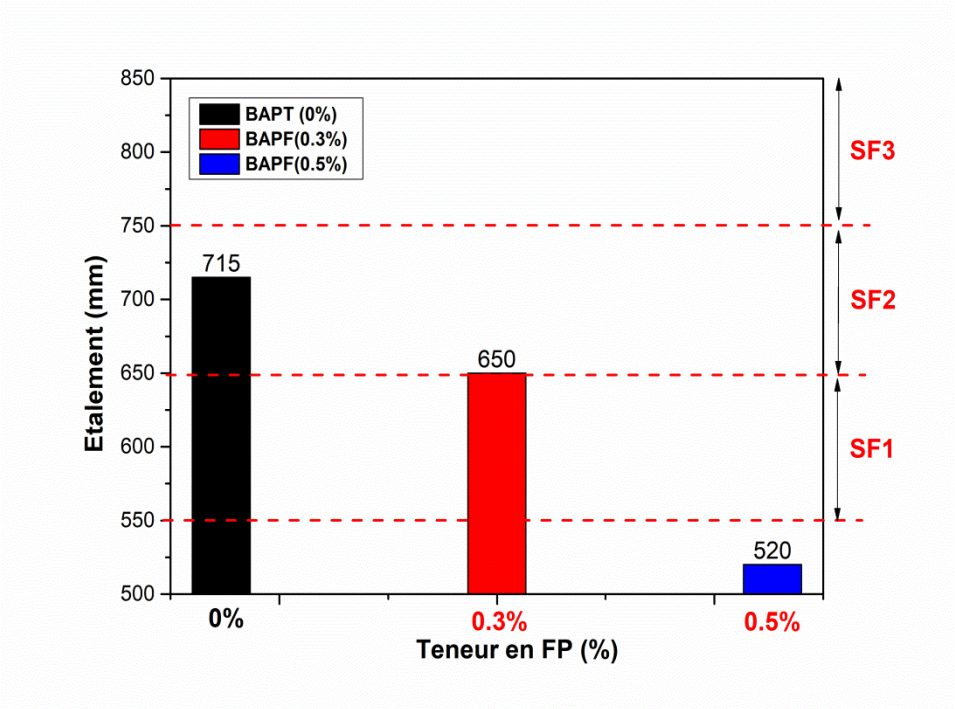


Figure III.1: Etalement des BAPF avec SP constant.

Figures on remarque que plus on augmente le % de fibre plus le dosage en SP augmente, pour donner un bon BAP avec des valeurs d'étalement situés entre 715 à 720 mm, ce qui conforme à la recommandation EFNARC (SF2), cette augmentation de dosage en SP est principalement du à la masse des fibres additionner au mélange. Plusieurs étude [105-107] ont montrent que l'augmentation de fraction volumique et la longueur des fibres engendre à l'augmentation de dosage en SP.

Toutefois, il y a eu une légère augmentation de l'écoulement des mélanges de BAP à base de 0.5% de FP par rapport à ceux avec un de 0.3 % ; cela était dû à la différence du dosage de SP car il faut noter que chaque pourcentage de FP exige la quantité de SP nécessaire pour atteindre la fluidité visée pour obtenir des BAP sans ségrégation et sans ressuage.

Bilodeau et al [108] et shafigh et al [109] ont trouvé une baisse de fluidité avec l'augmentation de la longueur des fibres, ce phénomène est dû aux perturbations causées par les fibres sur la compacité totale du système .

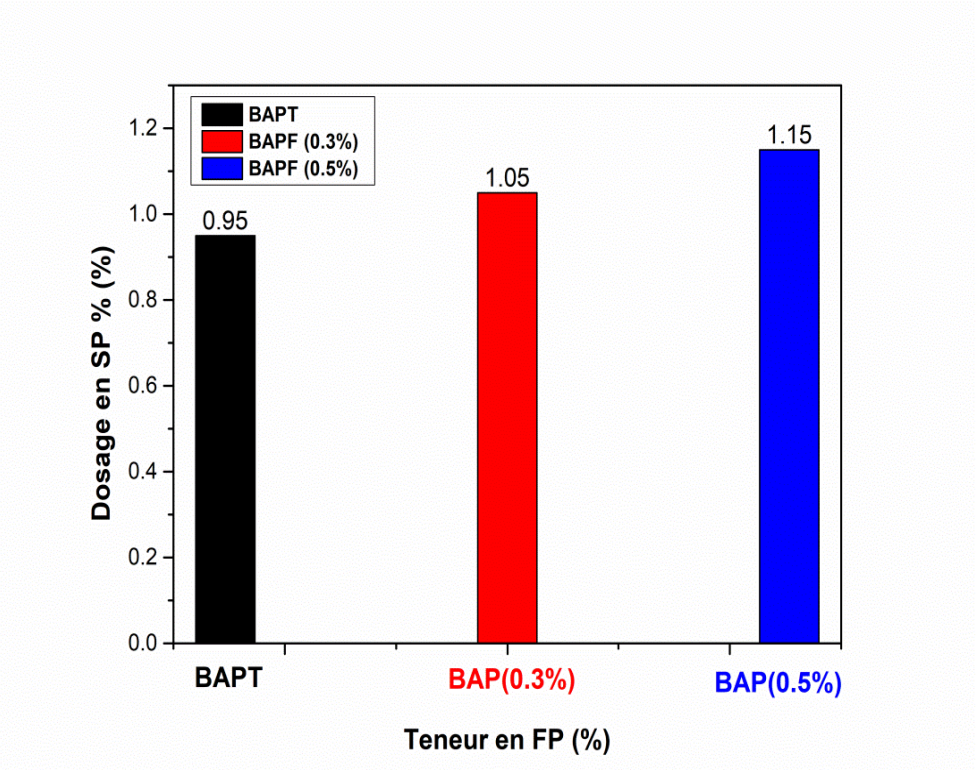


Figure III.2: Dosage en SP en fonction de FP.

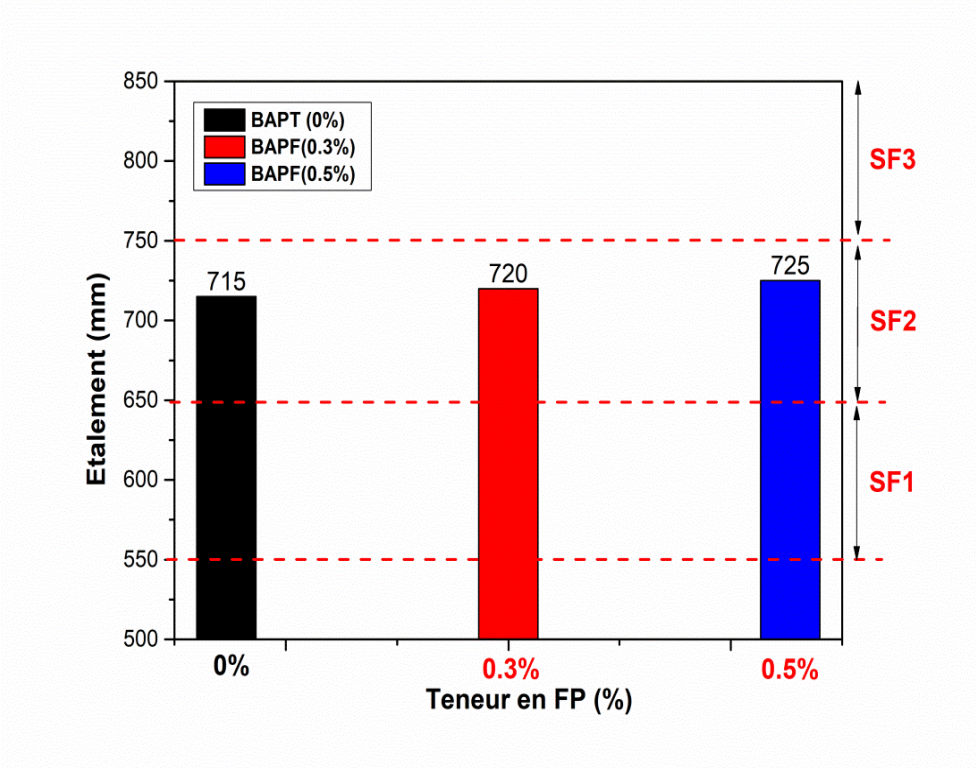


Figure III.3: Etalement des BAPF avec SP variable.

III.4.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel

La figure III.15 montre la variation du temps d'écoulement pour différents mélanges des BAP étudiés. Selon les résultats de l'essai de l'entonnoir en V, tous les mélanges des BAP étaient très stables parce que leur temps d'écoulement était inférieur à la valeur recommandée par EFNARC [95] ,ce qui indique des bons indices de viscosités et résistances à la ségrégation. On peut noter d'après la figure III.4 que l'ajout de fibre augmente le temps d'écoulement des BAP par rapport au BAPT, mais toujours les temps d'écoulement enregistrés répondent aux propriétés des BAP par l'augmentation de dosage en SP. On peut dire que, est dû à plus la formation d'oursins (amas de fibres entremêlées) est évoluée [110], cette évolution perturbe l'écoulement et par conséquence l'augmentation de la viscosité provoque d'éventuelles une ségrégation et blocage au niveau des armatures [111]. Ces résultats seront confirmés par la suite à travers l'essai de la boite en L (L-BOX). À titre d'exemple, le mélange témoin BAPT et le mélange avec 0.3% de fibre ont montré la valeur inférieure du temps d'écoulement par rapport à 0.5% qui est bien inférieure à 8 s, indiquant la viscosité la plus faible avec un dosage en SP s'est avéré être le minimum.

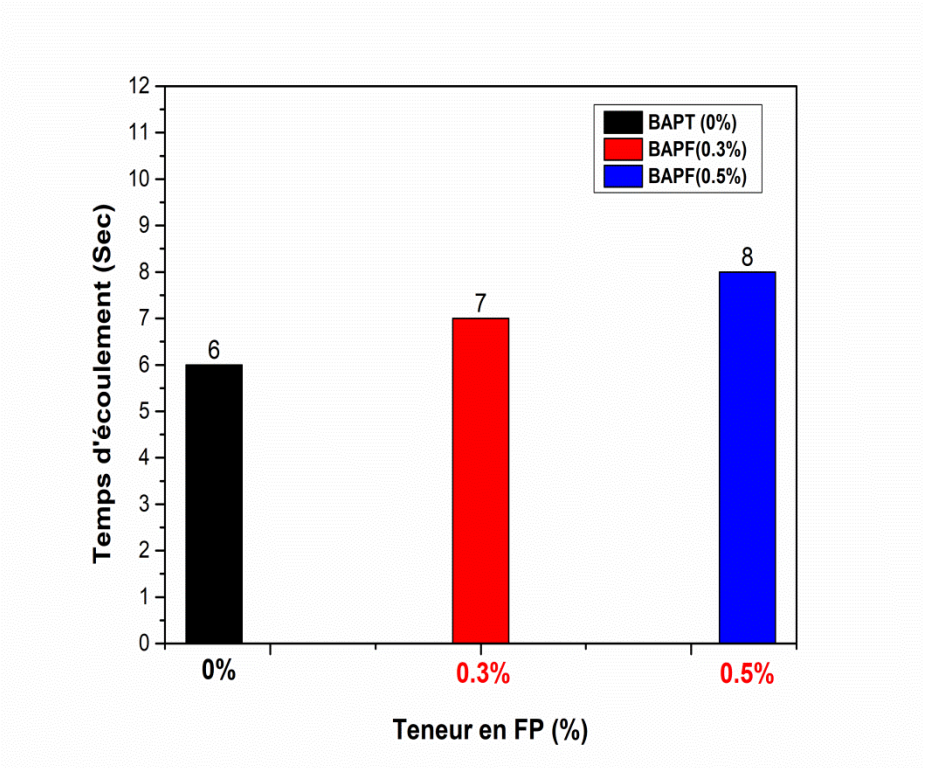


Figure III.4: Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable.

III.4.3 Capacité de passage à travers L-BOX

La variation du rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de FP est représentée sur la figure III.5 et III.6. En ce qui concerne la capacité de remplissage estimée par le rapport H_2/H_1 mesuré par le test de la boîte en L et d'apprêt la figure III.5 on remarque que l'ajout de fibre affecte négativement sur la capacité de remplissage. Le rapport du blocage est situé entre 94%,64% et 45%, dont le plus faible rapport était 45% pour le BAPF avec 0.3% de FP, donc la valeur la plus important est correspond au BAPT. Cela est principalement affecter par la préséance des fibres qui crée un blocage au niveau des armature de L-box, ces valeurs n'est pas satisfaire à la valeur recommandé par le EFNARC [95] une augmentation de dosage de SP est nécessaire .

En revanche tous les groupes des BAP ont donné une bonne capacité de remplissage, mobilité, et passage à travers les zones fortement confinées (figure III.6) avec l'augmentation de dosage en SP, de plus aucun blocage n'était remarqué dans ce cas

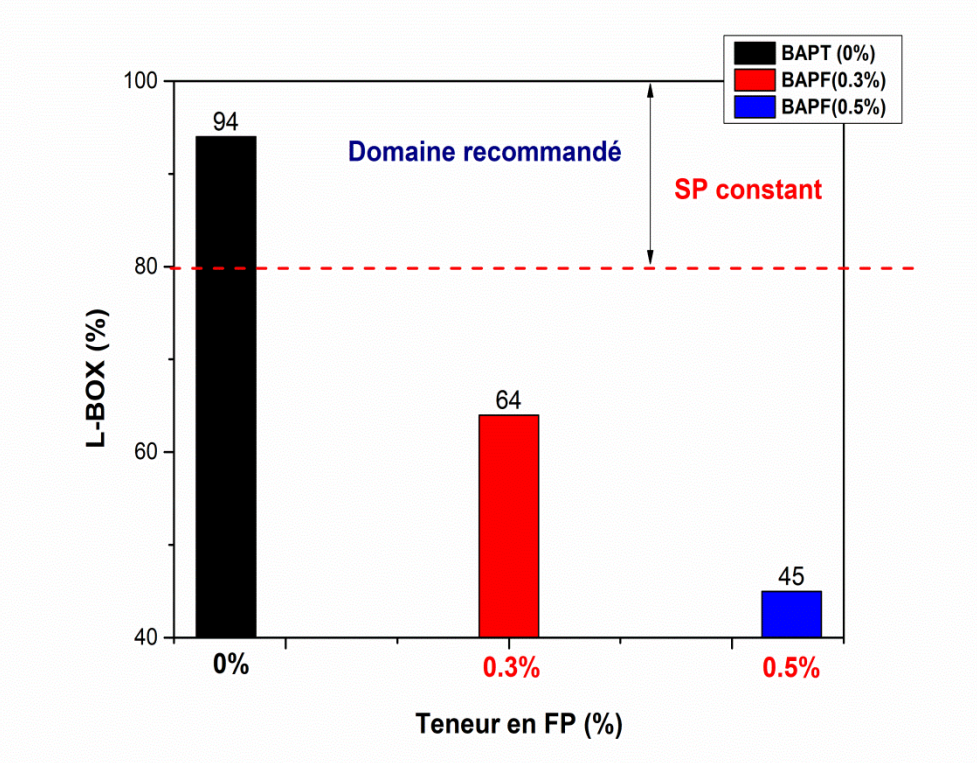


Figure III.5: L-BOX des BAPF avec SP constant.

Corinaldesi et Moriconi,[112] ont montré l'existence d'une concentration critique de fibres au-delà de laquelle le matériau ne s'écoule plus quelles que soient ses caractéristiques rhéologiques sans fibre.

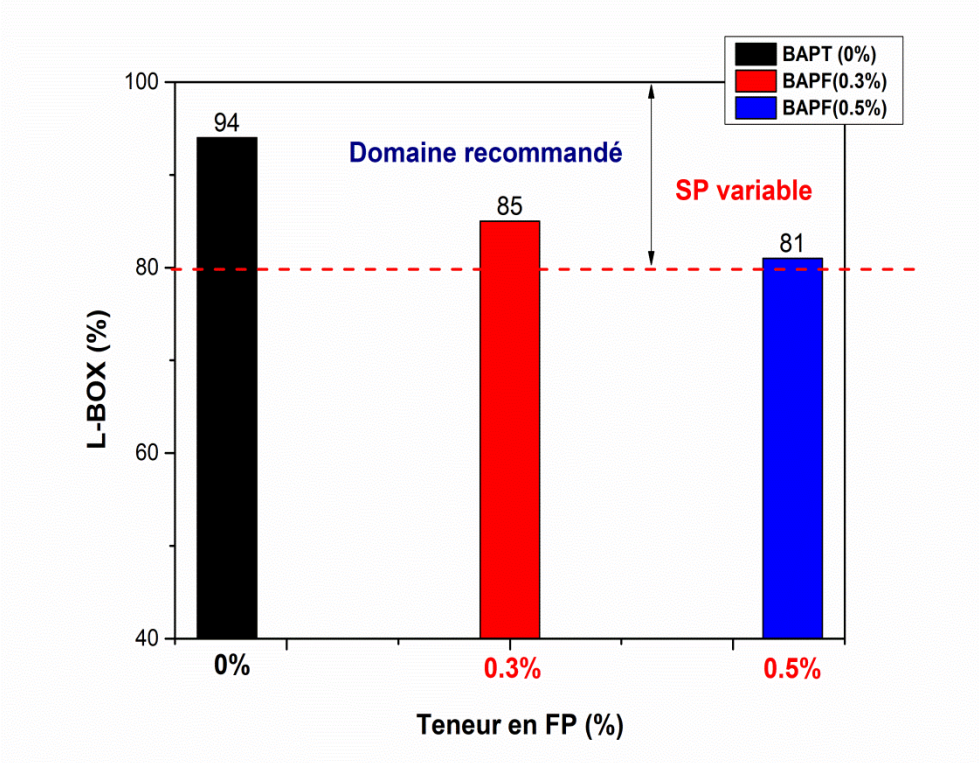


Figure III.6: L-BOX des BAPF avec SP variable.

III.4.4 Stabilité au tamis

Les résultats de stabilité au tamis sont traduits en histogrammes sur la figure III.7. On peut remarque à travers les résultats que l'augmentation des FP engendre à l'augmentation de la stabilité des mélange. Plusieurs étude ont constate que l'incorporation des fibres participent à la diminution de la viscosité des BAP par le collage des fibres au niveau des mailles de tamis.

Cette augmentation de risque de ségrégation est peut liée à la déférence de dosage de SP, en outre en signalant que les résultats restent des comparables et au-dessous des valeurs recommandées par EFNERC [95].

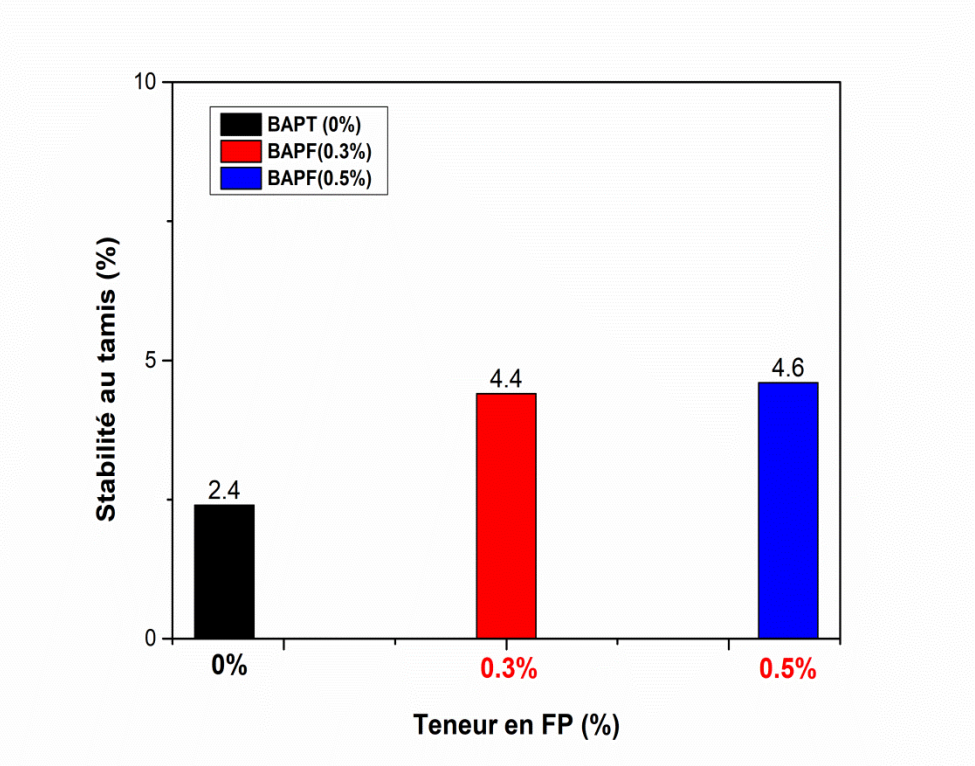


Figure III.7 : Stabilité au tamis des BAPF.

III.4.5 Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à traction par flexion à différents âges (3, et 7,) pour les différentes BAP confectionnés sont représentés dans les figures III.8. Les résultats ont révélé que la préséance des fibres dans les mélanges des BAP, donnent une amélioration de la résistance à la traction par flexion, si on compare ces bétons, on trouve que plus on augmente la fraction volumique des fibres, plus la résistance à la traction par flexion augmente. Une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et améliore la propagation des fisure ce qui améliore la résistance à la traction [99, 113, 114]

Kawamata et al [115] ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliore le comportement à la flexion des bétons. Dans cette étude, les conclusions doivent être entendues dans ces limites, l'auteur ayant utilisé des fibres métalliques de longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un dosage volumique maximal en fibres de 1%.

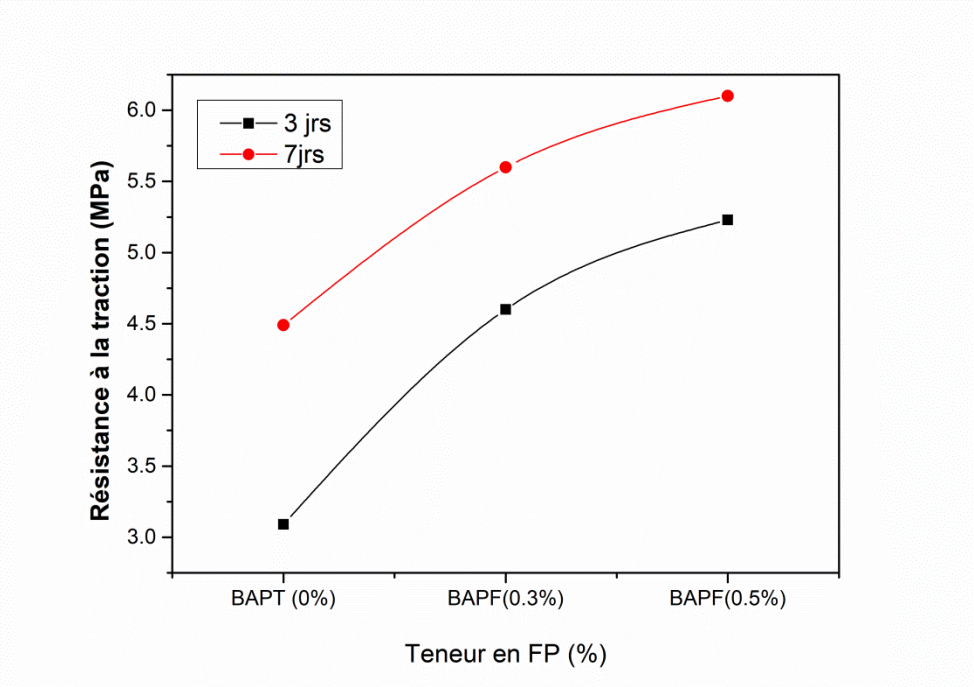


Figure III.8: Résistance à la traction des BAPF.

III.4.6 Résistance à la compression

Les résultats obtenus à 7, et 3 jours des BAPF sont donnée aux figures III.9. On a constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des fibres. on enregistre une amélioration de 6,98 % correspondant au respectivement .Cette légère amélioration est engendrée par le phénomène de confinement provoqué par la formation des oursins à l'intérieur des matrices cimentaires permettant l'augmentation de la charge ultime [116, 117]. Les fibres de 25mm sont les plus efficaces.

Plusieurs études confirment ces résultats à savoir pierre rossi [118], qui a montré que les fibres courtes ont toujours des résistances à la compression supérieures à celles du béton non fibré. Par contre les fibres longues n'apportent pas d'amélioration en compression. Cependant confirment que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression.

Zmir et al. [119] ont renforcé le béton vibré par un BAP fibré. Les résultats montrent que le renforcement du béton ordinaire (BO) par chemisage de BAP fibré améliore les caractéristiques mécaniques et donne une bonne rigidité de béton endommagé.

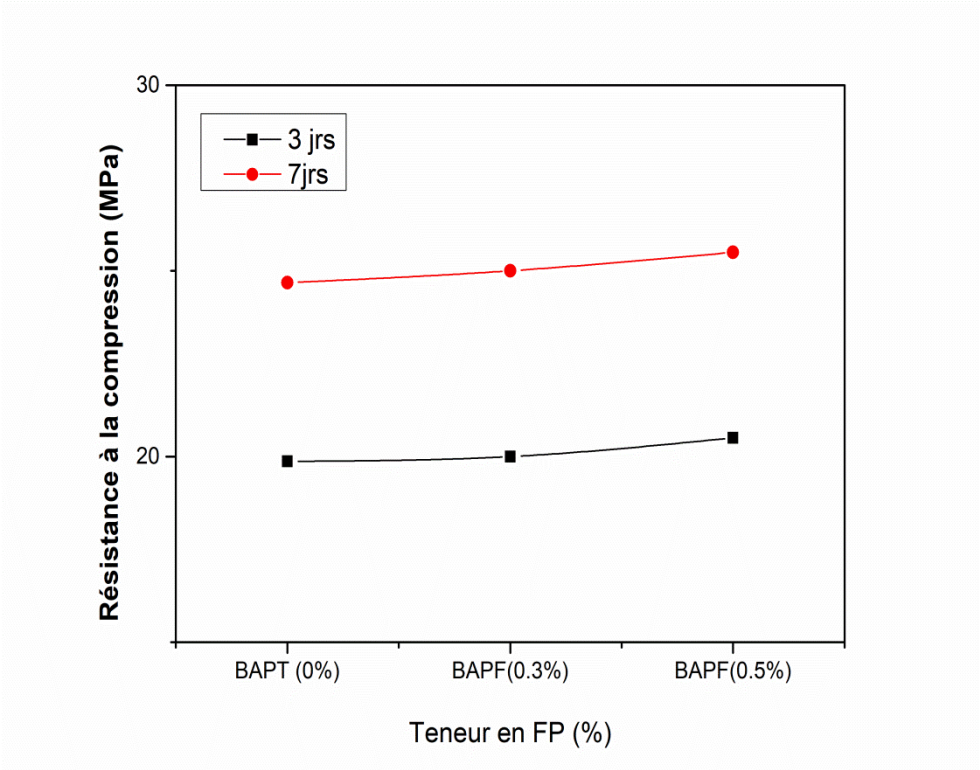


Figure III.9: Résistance à la compression des BAPF.

III.5 Etude des BAPFP à base différent type de ciment

Dans cette parties les essais n'est pas menées à cause de l'épidémie (covid-19) qui a empêcher le déroulement de notre travaille. Cette partie d'étude était bien visée pour connaitre l'effet des FP avec différent type de ciment sur le comportement des BAP.

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet des fibres plastiques avec différent type de ciment sur le comportement du béton autoplaçant. À la lumière des résultats obtenus, on peut conclure que :

- Pour la formulation des BAPT adopté on a conclue à travers les résultats des MAP que les matériaux locaux dans cette étude nécessitent et sélectionne un rapport E/C égale 0.4 et S/M égale 0.45 avec un dosage de 0.75% en SP pour obtenir les caractéristiques désirées.

- A travers les teste des BAP un ajustement de 1.5% en SP pour qualifier le BAP selon les recommandations de EFNARC sans risque de ressuage ou de ségrégation.

- L'introduction des FP aux mélanges des BAP augmente la demande en SP par la présence de sa masse.

- L'ajout de FP engendre à la perturbation de l'écoulement des BAP est donne des étalements n'est pas homogène avec multiple direction.

- Concernant le temps d'écoulement des BAP élaborés l'incorporation des FP augment le temps vers le seuil supérieur de limite de passage des BAP.

- La capacité de remplissage des BAP étudié avec les FP à travers le L-box n'est pas adéquate selon les recommandations de EFNARC avec un risque de blocage au niveau des armatures de L.

- L'augmentation des SP pour les BAPFP augmentent les caractéristiques à l'etas frais des BAP selon les limites de ces derniers.

- La présence des 0.5% FP améliore la propagation des fissures et par conséquent la résistance à la traction avec 7 % par rapport au BAPT.

- Une légère augmentation de résistance à la compression était enregistré avec la présence des FP

RECOMMANDATION

Dans la continuité des travaux réalisés dans le cadre de ce travail de recherche et sur la base des résultats intéressants trouvés, des travaux restent à mener dans plusieurs axes à savoir :

- La continuité de la derniers partie de sujet pour prévoir l'effet des bétons autoplaçants fibrés à base différent type ciment sur le comportement à l'état frais et durcis;
- L'utilisation des fibres abride (plastique+ métallique) sur les caractéristiques des BAP ;
- Prévoir une étude sur l'effet des fibres plastiques sur le comportement des BAP légers ;
- L'étude la combinaison d'un autre type ajout (calcaire+pozzolane) ou d'autre fibre (fibre de verre) sur la durabilité des BAP ;
- Prévoir une modélisation des résultats permettant les prévisions sur les caractéristiques des bétons sable des copeaux de bois;
- Etude ces type des bétons écologiques et économique à la réparation des poutres endommagées.

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

Références bibliographiques

[1] D. Rich, J. Glass, A.G. Gibb, C.I. Goodier, G. Sander, Optimising construction with self-compacting concrete, Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Construction Materials 170(2) (2017) 104-114.

[2] H. Okamura, M. Ouchi, Self-compacting concrete. Development, present use and future, Self-Compacting Concrete: Proceedings of the First International RILEM Symposium, Rilem Publications Cachan Cedex, France, 1999, pp. 3-14.

[3] K. Ozawa, High-performance concrete based on the durability design of concrete structures, Proc. of the Second East Asia-Pacific Conference on Structural Engineering and Construction, 1989, 1989.

[4] I.S.E. Douidi, Contribution à l'étude des propriétés rhéologiques des bétons autoplaçants, 2016.

[5] I. Irki, Renforcement du beton autoplaçant (bap) par des fibres : utilisation dans la reparation des structures endommagees, Thèse de doctorat,, Université Yahia Fares Medea-Algerie, (2017), pp. 1-207.

[6] Holcim, « Le béton autocompactant », Version 26-11-2004.

[7] O. Boukendakdji, Etude de l'influence des paramètres de formulation sur les propriétés d'un béton autoplaçant : optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat, Université Saad Dahleb, Blida-Algerie, (2010), pp. 1-185.

[8] M. Madani et Z. Abib, « Les Adjuvants des Bétons » Séminaires sur les technologies des bitons Hilton 18 -19 Septembre 2004 ACC. 34.

[9] K.H. Khayat, Viscosity-enhancing admixtures for cement-based materials—an overview, Cement and Concrete composites 20(2-3) (1998) 171-188.

[10] D.S. Law Yim Wan, F. Aslani, G. Ma, Lightweight self-compacting concrete incorporating Perlite, Scoria, and Polystyrene aggregates, Journal of Materials in Civil Engineering 30(8) (2018) 04018178.

[11] AFGC, Bétons autoplaçants Recommandations provisoires, Association française génie civil, 2000.

[12] D. Jiao, C. Shi, Q. Yuan, X. An, Y. Liu, H. Li, Effect of constituents on rheological properties of fresh concrete-A review, Cement and concrete composites 83 (2017) 146-159.

[13] K. Kovler, N. Roussel, Properties of fresh and hardened concrete, Cement and Concrete Research 41(7) (2011) 775-792.

[14] Y. Ouldkhaoua, Développement des eco-betons autoplaçants a base des co-produits et déchets : caractérisation et performance, Thése de doctorat, Université Amar Telidji Laghouat -Algérie, (2020), p. 240.

[15] P. Domone, Mortar tests for material selection and mix design of SCC, Concrete International 28(4) (2006) 39-45.

[16] H. Okamura, K. Ozawa, Mix design for self-compacting concrete, Concrete library of JSCE 25(6) (1995) 107-120.

[17] Q. Wu, X. An, Development of a mix design method for SCC based on the rheological characteristics of paste, Construction and Building Materials 53 (2014) 642-651.

[18] H. Okamura, K. Ozawa, Self-compactable high-performance concrete in Japan, Special publication 159 (1996) 31-44.

[19] T. Sedran, LES BETONS AUTONIVELANTS (BAN)-SYNTHESE BIBLIOGRAPHIQUE, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées (196) (1995).

[20] B. Van Khanh, D. Montgomery, Mixture proportioning method for self-compacting high performance concrete with minimum paste volume, Self-compacting concrete (Stockholm, 13-14 September 1999), 1999, pp. 373-384.

[21] P. Turcry, A. Loukili, Différentes approches pour la formulation des bétons autoplaçants: Influence sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques, Revue française de génie civil 7(4) (2003) 425-450.

[22] H. Okamura, K. Ozawa, M. Ouchi, Self-compacting concrete, structural Concrete 1(1) (2000) 3-17.

[23] M. Ouchi, S. Nakamura, T. Osterberg, S. Hallberg, M. Lwin, Applications of self-compacting concrete in Japan, Europe and the United States, Kochi University of Technology, Kochi, Japan (2003).

[24] Lauritzen E. K., 'Recycling concrete-An Overview of challenges and Opportunities', in 'Recycling Concrete and Other Materials for Sustainable Development', ACI International, Special Publication SP-219, Edited by T. C. Liu. And Ch. Meyer, Published by ACI, USA, (2004), pp. 1-10.

[25] S. Grünewald, Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete, (2004).

[26] M. De Rooij, S. Qian, H. Liu, W. Gard, J. Van de Kuilen, Using natural wood fibers to self heal concrete, (2009).

[27] J. Torkaman, A. Ashori, A.S. Momtazi, Using wood fiber waste, rice husk ash, and limestone powder waste as cement replacement materials for lightweight concrete blocks, Construction and building materials 50 (2014) 432-436.

[28] R. Muthuraj, C. Lacoste, P. Lacroix, A. Bergeret, Sustainable thermal insulation biocomposites from rice husk, wheat husk, wood fibers and textile waste fibers: Elaboration and performances evaluation, Industrial Crops and Products 135 (2019) 238-245.

[29] A. Bledzki, J. Gassan, Composites reinforced with cellulose based fibres, Progress in polymer science 24(2) (1999) 221-274.

[30] Y. Wang, H. Wu, V.C. Li, Concrete reinforcement with recycled fibers, Journal of materials in civil engineering 12(4) (2000) 314-319.

[31] J. Dardare, Contribution à l'etude du Comportement Mécanique des Bétons Renforcés avec des Fibres de Polypropyléne, RILEM Symposium on Fiber-Reinforced Cement and Concrete, London, ed. AM Neville, 1975, pp. 227-235.

[32] K. Poh, General creep-time equation, Journal of materials in civil engineering 10(2) (1998) 118-120.

[33] F. Alkhairi, A. Naaman, Compressive strength and modulus of high early strength fiber reinforced concrete, RILEM PROCEEDINGS, CHAPMAN & HALL, 1992, pp. 138-138.

[34] M. Zhang, R. Chevrier, V. Malhorta, J. Mirza, Use of High-Volume Fly Ash in Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Shotcrete Applications, Special Publication 170 (1997) 681-722.

[35] P. Rossi, S. Renwez, F. Guerrier, Les betons fibres a ultra-hautes performances L'experience actuelle du LCPC, BULLETIN-LABORATOIRES DES PONTS ET CHAUSSEES (1996) 87-96.

[36] M. Bentalha, H. Houari, Étude du comportement des matrices cimentaires renforcées de fibres métalliques sous chargement monotone croissant, Sciences & Technologie. B, Sciences de l'ingénieur (2007) 51-58.

[37] E. Dallaire, Etude du comportement a la flexion et a la compression de betons a haute performance renforces de fibres d'acier (French text), (1995).

[38] ACI 544 Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice 2006, American Concrete Institute, Farmington Hills, (2006),p 104 .

[39] H.B. Dhonde, Y. Mo, T.T. Hsu, Fiber reinforcement in prestressed concrete beams, 2005.

[40] P. Groth, Fibre reinforced concrete: fracture mechanics methods applied on self-compacting concrete and energetically modified binders, Luleå tekniska universitet, 2000.

[41] H.B. Dhonde, Y. Mo, T.T. Hsu, J. Vogel, Fresh and hardened properties of self-consolidating fiber-reinforced concrete, ACI materials journal 104(5) (2007) 491.

[42] Ö. Petersson, Preliminary mix-design, Brite EuRam Program: Rational production and improved working environment through using self compacting concrete. Task 1 (1998) 1-41.

[43] P. Groth, D. Nemegeer, The use of steel fibres in self-compacting concrete, First Int. Symposium od SCC, Stockholm, Edited by Skerendahl and Petersson, RILEM publications PRO7, Cachan, 1999.

[44] M. Alcantara, Mouret. M., Pons. G., Granju. JL.,(2005)―Self-compacting concrete with hybrid fiber reinforcement: workability and mechanical behaviour‖, 4 th International Symposium on Self-Compacting Concrete, 2003, pp. 17-20.

[45] J. Granju, V. Sabathier, M. Alcantara, G. Pons, M. Mouret, 120. Hybrid fibre reinforcement of ordinary or self-compacting concrete, 6th International RILEM Symposium on Fibre Reinforced Concretes, RILEM Publications SARL, 2004, pp. 1311-1320.

[46] A. Kawamata, H. Mihashi, H. Fukuyama, Properties of hybrid fiber reinforced cement-based composites, Journal of advanced concrete Technology 1(3) (2003) 283-290.

[47] G. Pons, M. Mouret, M. Alcantara, J. Granju, Mechanical behaviour of self-compacting concrete with hybrid fibre reinforcement, Materials and structures 40(2) (2007) 201-210.

[48] A. Boukhelkhal, Comportement physico-mecanique et durabilite en climat chaud des mortiers autoplaçants à base d'ajouts binaires et ternaires., Thèse de doctorat,, Université Amar Telidji Laghouat-Algerie, (2019), pp. 1-239.

[49] M. Uysal, M. Sumer, Performance of self-compacting concrete containing different mineral admixtures, Construction and Building materials 25(11) (2011) 4112-4120.

[50] A. Boukhelkhal, L. Azzouz, A.S.E. Belaïdi, B. Benabed, Effects of marble powder as a partial replacement of cement on some engineering properties of self-compacting concrete, Journal of adhesion science and Technology 30(22) (2016) 2405-2419.

[51] O. Boukendakdji, E.-H. Kadri, S. Kenai, Effects of granulated blast furnace slag and superplasticizer type on the fresh properties and compressive strength of self-compacting concrete, Cement and concrete composites 34(4) (2012) 583-590.

[52] M. Uysal, K. Yilmaz, Effect of mineral admixtures on properties of self-compacting concrete, Cement and Concrete Composites 33(7) (2011) 771-776.

[53] S. EFNARC, Guidelines for Self-Compacting Concrete, European Federation for Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, Norfolk, UK, English ed., February (2002).

[54] D. Wang, C. Shi, N. Farzadnia, Z. Shi, H. Jia, A review on effects of limestone powder on the properties of concrete, Construction and building materials 192 (2018) 153-166.

[55] Z. Guemmadi, H. Houari, M. Resheidat, B. Toumi, Better use of limestone filler in concrete, Proceedings of the International Conference on Construction and Building Technology, ICCBT, Kuala Lumpur, Malaysia, 2008, pp. 16-20.

[56] B. Benabed, H. Soualhi, A.S.E. Belaidi, L. Azzouz, S. Kenai, Effect of limestone powder as a partial replacement of crushed quarry sand on properties of self-compacting repair mortars, Journal of Building Materials and Structures 3(1) (2016) 15-30.

[57] M.Y. Celik, E. Sabah, Geological and technical characterisation of Iscehisar (Afyon-Turkey) marble deposits and the impact of marble waste on environmental pollution, Journal of environmental management 87(1) (2008) 106-116.

[58] K.E. Alyamaç, R. Ince, A preliminary concrete mix design for SCC with marble powders, Construction and Building Materials 23(3) (2009) 1201-1210.

[59] D.M. Sadek, M.M. El-Attar, H.A. Ali, Reusing of marble and granite powders in self-compacting concrete for sustainable development, Journal of Cleaner Production 121 (2016) 19-32.

[60] M. Singh, K. Choudhary, A. Srivastava, K.S. Sangwan, D. Bhunia, A study on environmental and economic impacts of using waste marble powder in concrete, Journal of Building Engineering 13 (2017) 87-95.

[61] I.B. Topcu, T. Bilir, T. Uygunoğlu, Effect of waste marble dust content as filler on properties of self-compacting concrete, Construction and building Materials 23(5) (2009) 1947-1953.

[62] ASTM C618-17a. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. ASTM International, West Conshohocken, PA, (2017).

[63] Y. Senhadji, G. Escadeillas, M. Mouli, H. Khelafi, Influence of natural pozzolan, silica fume and limestone fine on strength, acid resistance and microstructure of mortar, Powder technology 254 (2014) 314-323.

[64] Krachaï R.M, Bouabdallah M.A, Abdelhadi H, Mamou K. Influence de la pouzzolane de Beni-Saf sur les performances mécaniques des bétons autoplaçants. First International Conference on Sustainable Built Environment Infrastructures in Developing Countries ENSET, Oran, Algeria,(2009).

[65] M. Gesoğlu, E. Güneyisi, E. Özbay, Properties of self-compacting concretes made with binary, ternary, and quaternary cementitious blends of fly ash, blast furnace slag, and silica fume, Construction and Building Materials 23(5) (2009) 1847-1854.

[66] S. Chu, A. Kwan, Co-addition of metakaolin and silica fume in mortar: effects and advantages, Construction and Building Materials 197 (2019) 716-724.

[67] L. Oliveira, S. Jalali, J. Fernandes, E. Torres, L'emploi de métakaolin dans la production de béton écologiquement efficace, Materials and structures 38(3) (2005) 403-410.

[68] A.M. Rashad, Metakaolin as cementitious material: History, scours, production and composition–A comprehensive overview, Construction and building materials 41 (2013) 303-318.

[69] I.P. Sfikas, E.G. Badogiannis, K.G. Trezos, Rheology and mechanical characteristics of self-compacting concrete mixtures containing metakaolin, Construction and Building Materials 64 (2014) 121-129.

[70] The Concrete Society, BRE. Technical report No.62 self-compacting concrete: a review. Day RTU, Holton IX, editors, Camberley, UK, Concrete Society, Surrey GU17 9AB, UK, 2005.

[71] A. Hassan, M. Lachemi, K. Hossain, Effect of metakaolin on the rheology of self-consolidating concrete, Design, production and placement of self-consolidating concrete, Springer2010, pp. 103-112.

[72] Infociments. L'essentiel: les données statistiques annuelles de l'industrie cimentière en France, 2017.https://www.infociments.fr/infociments-2017-lessentiel.

[73] O. Boukendakdji, S. Kenai, E. Kadri, F. Rouis, Effect of slag on the rheology of fresh self-compacted concrete, Construction and Building Materials 23(7) (2009) 2593-2598.

[74] Harbi R. Comportement mécanique et durabilité des mortiers à base de déchets de briques. Mémoire de Magister 2009, Université de Guelma, Algérie.

[75] M. O'Farrell, S. Wild, B. Sabir, Pore size distribution and compressive strength of waste clay brick mortar, Cement and Concrete composites 23(1) (2001) 81-91.

[76] S. Karaman, S. Ersahin, H. Gunal, Firing temperature and firing time influence on mechanical and physical properties of clay bricks, (2006).

[77] L. Turanli, F. Bektas, P. Monteiro, Use of ground clay brick as a pozzolanic material to reduce the alkali–silica reaction, Cement and Concrete Research 33(10) (2003) 1539-1542.

[78] J.M. Ortega, V. Letelier, C. Solas, G. Moriconi, M.Á. Climent, I. Sánchez, Long-term effects of waste brick powder addition in the microstructure and service properties of mortars, Construction and Building Materials 182 (2018) 691-702.

[79] K. Afshinnia, P.R. Rangaraju, Influence of fineness of ground recycled glass on mitigation of alkali–silica reaction in mortars, Construction and Building Materials 81 (2015) 257-267.

[80] L. Rodier, H. Savastano Jr, Use of glass powder residue for the elaboration of eco-efficient cementitious materials, Journal of Cleaner Production 184 (2018) 333-341.

[81] R. Senthamarai, P.D. Manoharan, Concrete with ceramic waste aggregate, Cement and concrete composites 27(9-10) (2005) 910-913.

[82] A. Gonzalez-Corominas, M. Etxeberria, Properties of high performance concrete made with recycled fine ceramic and coarse mixed aggregates, Construction and Building Materials 68 (2014) 618-626.

[83] S. Subaşı, H. Öztürk, M. Emiroğlu, Utilizing of waste ceramic powders as filler material in self-consolidating concrete, Construction and Building Materials 149 (2017) 567-574.

[84] A.S. El-Dieb, D.M. Kanaan, Ceramic waste powder an alternative cement replacement–Characterization and evaluation, Sustainable Materials and Technologies 17 (2018) e00063.

[85] D.M. Kannan, S.H. Aboubakr, A.S. El-Dieb, M.M.R. Taha, High performance concrete incorporating ceramic waste powder as large partial replacement of Portland cement, Construction and Building Materials 144 (2017) 35-41.

[86] E. Lasseuguette, S. Burns, D. Simmons, E. Francis, H. Chai, V. Koutsos, Y. Huang, Chemical, microstructural and mechanical properties of ceramic waste blended cementitious systems, Journal of Cleaner Production 211 (2019) 1228-1238.

[87] N. EN, 933-1., 2006, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 1.

[88] N. EN, 1097-6, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, AFNOR, 2006.

[89] N. EN, 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 8 (2015).

[90] B. EN, 12350-8, 2010 Testing fresh concrete, Part 8: Selfcompacting concrete, Slump-flow test, British Standards Publication (2010).

[91] B. EN, 12350. Testing fresh concrete, self-compacting concrete; Technical committee, British Standards Institution: London, UK (2010).

[92] B. EN, 12350-10.(2010). Testing Self Compacting Concrete: L-Box Test, British Standard Int.

[93] B. EN, 12350-11.(2010). Testing Self Compacting Concrete: Sieve Segregation Test, British Standard Int.

[94] B. EN, 12390-5. Testing hardened concrete–Part 5: flexural strength of test specimens, British Standards Institution-BSI and CEN European Committee for Standardization (2009).

[95] M. EFNARC, The European Federation of Specialist Construction and Concrete System" The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use (2005).

[96] A. Belaidi, Contribution à l'étude rhéologique et durabilité de béton autoplaçant : Apport des ajouts cimentaires ternaires et des fillers locaux et industriels, Thése de doctorat, Université Saad Dahleb Blida-Algerie, (2013), pp. 1-192.

[97] B. Benabed, Influence de la qualité et de la nature des sables sur les performances et la durabilité des bétons autoplaçants, Thése de doctorat, Université Amar Telidji Laghouat-Agerie, (2014), pp. 1-226.

[98] T.A. Boucetta Contribution du laitier granulé et de la poudre de verre sur les propriétés d'écoulement et de durabilité des bétons autoplaçants et de hautes performances, Thèse de Doctorat Université Badji Mokhtar Anaba-Algerie, (2014), pp. 1-210.

[99] I. Irki, F. Debieb, E.-H. Kadri, O. Boukendakdji, M. Bentchikou, H. Soualhi, Effect of the length and the volume fraction of wavy steel fibers on the behavior of self-compacting concrete, Journal of adhesion science and Technology 31(7) (2017) 735-748.

[100] T. Omar, Etude de comportement rhéologiques des bétons autoplaçant Locaux Thèse de doctorat, Universite Aboubakr Belkaid Telmcen-Algérie, (2017), p. 145.

[101] B. Akcay, M.A. Tasdemir, Mechanical behaviour and fibre dispersion of hybrid steel fibre reinforced self-compacting concrete, Construction and Building Materials 28(1) (2012) 287-293.

[102] S. As'ad, P. Gunawan, M.S. Alaydrus, Fresh state behavior of self compacting concrete containing waste material fibres, Procedia engineering 14 (2011) 797-804.

[103] A. Khaloo, E.M. Raisi, P. Hosseini, H. Tahsiri, Mechanical performance of self-compacting concrete reinforced with steel fibers, Construction and building materials 51 (2014) 179-186.

[104] S.O.e.D. Hamza, Comportement des bétons autoplaçant à base des fibres plastiques, université yahia fares mémoire master Medea-Algerie, 2014.

[105] D. Altalabani, S. Linsel, D.K. Bzeni, Rheological Properties and Strength of Polypropylene Fiber-Reinforced Self-compacting Lightweight Concrete Produced with Ground Limestone, Arabian Journal for Science and Engineering (2020) 1-15.

[106] S. Bajakke, K. Kattimani, G. Manjunath, The Rheological Behavior of Fiber-Reinforced Self-Compacting Geopolymer Concrete: A Microstructural Analysis, IUP Journal of Structural Engineering 11(2) (2018).

[107] A.R. Taheri Fard, Combined effect of glass fiber and polypropylene fiber on mechanical properties of self-compacting concrete, Инженерно-строительный журнал: специализированный научный журнал (2 (62)) (2016).

[108] A. Bilodeau, V. Kodur, G. Hoff, Optimization of the type and amount of polypropylene fibres for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire, Cement and Concrete Composites 26(2) (2004) 163-174.

[109] P. Shafigh, H. Mahmud, M.Z. Jumaat, Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete, Materials & Design 32(7) (2011) 3926-3932.

[110] O. Kayali, M. Haque, B. Zhu, Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete, Cement and Concrete Composites 25(2) (2003) 207-213.

[111] N. Haddadou, R. Chaid, Y. Ghernouti, N. Adjou, The effect of hybrid steel fiber on the properties of fresh and hardened self-compacting concrete, Journal of Building Materials and Structures 1(2) (2014) 65-76.

[112] V. Corinaldesi, G. Moriconi, Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions, Cement and Concrete Composites 33(5) (2011) 596-601.

[113] B. Boulekbache, M. Hamrat, M. Chemrouk, S. Amziane, Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material, Construction and Building Materials 24(9) (2010) 1664-1671.

[114] I. Irki, M. Euldji, H. Bensaber, C. Settari, Characterization of stem phoenix fibres as potential reinforcement of self compacting mortar, Journal of adhesion science and Technology 32(15) (2018) 1629-1642.

[115] A. Kawamata, H. Mihashi, H. Fukuyama, Flexural failure properties of hybrid fiber reinforced cementitious composites, Proceedings of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, 2000, pp. 69-72.

Références bibliographiques

[116] G. Centonze, M. Leone, M. Aiello, Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization, Construction and Building Materials 36 (2012) 46-57.

[117] E. Awwad, M. Mabsout, B. Hamad, M.T. Farran, H. Khatib, Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers, Construction and Building Materials 35 (2012) 710-717.

[118] P. Rossi, Les bétons de fibres métalliques, Ed. Techniques Ingénieur1998.

[119] I. Zemir, F. Debieb, S. Kenai, Y. Ouldkhaoua, I. Irki, Strengthening of ordinary vibrated concrete using steel fibers self-compacting concrete, Journal of Adhesion Science and Technology (2020) 1-16.

ANNEXES

ANNEX

Annexe A : Fiche technique du superplastifiant (Medaflow 30)

NOTICE TECHNIQUE 1101

MEDAFLOW 145

Conforme à la norme NF EN 934-2 :TAB 1 ,TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774

Super plastifiant – Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAFLOW 145** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la nouvelle génération d'adjuvants. Il est conçu à base de poly carboxylates d'éther modifiés et son utilisation dans le béton permet l'obtention d'un long maintien d'ouvrabilité.
Le **MEDAFLOW 145** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la quantité d'eau de gâchage du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 145** ne présente pas d'effet retardateur.

CARACTERISTIQUES

- Forme .....Liquide
- Couleur .....brai clair
- pH ..... 5 – 6
- Densité..... 1.065 ± 0,015
- Teneur en chlore..... < 1g/L
- Extrait sec .....30±1.5%

PROPRIETES ET EFFETS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 145** permet :
Sur béton frais :

- l'obtention d'un E/C très bas
- Béton plastiques à fluides
- une très bonne maniabilité
- un long maintien de l'ouvrabilité
- de faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- bonne résistances initiale et finales .
- de diminuer la porosité
- bel aspect de parement au décoffrage
- de diminuer le retrait

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - nivelant
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons avec ferraillage dense

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,3 à 2,0 % du poids de ciment soit 0.33 à 1.8 litre pour 100 Kg de ciment.
Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 145** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 60% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.
Il est recommandé de réaliser des essais dans les conditions de chantier afin de déterminer le dosage fournissant les résultats recherchés.
Par temps chaud, le **MEDAFLOW 145** peut être combiné à un retardataire de prise **MEDARETARD GR** .

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAFLOW 145** est conditionné en bidons de 10 l et fûts de 210 et 240 kg.et cubitainer 1100 kg
Délai de conservation :
12 mois dans son emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur (5°C < t < 35°C).

Précaution d'emploi:
Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur notre site web : www.granitex.dz

ANNEX

Annexe B : Fiche de calcule des BAP élaborés.

✍ Les données

Pour un volume de béton de volume V=33 litres

A. **Masses volumiques**

- Masse volumique apparente du gravier (on prend l'exemple du gravier roulé) : ρ_G =1373kg/m^3
- Masse volumique absolue du gravier (gravier roulé) : ρ_{AG} = 2666kg/m^3
- Masse volumique absolue du sable : ρ_S = 2631kg/m^3
- Masse volumique absolue du ciment : ρ_C =3150kg/m^3

B. Coefficients d'absorption

- Coefficient d'absorption du sable : A_{bS} = 0.6
- Coefficient d'absorption du gravier : A_{bG} = 2.22
- Le rapport Sable/Mortier : S/M = 0.45
- Le pourcentage du gravier est de 50% de sa densité apparente donc son dosage sera de : $$G(\text{kg/m}^3) = \frac{\rho_G \times 50}{100}$$
- Le volume d'air dans le béton en pourcentage : A=1% du volume du béton
- Le rapport Eau/Ciment est de E/C_{volume}=1.26 par unité de volume de ciment et $E/C_{poids} = E/C_{volume} / \rho_C = 0.40$ par unité de poids de ciment
- Le pourcentage de superplastifiant (**MEDAFLOW145**) : %Sp= 0.9% du poids de ciment, le **MEDAFLOW145**

ANNEX

✍ Calcul d'humidité

Comme on doit calculer l'humidité du sable pour la composition du mortier, dans la composition du béton on doit calculer l'humidité du sable et du gravier aussi pour apporter les corrections nécessaires à la formulation.

On prend un échantillon de sable de masse M_1 et un échantillon de gravier de masse M'_1 et on les met dans l'étuve réglée à 105°C pour une durée de 6minutes pour le gravier et une durée de 8minutes pour le sable, puis on pèse M_2 et M'_2 les masses respectives du gravier et du sable.

- L'humidité du sable : $\mu_S = \dfrac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$

- L'humidité du gravier : $\mu_G = \dfrac{M'_1 - M'_2}{M'_2} \times 100$

✍ Calcul des différents composants

A. Gravier

La quantité **G** en kg du gravier nécessaire pour un volume de béton V :

$$G(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

B. Sable

Pour calculer la quantité du sable dans le béton on calcule avant tout le pourcentage du gravier dans le béton (**%G**), le pourcentage du mortier par rapport au béton (**%M**) puis le pourcentage du sable dans le béton (**%S**) pour arriver à la quantité du sable dans un volume V de béton (**S**) :

- Le pourcentage du gravier dans le béton :

$$\%G = \frac{G(kg/m^3)}{\rho_{AG} \times 10}$$

- Le pourcentage du volume de mortier par rapport au volume de béton :

$$\%M = 100 - \%G - \%A$$

- Le pourcentage du sable dans le béton :

$$\%S = \frac{\%M \times S/M}{100}$$

- Quantité du sable **S** en (kg) pour un volume V de béton :

$$S(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(1 + \frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

D'où on peut obtenir le rapport G/S de notre composition

C. Ciment

- Pourcentage de volume pâte dans le béton (**%P**) :

$$\%P = \%M - \%S$$

- Pourcentage de ciment dans le béton (**%C**) :

$$\%C = \frac{1}{1 + E/C_{volume}} \times \%P$$

- La quantité de ciment **C** en (kg) pour un volume V de béton :

$$C(kg) = \%C \times \rho_C \times 10 \times \frac{V}{1000}$$

D. Superplastifiant

- Le dosage en superplastifiant par mètre cube de béton **Sp** (kg/m^3)

$$Sp(kg/m^3) = \frac{\%Sp}{100} \times \%C \times \rho_C \times 10$$

- La quantité de superplastifiant **Sp** en (kg) pour un volume V de béton :

$$Sp(kg) = Sp(kg/m^3) \times V$$

E. Eau

L'eau ajoutée au béton (**E**) est divisée en deux partie : la première partie (**E_1**) est de 70% de (**E**) elle est ajoutée durant la première minute de malaxage et la deuxième partie (**E_2**), elle de 30% de (**E**) est ajoutée au superplastifiant est l'ensemble est ajouté au mélange du béton durant la deuxième minute de malaxage.

- Le pourcentage d'eau dans le béton (**%E**) :

$$\%E = \frac{E / C_{volume}}{1 + E / C_{volume}} \times \%P$$

Calcul de l'eau contenue dans le sable, dans le gravier et dans le superplastifiant, cette eau (e) doit être extraite :

- L'eau contenue dans le sable : e_1

$$e_1(kg) = \frac{\%S \times \rho_{AS} \times V}{1000}\left(\frac{\mu_S - A_{bS}}{100}\right)$$

- L'eau contenue dans le gravier : e_2

$$e_2(kg) = \frac{G(kg/m^3) \times V}{1000}\left(\frac{\mu_G - A_{bG}}{100}\right)$$

- L'eau contenue dans le superplastifaint : e_3

$$e_3 = \frac{Sp(kg) \times 80}{100}$$

- L'eau à extraire: e

$$e = e_1 + e_2 + e_3$$

D'où la quantité d'eau globale E en (kg) pour un volume Vde béton :

Avec :

$$E(kg) = \frac{\%E \times 10 \times V}{1000} - e$$

Eau1 $E_1(kg) = 0.70 \times E$ **Eau2** $E_2(kg) = 0.30 \times E$