REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITEYAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en Génie civil

Thème

Influence couplée des granulats recyclés et fibres sur le comportement et la durabilité du béton

---

Réaliséet présenté par :

BELLATRECHE Nabil

&

TETA Lamine

ProposéetDirigépar :

Pr.DEBIEBFarid

Co-encadré par :

Doctorante :BAYAH Mariem

PromotionJuin2021

Remerciements

Nous tenons tout d'abord à remercier ALLAH pour nous avoir guidés vers le bon chemin de la lumière et du savoir et pour nous avoir donné du courage, de la volonté afin de pouvoir réaliser ce modeste travail.

Nous tenons à exprimer nos profondes gratitudes à nos encadreurs Pr. Debieb Farid et Melle Bayeh Meriem pour l'encadrement de ce mémoire, pour leurs aides, leurs patiences et la confiance qu'ils nous ont accordé.

Nos sincères remerciements vont également à tous les enseignants du génie civil de l'université de Médéa.

Nos gratitudes à tous les membres du jury qui font l'honneur de juger notre travail.

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

Enfin nous remercions tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire.

DEDICACES

Nous dédions ce travail à tous nos amies et collègues, nos familles, et surtout à nos parents qui nous ont soutenue depuis le début jusqu'à ce que nous ayons atteint ce stade, nous leur souhaitons une vie longue et prospère.

BELLATRECHE Nabil

&

TETA Lamine

ملخص

يهدف هذا البحث إلى دراسة التأثير المشترك للألياف البلاستيكية والركام المعاد تدويره على سلوك الخرسانة ذاتية التماسك. تتم إضافة الألياف البلاستيكية من نوع PET والرمل المعاد تدويره من الخرسانة القديمة إلى الخرسانة ذاتية التماسك على التوالي بنسبة (0.3 ، 0.5 ، 1 و 1.2٪) و (25 ، 50 ، 75 و 100٪). أظهرت النتائج التي تم العثور عليها التأثير المفيد لألياف PETعلى سلوك الخرسانة ذاتية التماسكمعالرمل المعاد تدويره .كما تم إثبات إمكانية تحسين خصائص الخرسانة ذاتية التماسك من خلال الإضافة المشتركة للنفايات المستخدمة معا.

كلمات المفاتيح :

إعادة الاستعمال ، نفايات الخرسانة ، الألياف البلاستيكية ، الخرسانات، التجارب .

Résumé

Ce travail de recherche vise à étudier l'effet couplé des fibres plastiques et des granulats recyclés sur le comportement du béton autoplaçant (BAP). Des fibres plastiques de type PET et du sable recyclé d'ancien béton sont ajouté au BAP respectivement avec (0.3, 0.5, 1 et 1.2%) et (25, 50, 75 et 100%). Les résultats trouvés montrent l'effet bénéfique des fibres PET sur le comportement à l'état durci et la durabilité du BAP a base de sable recyclé. Il est mis en évidence aussi la possibilité d'amélioration des propriétés du BAP recyclé par l'ajout combiné des deux déchets utilisés.

Mots clés

Réutilisation, déchets de béton, fibres plastiques, bétons, expérimentations.

Abstract

This research work aims to study the combined effect of plastic fibers and recycled aggregates on the behavior of self-compacted concrete (SCC). Plastic fibers of PET type and recycled sand from old concrete are added to the SCC respectively with (0.3, 0.5, 1 and 1.2%) and (25, 50, 75 and 100%). The results found show the beneficial effect of PET fibers on the hardened behavior and durability of SCC with recycled sand. It is also demonstrated the possibility of improving the properties of recycled SCC by the combined addition of the two wastes used.

Keywords

Reuse, concrete waste, plastic fibers, concretes, experiments.

SOMMAIRE

REMERCIEMENTS
RESUMES
SOMMAIRE
LISTE DES TABLEAUX
LISTE DES FIGURES
NOTATION ET ABREVIATION

IntroductionGénérale

CHAPITRE I : Revue Bibliographique

I.1 Aperçu général sur les bétons autoplaçant 3

I.1.1 Historique 3

I.1.2 Avantages et inconvénients des bétons autoplaçants 3

I.1.3 Constituant d'un béton autoplaçants.....4

I.1.4 Caractéristique des BAP à l'état frais.....9

I.1.5 Caractérisation de BAP à l'état durci 13

I.1.5.1 Résistance à la compression 13

I.1.5.2 Résistance à la traction 15

I.1.5.3 Module d'élasticité 15

I.1.5.4 Retraits 16

I.1.6 Formulations et Compositions des BAP 17

I.1.6.1 Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon).....18

I.1.6.2 Formulation CBI modifiée 18

I.1.6.4 Application des BAP dans le monde.....20

I.2. les betons autoplaçant fibres 23

I.2.1 Introduction 23

I.2.2 Les fibres 23

I.2.3 Différent types de fibres 23

I.2.3.1 Les fibres métaliques 24

I.2.3.2 Les fibres de fonte amorphe 24

I.2.3.3 Les fibres de verre 25

I.2.3.4 Les fibres de polypropylène 25

I.2.3.5 Les fibres végétales ……26
I.2.3.6 Les fibres de Bois 26
I.2.3.7 Les fibres de Surface 26
I.3 Propriétés mécaniques de béton de fibre……27
I.3.1 Résistance à la compression……..27
I.3.2 Résistance à la traction par flexion……27
I.3.3 Résistance au choc……27
I.3.4 Résistance à l'usure……...27
I.3.5 Résistance aux agents extérieurs……...27
I.3.6 Module de Young……..28
I.3.7 Ténacité de la matrice……28
I.4 Béton autoplaçant fibré ……29
I.4.1 Definition ……29
I.4.2 Influence des fibres sur les propriété à l'état frais ……30
I.4.2.1 Effet sur l'étalment ……30
I.4.2.2 Orientation et distribution des fibres ……31
I.4.3 Comportement mécanique des bétons autoplaçant fibrés ……31
I.4.3.1 comportement à la flexion ……32
I.4.3.2 comportement à la compression et à la traction ……..33
I.4 .4 utilisation des BAP fibres dans les structures ……34
I.5 Les bétons à base des granulats recyclés 36
I.5.1 La valorisation des granulats recyclés……...37
I.5.2 Béton avec des granulats recyclés dans le code international……...39
I.5.2.1 Classification des granulats recyclés……...39
I.5.2.2 Les granulats provenant de la construction, de la réhabilitation et de la Démolition des bâtiments…….……40
I.5.2.3 Les granulats recyclés provenant des structures routières :……..41
I.5.2.4 Terminologie et identification des déchets : 42
I.5.3 Utilisation des granulats recyclés dans le béton……...43
Influence des granulats recyclés dans la fabrication des bétons…….43
CHAPITRE II: Matériaux et Essais
II.1Introduction… 51
II.2Caractérisation des matériaux utilisés 51
II.2.1Ciment …….. 51
II.2.2Sable…….. .....……52

II.2.3Gravier……52
II.2.4Eau de gâchage 51
II.2.5Super plastifiant 51
II.2.6Fibre plastique 51
II.2.7Granulats recyclés 52
II.3 Formulation du béton 53
II.4 Préparation du mélange (Malaxage) 54
II.5 Les essais effectués sur BAP 56
II.5.1 Essais à l'état frais 56
II.5.1.1 Essais d'étalement et T50 56
II.5.1.2 Essai d'entonnoir en V (V-funnel) 60
II.5.1.3 Essai de La Boîte En L (L-Box) 61
II.5.1.4 Essai de stabilité au tamis 59
II.5.2 Essai à l'état durcis 60
II.5.2.1 Essai de résistance traction par flexion 60
II.5.2.2 Essai de résistance à la compression 61
II.5.2.3 Absorption d'eau par capillarité 62
II.6 Confection et conditionnement des éprouvettes 63

CHAPITRE III : Résultat et interprétations

III Introduction ……74
III.1 A l'état frais……...74
III.1.3 Effet desfibresplastiquessurlavaleurdeT_{500}et l'étalement……..74
III.1.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel……..75
III.1.3 CapacitédeRemplissageàtraverseL–Box ……77
III.1.4 Stabilité au tamis…….79
III.2 Al'êtasdurci……80
III.2.1 Résistance à la compression……...80
III.1.2 Résistance à la traction…….82

Listes des figures

CHAPITREI: RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Figure I-1:formulation qualitative du BAP…….…….....…….4

Figure I-2: Action des super-plastifiants…….……8

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

Figure I-4 :Résistancemécanique d'unbétonvibréetde 2BAP…..…….……13

FigureI-5:Comparaisondesmodulesd'élasticitéd'aprèslescodesdeconstruction…...15

Figure I-6: Le pont Akashi Kkaikyo……..…….20

Figure I-7: La tour Landmark Tower……..……...…21

Figure I-8 :Fibre métallique…….23

Figure I-9 :Fibre de fonte amorphe…….24

Figure I-10 :Fibres de verre……..…….…….25

Figure I- 11: Effet des fibres sur l'étalement des BAP……30

Figure I-12 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions…….…..…….32

Figure I-13 :Comportement à la traction de différentes compositions…….…….33

Figure I-14 : Deux types de palplanche……...……34

Figure I-15 : Exemple d'un voussoir…….…..……36

CHAPITREII: MATERIAUX ET ESSAI.

Figure-II.1 : Analyse granulométrique des granulats utilisés…….50

Figure-II.2 : Forme de fibre utilisée……..……..52

FigureII-3:Protocole de concassagedesdéchetsdesbétons……..…….52

Figure II-4: Séquence de malaxage du BAP…….…….54

Figure III-5: Essais d'étalement……...55

Figure II-6 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel)…….56

Figure II-7: Protocole de l'essai de la boîte de L-Box…….……...……...58

Figure II-8 : Protocole de l'essai de stabilité au tamis……..……58

FigureII-9:Protocoledel'essai detractionpar flexion……59

Figure III-10: Dispositif de rupture à la compression……...60
Figure III-11 :Essais absorption par capillarité…….…….60

ChapitreIII : Résultats et Interprétation

Figure*III*-1 *: Etalement* et temps d'écoulement des BAPF en fonction de dosage des fibres……..62

Figure III-2: Etalement et tempes d'écoulement des BAPSR en fonction de SR…….....63

Figure III-3: Temps d'écoulement des BAPF en fonction de Dosage des fibre……....64
Figure III-4: Temps d'écoulement des BAPSR en fonction de SR……...…65
Figure III-5: Rapport des hauteurs des BAPF en fonction de dosage des fibres …….....66
Figure III-6: Temps : Rapport des hauteurs des BAPSR en fonction de SR…..…..…..…....67
Figure III-7: Résistance à la ségrégation, des BAPF en fonction de dosage des fibres....68
Figure III-8: Résistance à la ségrégation, des BAPSR en fonction de SR……..68

Figure III-9Résisstance à la compression(MPa) en fonction de dosage des fibres…..….69

Figure III-10 Résistance à la compression(MPa)en fonction de SR…….……70
Figure III-10 Résistance à la traction(MPa)en fonction de SR…….…….71
Figure III-11Résisstance à la traction(MPa)de dosage des fibres……..……...72
Figure III-12 Résistance à la traction(MPa)en fonction de SR…….…….73

Listes des tableaux

CHAPITREI:RECHERCHEBIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I-1 : recommandation des essais du BAP ……..……..10

CHAPITREII:MATERIAUXETESSAI

Tableau II-1 : Différents compositions utilisées dans la recherche…….……48

Tableau III-2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisé……..49

Tableau III-3 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés…….……52

Tableau III-4 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés…….52

Tableau II-5: Compositions des formulations BAP adopté pour 1…….53

Tableau II.6: Compositions de différentes formulations BAPFétudiés dans un volume de $1m3$…….…54

Tableau II.7: Compositions de différentes formulations BAPSR étudiées dans un volume de$1m^3$debéton…….……55

Introduction générale

De nos jours, le béton fait partie de notre cadre de vie, c'est l'un des matériaux déconstruction les plus utilisés dans le monde. En effet, la simplicité de sa fabrication et de sa mise en place, son aspect durable et économique en plus des performances mécaniques qu'il assure, ont légitimé son utilisation pour réaliser les ouvrages les plus divers. D'abor les bétons autoplacants (BAP) plus qu'une nouvelle famille de béton,es BAP constituent davantage une nouvelle technologie de construction. Il se distingue par sa fluidité, sa déformabilité et sa facilité de mise en place sans vibration. Il épouse parfaitement les formes des coffrages. Les plus complexes et permet ainsi la réalisation de formes compliquées ou d'ouvrages à densité d'armatures élevée tout en présentant généralement des surfaces de meilleure qualité.

Ces avantages sont d'ordre technico-économiques mais également social ensuite Le fibrage des bétons permet de leur conférer une meilleure résistance à la propagation de la fissuration et d'augmenter leurs résistances mécaniques dans certaines conditions. Cela a amené les chercheurs à réfléchir. Ses propriétés mécaniques sont l'un des domaines les plus investis, et il reste aujourd'hui à conquérir. Au cours des dix dernières années, nous avons beaucoup travaillé afin de mieux comprendre le rôle joué par l'existence de la fibre et d'améliorer encore le potentiel de la fibre. Les modifications qui en résultent dépendent notamment de la géométrie et des propriétés des fibres introduites (polymères, métaux, plastiques, verre, carbone...), de leurs fractions volumiques et de leur vieillissement dans le béton. En ajoutant des fibres aux composants initiaux du béton, le comportement fragile du béton peut être évité, qui agit comme un renfort et compense la fragilité. Ainsi la production de granulats recyclés s'est développée au début des années 1980 en réponse à la demande de sources alternatives de granulats et de réduction des déchets. L'utilisation de ces granulats recyclés dans le béton présente plusieurs avantages en termes d'environnement, d'humanité, de technologie et

d'économie, qui attirent de plus en plus l'attention des industriels.

Objectifs de travail

L'objectif principal de cette recherche est de favoriser la réutilisation des déchets de béton dans la fabrication de béton autoplaçant fibré (fibre plastique), permettant ainsi l'élimination des déchets grâce au recyclage et protégeant ainsi l'environnement. Ceci mène aussi à aider à résoudre certains problèmes liés au manque de granulats, notamment ceux liés à l'utilisation des granulats alluviaux et contribuer au renforcement de la matrice du BAP à base de fibre plastique.

Plan de travail

Cette mémoire est divisé en trois chapitres :

Le premier chapitre présente la recherche bibliographique des BAP, leurs propriétés à l'état frais et durci afin d'avoir une compréhension approfondie de la fibre, de leur utilisation et de l'influence de la fibre sur la rhéologie du BAP. Et les activités de recyclage et de recyclage dans les bâtiments.

Le chapitre 2 décrit les matériaux utilisés et les tests effectués, et est une partie réservée du sujet pour des informations détaillées sur les expériences réalisées tout au long du processus de recherche.

Le dernier chapitre est consacré aux résultats et à leur interprétation. Différents résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Au final, ce travail se termine par des conclusions générales et des suggestions pour l'avenir, afin de contourner et de compléter cette humble recherche en lançant la recherche.

CHAPITRE I : Revue Bibliographique

I.1 Aperçu général sur les bétons autoplaçants

I.1.1 Historique

Afin de suivre l'évolution des procédés de construction et de conception des structures, et de répondre aux normes politiques, économiques et environnementales, les ingénieurs et techniciens qui manipulent directement ou indirectement le béton doivent améliorer en permanence leur compréhension de leurs propres caractéristiques. Aujourd'hui, béton de construction le plus utilisé au monde (1000 kg/habitant/an), on assiste à l'avancée de la recherche d'une coopération étroite entre les universités et l'industrie, dont le but est d'améliorer et d'industrialiser de plus en plus le procédé de fabrication, car-le long- terme profit peut être Cette approche a causé des problèmes pour la recherche scientifique.

C'est dans cet esprit que plusieurs entreprises, centres de recherche et universités à travers le monde ont orienté leurs recherches vers le développement d'une nouvelle série de bétons, bien adaptée à l'évolution actuelle des structures du bâtiment. Vue (la structure se caractérise par la complexité du modèle, la forme variable et la multi-courbure, et les barres d'acier très encombrées), face à la perte de connaissances due à une main-d'œuvre de moins en moins qualifiée, notamment dans la technologie vibratoire du béton, notamment dans Japon.

I.1.2 Avantages des bétons autoplaçants

- Réduire le bruit sur site ;
- Réduire la pénibilité de la tâche ;
- Réduire les risques d'accidents ;
- Réduire les coûts de main-d'œuvre;
- Il n'y a pas de système de vibration (interne ou externe), ce qui réduit les coûts et les nuisances sonores à l'intérieur et à l'extérieur du site ;
- Réduisez le temps de coulage du béton et les besoins de réparation.

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

- Du fait de l'existence de nouveaux adjuvants et de divers additifs minéraux, le coût des matières premières a augmenté ;
- Compatibilité des matériaux ; étanchéité du gabarit .

I.1.3 Constituant d'un béton autoplaçants

Le béton se compose de deux parties principales : le granulat et la pâte (voir Figure I.2). Par rapport au béton traditionnel, le BAP a deux composants supplémentaires, qui doivent être présents dans la composition du béton. **[1]**

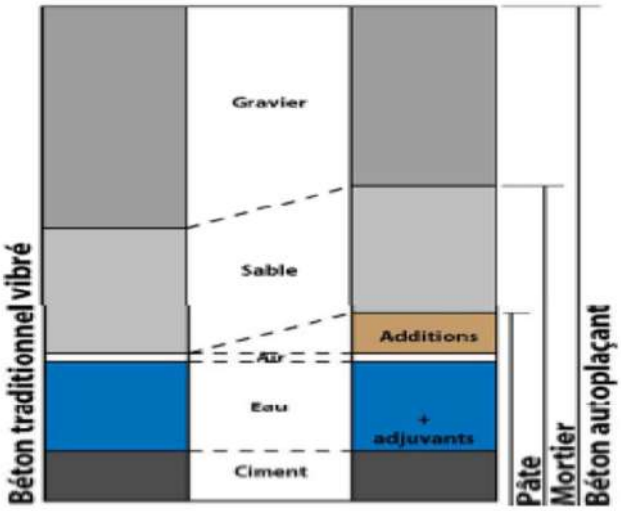


Figure I-1 : formulation qualitative du BAP [2]

La composition du BAP joue un rôle très important dans la détermination des caractéristiques du BAP à l'état frais et séché. Par conséquent, il est nécessaire de comprendre le rôle que chaque composant peut jouer et leur impact sur les caractéristiques du PAB. Cependant, la composition du BAP est la même que celle du béton ordinaire.

I.1.3.1 Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui, mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus

d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau, Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement. La somme des proportions de l'oxyde de calcium (CaO) et du dioxyde de silicium (SiO_2) réactifs doit être d'au moins 50 % en masse.

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20%. **[3]**

Les silicates et aluminates hydrauliques formés lors de celle cuisson (clinkérisation) sont:

- Le silicate tricalcique, $3CaO.SiO_2$, que l'on écrit C_3S ;
- Le silicate bicalcique, $2CaO.SiO_2$, que l'on écrit C_2S ;
- L'aluminate tricalcique, $3CaO.Al_2O_3$, que l'on écrit C_3A ;
- L'aluminoferrite et tricalcique, $4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$, que l'on écrit C_4AF.

Suivant la carrière d'origine et les performances recherchées, le clinker est constitué de 62 % à 67 % de chaux combinée (CaO), de 19 % à 25 % de silice (SiO_2), de 2 % à 9 % d'alumine (Al_2O_3), et de 1% à 5 % d'oxyde de fer (Fe_2O_3).

Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, hémi hydrates, anhydrite) et d'additifs. **[3]**

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton auto plaçant 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. **[3]**

Les différents types de ciment :

Les ciments constitués de clinker et de constituants secondaires sont classés en fonction

de leur composition, en cinq types principale. Ils sont notés CEM et numérotés de 1 à 5 en chiffres romains dans leur notation européenne (la notation française est indiquée entre parenthèse) : □□CEM I: Ciment Portland (CPA).

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

I.1.3.2 Granulats

La quantité d'agrégat affectera la maniabilité du béton. Afin d'obtenir le BAP, le volume de gravier et la taille maximale de granulat ont été réduits pour réduire les frottements et éviter le colmatage dans les zones restreintes.

L'importance des granulats grossiers pour la fluidité du BAP a été prouvée, de même que l'utilisation de granulats laminés est recommandée. En fait, le granulat roulant peut réduire le risque de ségrégation. Le volume de gros granulats dans le béton est considéré comme l'une des considérations les plus importantes.

En effet, ils ont observé que plus la teneur en gros granulats augmente, plus la capacité de remplissage diminue, ce qui est différent du ratio de mortier qui n'affecte pas le coefficient de remplissage. Par conséquent, le volume de gros granulats est limité et le rapport gravier/sable est proche de 1. **[4]**

La friction entre les granulats limitant la capacité d'épandage et de remplissage du béton, la quantité de granulats est limitée. Généralement, le rapport granulats/sable (G/S) exprimé en masse en BAP est de 1 litre (L). Le risque de blocage dans un environnement fortement mis au rebut augmente avec l'augmentation de Dmax**[5]** Par conséquent, cette dernière doit être comprise entre 10 et 20 mm.Abib**[6]** a étudié l'influence des changements de taille du gravier sur la rhéologie du BAP. Sa conclusion est que lorsque le volume de gravier dans la section 8/16 est réduit, le diamètre d'épandage du BAP augmentera. Bethmont**[7]** a expliqué que la taille maximale de l'agrégat Dmax est un

facteur non négligeable pouvant provoquer un blocage. Pour une armature donnée, le risque de blocage semble augmenter à mesure que le diamètre maximum de l'agrégat augmente.

I.1.3.3 Eau

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretésqui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosiondesarmatures, etc.)**[8].**

I.1.3.4 Lesadjuvants

Il y a déjà longtemps qu'a été remarquée et étudiée l'action sur les bétons de ciment de certains produits employés en faibles qualités. Depuis une dizaine d'années leur usage s'est généralisé et en peut admettre maintenant que plus de 50% des bétons sont adjuvants.

Au fur et à mesure du développement de leur emploi, la formulation des adjuvants est devenue de plus en plus élaborée et fait appel depuis ces dernières années à des produits de synthèse.

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

Les super-plastifiant :

Les super-plastifiants sont des produits organiques qui, ajoutés à de faibles proportions (de 0,2 à 2% environ) au béton frais permettent d'en modifier les propriétés rhéologiques durant une période plus ou moins longue. Le béton est un matériau composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau et ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage. L'utilisation de super plastifiants nous permet d'obtenir un béton très liquide pouvant être

mis en place sans vibration ni ressuage ou ségrégation. **[9]**

Les super-plastifiants permettent de répondre à deux types d'applications, selon que l'utilisateur travaille dans le domaine de la préfabrication ou du béton prêt à l'emploi. Dans le premier cas, il aura besoin d'un béton qui acquiert des propriétés mécaniques importantes de façon très rapide afin de procéder au démoulage dans les délais les plus brefs et en même temps d'un béton assez fluide pour avoir une mise en place convenable dans les moules. Dans le deuxième type d'utilisation, le béton devra pouvoir être transporté sur des parcours plus ou moins longs et présenter de bonnes propriétés de mise en œuvre sur le site de construction sans que les performances mécaniques ne soient affectées. **[10]**

Les utilisations des super-plastifiants :

- augmentation de la fluidité (teneur en eau égale)
- diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité
- diminution de la teneur en eau (à fluidité égale).

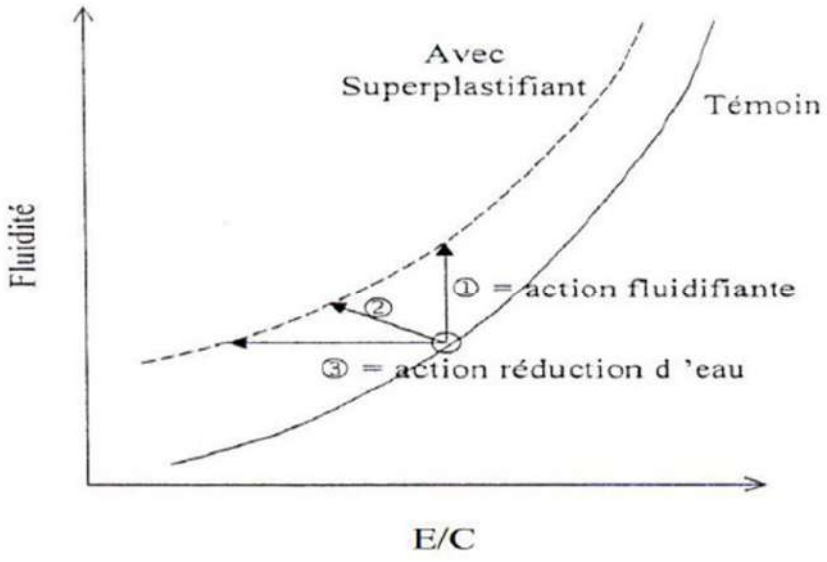


Figure I-2: Action des super-plastifiants

Différant types de super-plastifiant :

A l'heure actuelle, on utilise essentiellement **05** principales familles de super-plastifiants :

- les super-plastifiants à base de naphtalène.
- Les super-plastifiants à base de mélamine.
- Les lignosulfonates.
- Les polyacrylates.
- Les produits à base d'acides poly carboxyliques.

I.1.3.5 Lesajoutsminéraux

La caractéristique du BAP est une fluidité remarquable, et le plus important est de réduire la ségrégation et les saignements. Afin d'obtenir ces caractéristiques, il est nécessaire d'ajouter une grande quantité d'additifs minéraux : additifs de fumée de silice, de laitier, de cendres volantes, de pouzzolane et de calcaire..

I.1.4 Caractéristique des BAP à l'état frais

Bien que les propriétés du béton durci soient plus discutées dans le béton d'aujourd'hui, il s'avère que bien que le béton ne soit pas placé correctement, il ne peut pas atteindre les propriétés souhaitées. Pour chaque application, les propriétés requises du béton frais sont différentes et définissent si le béton présente de bonnes performances à l'état frais, telles que les exigences de finition, d'installation, de pompabilité, de résistance à la ségrégation, etc.[11].

Afin de mieux caractériser le comportement du BAP et vérifier son utilisation, de nombreux tests simples et empiriques ont été développés. Actuellement, il existe presque autant de tests ou de versions de tests que l'équipe de recherche étudiant le problème de caractérisation du BAP à l'état frais, à savoir : capacité de remplissage, capacité de passage et capacité d'anti-séparation. Ces recommandations sont devenues des tests de référence pour la vérification in-situ des formulations de BAP.Le BAP frais est divisé en quatre (04) caractéristiques de base suivantes, et des tests empiriques simples sont recommandés pour chaque caractéristique.[12]

- Capacité de passage ;
- Capacité ;
- Anti-isolement ;
- Rhéologie.
- La capacité de remplissage du béton est définie comme la capacité du béton à subir des changements de forme sous l'influence de son propre poids, même s'il existe des obstacles susceptibles de gêner son écoulement. Cette capacité de remplissage peut être déterminée à l'aide d'essais d'épandage [13, 14].

La capacité de passage décrit la capacité du mélange de béton frais à se diffuser dans un espace confiné sans séparation, irrégularité et colmatage. Lors de la définition de la capacité de passage, il est nécessaire de considérer la géométrie et la densité de la barre d'acier, la capacité de remplissage du mélange et la taille maximale de l'agrégat.

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.

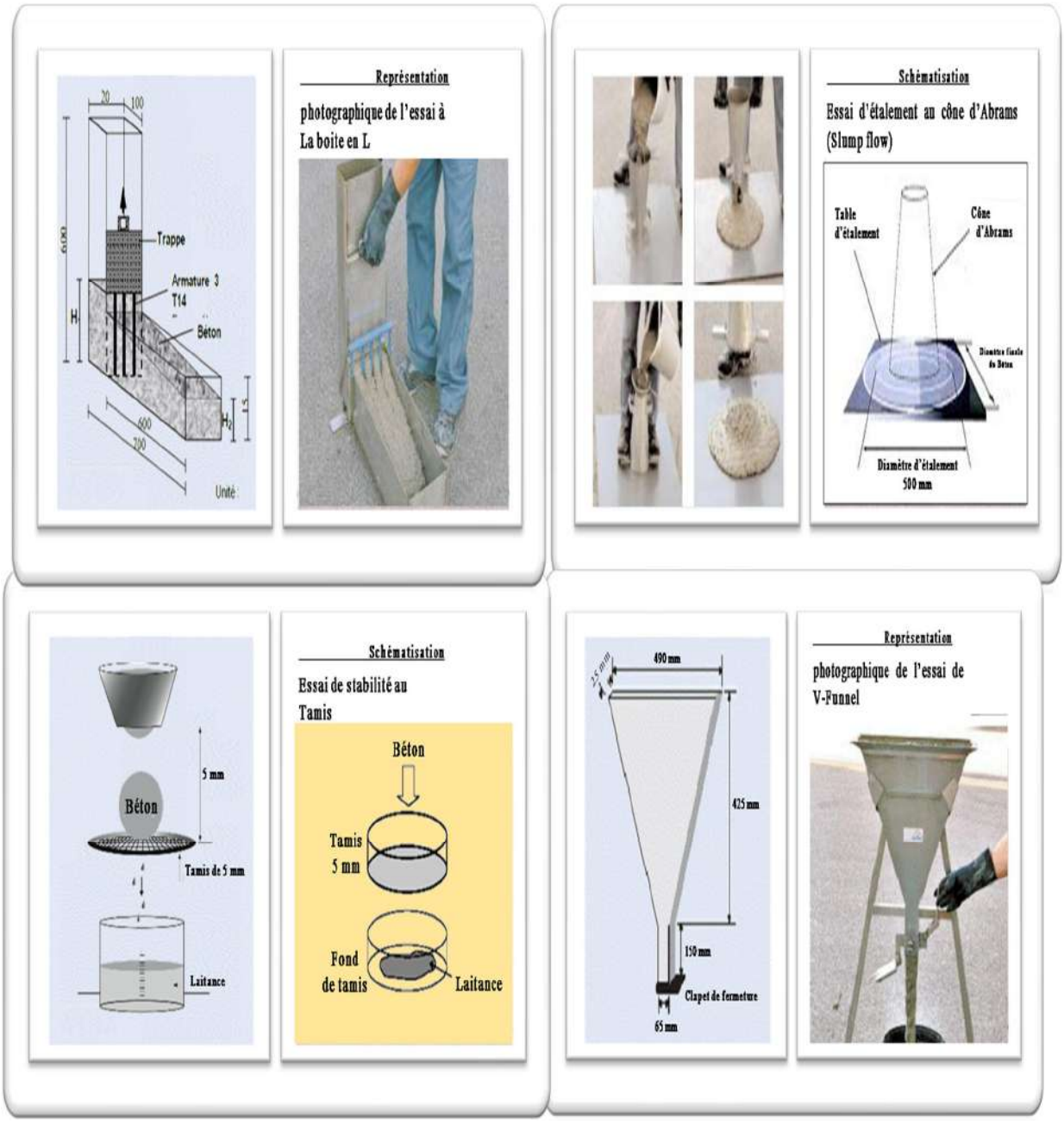


Figure I.3 : Différents essais pour la caractérisation des BAP [15].

Dans le cas de grades à haute fluidité ou à faible viscosité, ou dans le cas de conditions de stockage favorisant la ségrégation, la résistance à la ségrégation devient un paramètre important. Si aucune de ces situations ne se produit, il n'est généralement pas

nécessaire de spécifier le niveau de résistance à la ségrégation. Le test anti-ségrégation BAP est un test de tamis de 5 mm.

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%

Tableau I.1 recommandation des essais du BAP [15]

I.1.5 CaractérisationdeBAPàl'étatdurci

La caractérisation des bétons autoplaçants à l'état durci repose sur la résistance mécanique (résistance à la compression et à la traction).Pour la plupart des bétons qui sont directement liés à la qualité du squelette particulaire et au rapport eau-ciment effectif, elles dépendent également la composition du liant.

L'optimisation de ces paramètres permet d'atteindre une large plage de résistance (35 à 70 MPa à 28 jours).**[16,17]**

I.1.5.1 Résistanceàlacompression

Le BAP se caractérise par un faible rapport E/C, il a donc une bonne résistance mécanique. L'utilisation de charges dans les formulations de béton accélère sa résistance mécanique à un jeune âge. Lorsque les fines particules de la charge sont bien défloculées par l'agent réducteur d'eau, elles favorisent principalement l'hydratation du ciment par action physique, et rendent la matrice cimentaire plus dense.

Ces effets ont un impact significatif sur la résistance mécanique pendant une période pouvant aller jusqu'à 28 jours, puis deviennent moins significatifs.

Différentes études [18-19] ont comparé l'évolution de la résistance mécanique entre le BAP avec filler calcaire et le béton vibrant. Ces auteurs ont observé une accélération de la résistance à un jeune âge, qui a duré jusqu'à 28 jours. Ceci s'explique par l'hydratation favorisée par la multiplication des sites de nucléation des particules de charge..

Fig.I.9: Evolutiondelarésistancemécaniqued'unBAPetd'unBVcorrespondant.**[18].**

Pour Peterson **[19],** cette résistance augmente d'autant plus que la finesse du filler estimportante

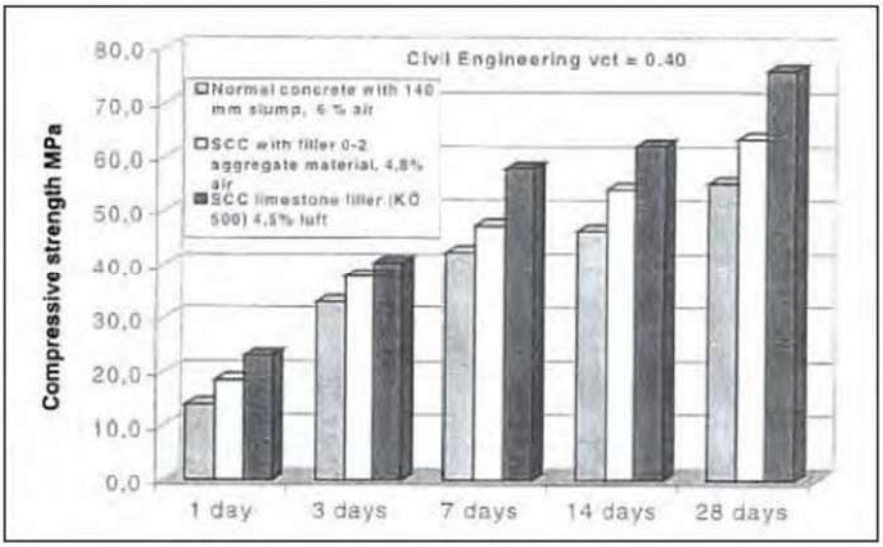


Figure I.4 :Résistance mécanique d'un béton vibré et de 2BAP**[19].**

De plus, les agents réducteurs d'eau et les agents collants ont un effet sur la résistance mécanique du béton autoplaçant. Selon Felekoglu et al. [20] Les agents de viscosité réduisent la résistance lorsqu'ils sont jeunes. D'autre part, certains super plastifiants peuvent provoquer des effets secondaires, tels qu'un retard de solidification, qui entraîne une augmentation du développement de la résistance mécanique à un jeune âge. [20]

Cependant, à long terme, la résistance à la compression des BAP est soit inférieure à BV en raison de la présence d'une grande quantité de diluant et de filler calcaire, soit égale à BV.**[21]**

Un autre facteur qui affecte la résistance à la compression est le volume de la pâte. Tukri et al. [22] ont montré que le volume de la pâte a un impact pratique mais limité sur la résistance à la compression. Lorsque le volume de pâte a augmenté de 57 %, une diminution de 12 % de la résistance a été observée. De même, Pineaud [23] a trouvé que le volume de la pâte a peu d'effet sur la résistance à la compression. Comme le volume de pâte, le rapport E/L est l'un des facteurs qui a le plus d'impact sur la résistance à la compression. Pineaud [23] a montré que l'effet du rapport E/L est comparable à celui obtenu par d'autres auteurs sur la BV. **[24,25]**

I.1.5.2 Résistance à la traction

La particularité du BAP peut entraîner des modifications de la résistance aux médicaments. Par exemple, le nombre de particules fines ou le volume de sable affectera la résistance à la traction [26]. Ils ont montré que l'augmentation de la quantité de sable et/ou de la quantité de poudre fine entraîne une augmentation de la résistance à la traction.

En fait, la résistance à la traction du béton est affectée par de nombreux paramètres. On peut noter que la microstructure du coulis de ciment et la porosité du halo de transition sont souvent utilisées dans la littérature pour expliquer les changements ou les résultats de la résistance à la traction obtenue.

Pour certains auteurs [27, 26], la porosité du halo de transition des BAP est inférieure à celle de BV. Par conséquent, la résistance à la traction des BAP est supérieure à BV (environ 10 %). Ces résultats ont été repris par Pineaud [23]. Il a suggéré que la qualité de l'interface pulpe-agrégat dans BAP est meilleure, faible proportion de granulats diminue le risque depropagationdespremièresfissures.

I.1.5.3 Moduled'élasticité

Le module d'élasticité dépend du rapport et du module des différentes phases qui composent le béton. Cependant, le BAP se compose d'une grande quantité de pâte et d'un rapport G/S inférieur à celui du BV.

Selon différents codes (Code Européen ou DTU), le module d'élasticité est fonction de la résistance à la compression de la Bretagne. Par conséquent, pour la même résistance, le BAP devrait avoir le même module que le béton vibrant. Cependant, Persson et Pons et al [27] ont montré que les modules de BAP et BV sont similaires. De même, König et al. [26] Veuillez noter que le module BAP est très similaire au module BV. D'autres auteurs ont indiqué que le module est inférieur à celui du béton vibré. **[25, 23]**

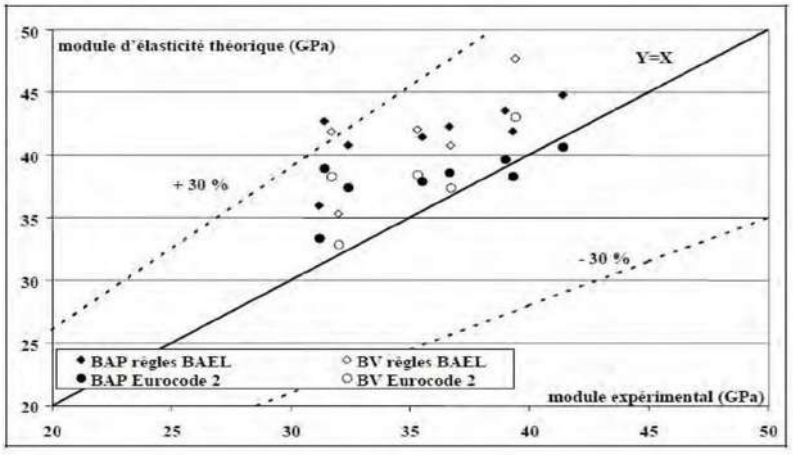


Fig.I.5: Comparaison des modules d'élasticité d'après les codes de construction de BAP et des bétons vibré sa valeurs expérimentales.**[28]**

Comme la résistance à la compression, d'autres paramètres affectent également le module d'élasticité. Tukri et al. [22] montre que le module du BAP diminue avec l'augmentation du volume pulpaire. Cependant, selon ces mêmes auteurs, l'effet du volume sur le module est négligeable. En effet, Pineaud [23] a observé que les valeurs de déformation à la rupture de BAP et BV sont très proches. Au fur et à mesure que le volume de la pâte augmente, on observe que le module diminue au fur et à mesure que le rapport W/L augmente (les résultats sont cohérents avec la diminution de la résistance à la compression et la diminution de la compacité de la matrice).**[23]**

I.1.5.4 Retraits

Certaines études ont comparé le retrait plastique du BAP et du béton vibrant [29-36] Gram et Piiparinen [29], et ont observé que le retrait plastique du BAP est deux à trois fois supérieur à celui du béton ordinaire.

I.1.6 Formulations et Compositions des BAP

Les différentes propriétés des bétons autoplaçants (fluidité, viscosité, résistance à la ségrégation, propriétés de remplissage, etc.) rendent leurs formulations relativement complexes.

Même si de nombreuses études ont été menées pour comprendre les principes de contrôle du comportement de ces bétons en espace confiné, il semble qu'il n'existe pas de méthode pratique de formulation permettant aux chercheurs ou ingénieurs de fabriquer des bétons autoplaçants locaux en matériaux locaux et un cahier des charges précis basé sur des données pertinentes. données de base [29-30].

La production de béton autoplaçant est une opération complexe, il faut trouver une bonne combinaison de matériaux compatibles et le dosage approprié de chaque composant pour obtenir une formule répondant aux caractéristiques du BAP. Il est impossible de parvenir à une formule universelle de béton autoplaçant ; chaque chantier utilise ses propres matériaux (m Différentes méthodes ont été développées dans le monde pour formuler des bétons autoplaçants. Nous rapportons une introduction générale aux principales méthodes et à certaines de leurs modifications.

I.1.6.1 Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon)

Selon le rapport d'Ozawa et al dans [31], la formulation OKAMURA est considérée comme une méthode de formulation universelle et a été développée par Okamura à l'Université de Tokyo.

Cette méthode détermine d'abord la quantité de gravier dans le béton et la quantité de sable dans le mortier, puis optimise le coulis de ciment pour que le béton obtenu ait les meilleures performances. Le principe de cette méthode est le suivant:

- • La teneur volumique G des copeaux de béton est fixée à 50 % du volume solide. Tant que le mortier de béton répond correctement aux critères d'ouvrabilité testés, ce pourcentage peut éviter le risque de colmatage.:

(matériaux locaux) doit mettre au point sa propre formulation.

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

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%

Ajuster l'eau, le super plastifiant et la poudre fine du mortier pour obtenir une viscosité suffisante (mesurée par le temps d'écoulement de l'entonnoir en V) et une fluidité élevée (mesurée par l'étalement conique).

Ensuite, l'auteur a défini deux grandeurs : la diffusion relative et la vitesse

relative.

Le modèle peut prédire la densité du squelette des particules sur la base des caractéristiques des composants, telles que la densité apparente, la proportion du mélange, la distribution des particules et la densité inhérente. L'auteur a simulé le comportement du béton à l'état frais en fonction de la compacité de son squelette granulaire.

Cette méthode est basée sur la synthèse de 15 années de recherche, simplifiée par la mise en œuvre du logiciel (Bétonlabpro 2), prend en compte tous les paramètres de calcul de la méthode [32, 33], et permet de déterminer différents types de formules béton (béton à hautes performances, béton ordinaire, béton sec à démoulage immédiat, béton autoplaçant). Pour le béton autoplaçant, la quantité de béton frais nécessaire est :

- Cône d'Abrams étalé supérieur à 600 mm
- Le seuil de cisaillement est inférieur à 500 Pa
- La viscosité plastique est comprise entre 100 et 200 Pa.s (variable de débit mesurée avec BTHREOM).

Selon l'auteur, ces normes correspondent à des bétons assez fluides qui ne présentent pas de ségrégation. Le ratio de liant (ciment + additif) est fixé a priori, pour lequel la dose saturée de super plastifiant utilisée est déterminée. D'après l'expérience de l'auteur, une dose saturée peut donner au béton une viscosité élevée, donc la moitié de cette dose sera plus pertinente.

Ce sont les données d'entrée nécessaires pour déterminer les besoins en eau du liant lorsqu'il y a un agent réducteur d'eau et calculer la densité spécifique du liant. A l'aide de ce logiciel, le dosage du composant peut être déterminé en tenant compte de tous les paramètres de calcul et effets de paroi. La quantité de super plastifiant peut être ajustée pour obtenir la norme d'ouvrabilité requise, c'est-à-dire la quantité d'eau pour obtenir la résistance à la compression cible.

I.1.6.2 Formulation CBI modifiée

Bui et al [34] ont apporté des modifications et des extensions majeures à la méthode CBI, et ils ont proposé des critères supplémentaires pour l'obtention de béton autoplaçant. Cela implique d'ajouter un certain volume de pâte pour assurer un espacement minimum suffisant entre les agrégats pour réduire les frottements et les frottements entre les agrégats.

Leur méthode consiste à utiliser une grande base de données de formules de béton [35] pour calculer l'épaisseur moyenne de la pâte autour des granulats auto-béton. Selon l'auteur, l'espacement moyen entre particules est compris entre 0,3 et 1 mm.

I.1.6.3 Formulation JSCE

La démarche proposée en 1998 par la société japonaise de génie civil[36]est fondée sur 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'auto compactibilité désirée. Il est situé entre 0.30 et 0.32 m3/m3 et le diamètre maximum est limité à 20, voire 25mm

- Lors de l'utilisation d'un agent viscosant, dans des conditions d'exposition normales, la quantité d'eau doit de préférence être inférieure à 180 kg/m3. Si la durabilité du béton n'est pas le principal facteur limitant, ce n'est qu'ainsi qu'un maximum de 190 kg d'eau peut être utilisé par mètre cube. Sans le tackifiant, la quantité d'eau doit être comprise entre 155 et 175 kg/m3.

- 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. Sans agent 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 requise et des conditions d'exposition du béton. La valeur typique est de 4,5 % d'air.
- La quantité de liant et de poudre est dérivée des rapports précédents. Avec l'épaississant polysaccharidique, la poudre est généralement de 0,13 m3/m3. Dans les autres cas, la valeur standard doit être déterminée entre 0,16 et 0,19 m3/m3.La quantité de fins agrégats se déduit des quantités précédentes (gros agrégats, poudres, eau et air).

- Le dosage de super plastifiant et d'agent de viscosité est évalué selon l'expérience. Le dosage de super plastifiant dépend cependant du rapport eau/poudres et de la nature des poudres. Il est généralement situé, pour les super plastifiants 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.1.6.4 Application des BAP dans le monde

les BAP sont utilisables aussi bien pour la réalisation d'ouvrages horizontaux que verticaux, sur tous les types de chantier, de bâtiments ou de génie civil et pour la réalisation de nombreux produits préfabriqués en béton la plupart des ouvrages peuvent être réalisés en BAP (voiles, poteaux, piles, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.)
les BAP sont particulièrement adaptés à la réalisation de structures pour lesquelles la mise en oeuvre d'un béton classique est délicate, c'est-à-dire, présentant des :
Densités de ferraillage importantes.
_ formes et géométries complexes : voiles, courbes,……. .
_ voiles minces et de grande hauteur : piles de pont,……. .

_ voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.

_ Exigences architecturales et qualité de parement particulière.

A titre d'exemple, nous citons quelques réalisations avec les BAP :

Le pont Akashi Kaikyo**(Figure I-19),** le plus long pont suspendu au monde (3910 m) ou 390000 m^3 de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration (OKAMIRA et coll.1994)



Figure I-6: Le pont Akashi Kkaikyo

La tour Landmark Tower **(Figure I-20)**, ou un béton autoplaçant d'une excellente déformabilité a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune (Hayakawa et coll .1995).



Figure I-7: La tour Landmark Tower*

Conclusion :

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

Un béton est qualifié d'autoplaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés. Ainsi, un grand nombre de tests empiriques sont développés pour caractériser le béton vis-à-vis des propriétés d'ouvrabilité.

A l'état durci le béton doit garantir une durée de vie prolongée de la structure et des performances mécaniques donc une résistance élevée et une perméabilité minimale sont exigées pour celui-ci.

L'étape de formulation consiste une proportion optimale et bien précise des différents constituants dans le but d'obtenir les meilleures caractéristiques du béton.
Le facteur le plus important dans la formulation d'un BAP est l'eau. En effet, le principe de ce type de béton est de diminuer la quantité d'eau utilisée tout en assurant une bonne maniabilité à l'état frais .La diminution de la teneur en eau conduit à de bonnes caractéristiques mécaniques.

Toutes les méthodes trouvées dans la littérature demandent un certain nombre d'essais pour caractériser les constituants ou leurs interactions. Les essais en laboratoire sont pratiquement indispensables à une formulation scientifique des BAP.

I.2 LES BETONS AUTOPLACANTS FIBRES

I.2.1 Introduction

Le renforcement des matériaux de construction, en l'occurrence du béton et du mortier, Les fibres sont une technologie de plus en plus utilisée pour améliorer les propriétés mécaniques, en particulier leur résistance à la traction et à la fissuration et leur ductilité.

Le rajout de fibres pour renforcer est une technique très ancienne, en effet, nos prédécesseurs utilisaient la paille pour renforcer l'argile. Et le crin (poils de chevaux) pour renforcer différents mortiers ou le plâtre **[37-38-39]**.
Le béton fibré est un matériau qui a connu de nombreux développements ces dernières années, et de nombreuses études ont été menées au cours des trente dernières années.

Différentes fibres ont été testées. Les plus populaires sont l'amiante, le verre, l'acier, le plastique, le carbone et les fibres végétales.

I.2.2 Les fibres

Le terme « fibre » désigne un solide souple aux propriétés variables, de forme sensiblement cylindrique, d'un diamètre de quelques millimètres, et d'une longueur égale à

Des milliers de fois le diamètre. Ils sont répartis dans la matrice de manière aléatoire ou d'orientation préférentielle. Les fibres existent sous différentes formes, qu'elles soient naturelles (métalliques, minérales, végétales et synthétiques), de taille (fibre brute ou microfibre), ou de forme (droite, ondulée, en forme de crochet à l'extrémité... etc.).)

Excellent

Il est évidemment déterminé par leurs propriétés mécaniques.

I.2.3 Différents types de fibres

Il existe plusieurs types de fibres aux propriétés, diamètres, longueurs (fibres épaisses ou microfibres), formes et états de surface différents. Selon leurs caractéristiques, Les fibres sont différentes les unes des autres et sont définies selon qu'elles sont naturelles ou artificielles.

Les fibres utilisées pour fabriquer le béton sont divisées en quatre catégories en fonction de leurs propriétés chimiques.

Chaque type de fibre a ses propres caractéristiques et caractéristiques : taille (diamètre, longueur, etc.), forme (lisse, rugueuse, plate, ondulée, Encoche, etc.), la résistance à la traction et l'adhérence au béton, confèrent des propriétés mécaniques spécifiques aux structures fibrées.

I.2.3.1 Les Fibres métalliques

Les fibres métalliques se caractérisent par un module d'élasticité élevé. Par conséquent, elles confèrent au béton une meilleure résistance à la traction et aux chocs, et

augmentent sa ductilité en augmentant sa résistance à la déformation à la rupture. Elle fournit également une ténacité considérable, leur forme et leur taille améliore leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres étirées, ondulations, déformations en bout, têtes de clous). La figure II-1 montre que différentes formes de fibres d'acier sont utilisées comme renfort pour différents types de béton**.** [40]



Figure I-8 Fibre métallique

I.2.3.2 Les Fibres de fonte amorphe

Ces types de fibres sont obtenus à partir d'alliages métalliques à base de fer par refroidissement brutal et sont composés de petites bandes de 1 à 3 mm de large (figure II.2), ce qui permet la limitation des fissures sous impact.



Figure I-9 Fibre de fonte amorphe

I.2.3.3 Les Fibres de verre

Sous sa forme habituelle, sous forme de fibres de petit diamètre, il présente une très grande fragilité aux chocs du fait de sa grande sensibilité à la fissuration (Photo II.3), le verre perd cette caractéristique et acquiert de bonnes propriétés mécaniques. Il peut être utilisé pour réaliser des pièces minces, des moules avec de la pâte ou du mortier ou du micro béton. [40]



Figure I-10Fibres de verre

I.2.3.4 Les Fibres de polypropylène

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

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

Ces fibres sont fréquemment utilisées dans le bâtiment, en particulier la dans réalisation des panneaux décoratifs, revêtement de façades, de tuyaux et pieux. [41]

I.2.3.5 Les Fibres végétales

Les fibres végétales sont principalement composées de cellulose, qui est un polymère naturel. Ces fibres se caractérisent par leurs propriétés mécaniques intéressantes et leur faible densité, ce qui rend la fabrication du béton à la fois légère et efficace.

De plus, contrairement aux fibres métalliques, ces fibres ne sont pas affectées par les problèmes de corrosion et, contrairement aux fibres de verre, elles peuvent résister longtemps aux attaques chimiques des alcalis.

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. [40]

I.2.3.6 Les fibres de Bois

La fibre de bois provient du broyage d'arbres comme le bambou ou les roseaux. Ils sont généralement très courts. Plusieurs chercheurs ont démontré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement du ciment

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 Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

I.3 Propriétés mécaniques de béton de fibre

I.3.1 Résistance à la compression

Les résultats de recherche de différents chercheurs sur l'effet de la fibre sur la résistance à la compression du béton fibré montrent quelques différences.

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 [42].

I.3.2 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 [42]**.**

I.3.3 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 [43]vont jusqu'à comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.

I.3.4 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 % [44].

I.3.5 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.

I.3.6 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 [45].

Pour Zhang [46]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 [47], 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[48], 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.3.7 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 [49].

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[49]. La ténacité est définie selon ACI 544[50] comme suit: "La ténacité est une mesure de la capacité d'absorber l'énergie pendant la déformation.

I.4 Bétons autoplaçants fibrés

I.4.1 Définition

Malgré les améliorations appréciables obtenues au niveau du comportement mécanique des bétons, l'incorporation des fibres dans le béton reste problématique du point de vue de l'ouvrabilité et de la répartition homogène des fibres. Pour remédier à ces

problèmes, l'association des fibres avec le béton autoplaçant (BAP) paraît prometteuse. En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'absence de vibration de ces matériaux évite une distribution hétérogène des fibres dans la matrice**[51].** Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs ont montré qu'il peut être une solution appropriée pour les applications sur poutres en I. En béton précontraint, au niveau des zones fortement ferraillées afin de contrôler la fissuration. L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. Cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élancement. Ces propriétés ont été mises en évidence par différents essais à l'état frais, par exemple l'essai d'étalement « SLUMP FLOW » et l'essai d'étalement modifié dit « J-RING » qui permet d'évaluer notamment le risque de blocage. Pour bien déterminer l'effet des fibres, ces essais ont également été effectués avec un béton autoplaçant de référence (non fibré).

- ✓ **Particularités**

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

I.4.2 Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais

Une étude réalisé par Grünewald a réalisé un programme 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 sable/granulats 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. **[51]**

I.4.2.1 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 composition de référence.

On remarque aussi sur la **(Figure II-13 –a)** une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface spécifique (ex : Dramix 80/30 PB), ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions. En outre, pour certaines compositions **(Figure II-13 -b)** avec des fibres plus longues (ex : Dramix80/60 BN), une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. La **(Figure II-13 –c)** illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu (ex : Dramix 65/40 BN). **[51]**

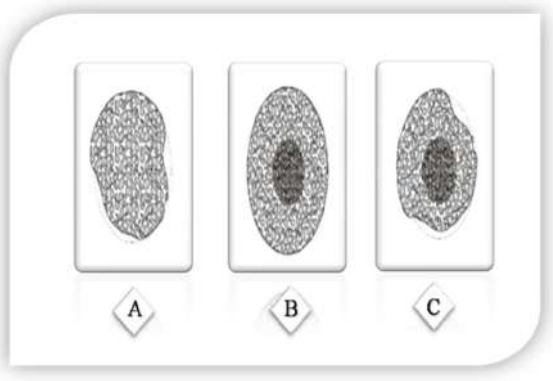


Figure I. 11: Effet des fibres sur l'étalement des BAP [52]

I.4.2.2 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. Peters son 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**[51]** 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.4.3 Comportement mécanique des bétons autoplaçant 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. Dans cette partie, nous nous limiterons au comportement instantané. Le retrait et le fluage peuvent être, considérés comme similaires à ceux des compositions ordinaires, même si cela reste à confirmer compte tenu du peu de recherches menées sur ce sujet. **[51]**

I.4.3.1 Comportement à la flexion

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.
Les études effectuées sur le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibrilleux (FM) 30x1,6 x 0,03 mm et synthétiques de type polypropylène (FS) 50x1,6x0,4 mm). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m3 pour FM, 9 kg/m3 pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m3 pour un fibrage mixte (compositions qui seront plus tard utilisées dans nos essais). 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 II-14)** illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en terme de courbe force-flèche. **[51]**

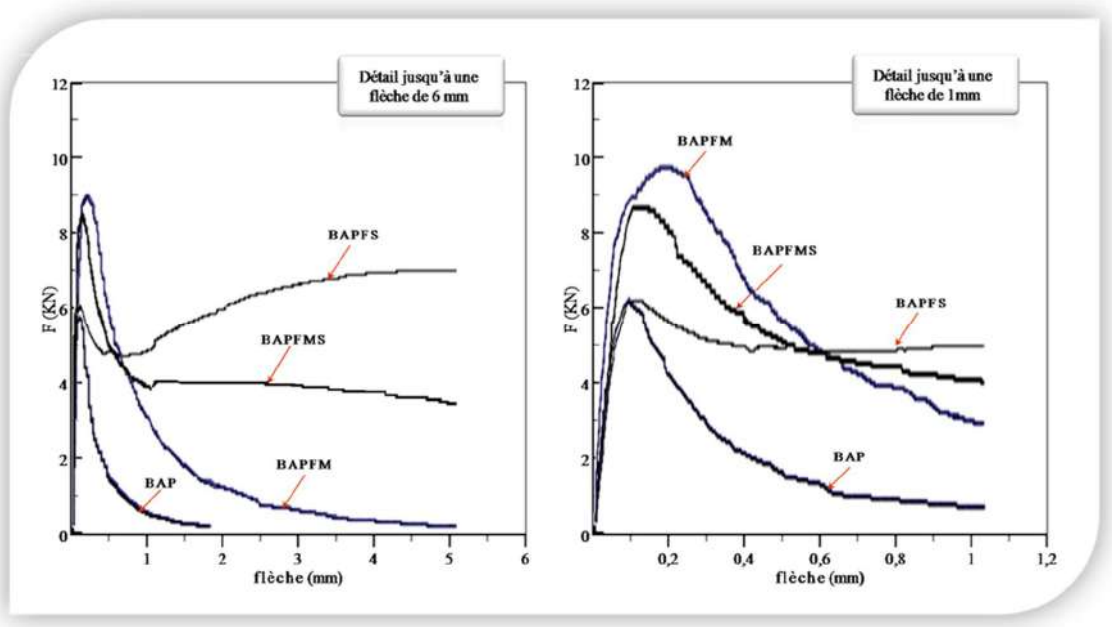


Figure I.12 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions [17].

I.4.3.2 Comportement à la compression et à la traction

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/L.

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. 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 macro fissures 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. **[51]**

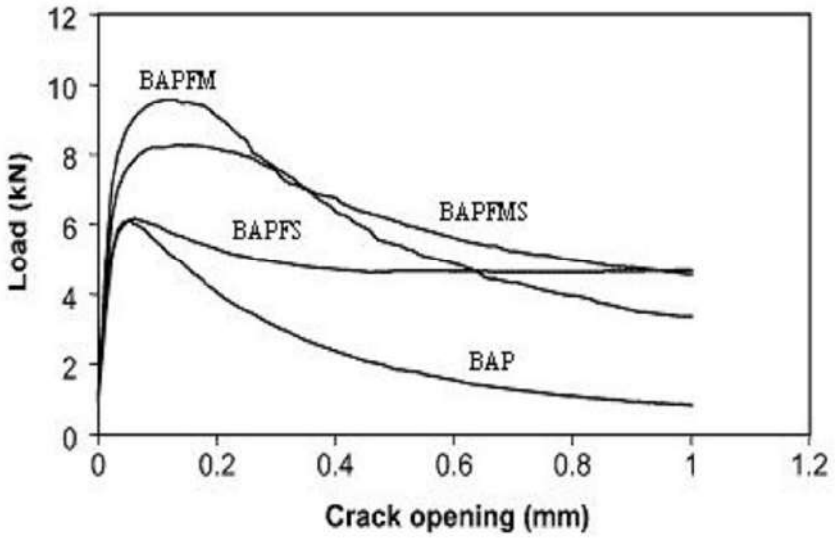


Figure I.13 Comportement à la traction de différentes compositions [51]

I.4.4 Utilisation des BAP fibres dans les structures

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

- **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. Des études ont été réalisées à l'université de technologie de Delft avec pour objectif la production de palplanches précontraintes sans armatures classiques, Le programme était composé de quatre parties :

- étude préliminaire sur les caractéristiques d'un mortier de haute résistance avec les fibres métalliques.
- optimisation d'une géométrie de palplanches, en combinant les aspects structural et économique, (le calcul a montré que les palplanches en bétons autoplaçants fibrés seraient économiques si le prix de la composition était inférieur à 450 euros/m3).
- optimisation d'une composition basée sur l'étude de [Sato et al 2000], développée par [Grünewald et al 2002], satisfaisant tous les critères de conception, (plusieurs essais ont été effectués sur les caractéristiques du mélange optimisé à l'état durci).
- faisabilité de la nouvelle palplanche.



Figure I.14 : Deux types de palplanche

Les palplanches précontraintes en béton autoplaçant renforcé de fibres présentent plusieurs avantages par rapport celles avec un béton standard : le coulage et le remplissage sont facilités, le stockage exige moins d'espace, et un nombre plus élevé d'éléments peut être transporté avec un camion (plus légers et moins encombrants). Enfin, la mise en place dans la terre est plus aisée (moins de résistance à l'enfoncement dans le sol). **[51]**

- **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.
A titre d'exemples récents et non des moindres, on peut citer les incendies du tunnel du Mont Blanc et du tunnel sous la Manche. Les fibres peuvent contribuer à limiter la détérioration et la désagrégation du béton. L'interface fibre – matrice cimentaire contribue à la décompression du béton (exutoire de la vapeur) et d'autant plus efficacement que les fibres sont réparties dans tout le volume, y compris au voisinage immédiat de la surface de la structure. Des voussoirs renforcés de fibres métalliques ont

été testés avec succès dans plusieurs projets d'infrastructures. Dans la plupart des cas, on peut se passer du renfort de barres, simplifiant ainsi le procédé de production.
Une des études de référence sur les BAP fibrés dans des voussoirs a été menée par [Grünewald et al 2003]. Elle présente deux volets : le procédé de production et l'effet de l'écoulement sur l'orientation des fibres, ainsi que les conséquences de cette orientation sur les caractéristiques mécaniques du béton.

Deux voussoirs ont été réalisés avec des BAP renforcés de fibres et deux différents types de fibres métalliques ont été employés : Dramix 80/60 BN (Lf/Df= 80, Lf=60 mm) et
Dramix 45/30 BN. Les compositions étudiées sont renforcées par 60 kg/m3 de fibres et elles se distinguent uniquement par la géométrie de la fibre utilisée. La composition présentant des caractéristiques d'un BAP, les voussoirs n'ont pas été vibrés. La **(Figure II-17)** montre la qualité des surfaces après décoffrage d'un voussoir en béton autoplaçant renforcé de fibres. **[51]**



Figure I.15 : Exemple d'un voussoir

I.5 Les bétons à base des granulats recyclés

Le béton est le matériau de construction le plus répandu dans le monde. Son cycle de vie passe par les étapes suivantes : extraction des matières premières, transformation, construction, exploitation et démolition. Le recyclage du béton allonge

son cycle de vie, permet de boucler la chaine d'exploitation et apporte une importante contribution au triple bilan environnemental, social et économique du développement durable. Le recyclage du béton permet de réduire les quantités et les espaces réservés aux déchets, ce qui se traduit aussi sur le plan comptable par une réduction des coûts des projets. L'utilisation des agrégats de béton recyclé permet aussi de compenser les besoins en granulats naturels, ce qui allège l'impact environnemental de leurs processus d'extraction.

I.5.1 La valorisation des granulats recyclés

Les opérations à suivre pour la production de granulats recyclés sont semblables à celles des granulats naturels, la présence des impuretés dans les matériaux recyclés est la différence entre ces deux types de granulats. Pour éliminer ces impuretés, des opérations de triage manuel ou mécanique sont effectuées au cours du processus de concassage. Les plus gros débris, comme les plaques de métal, les panneaux de bois, les aciers d'armature, le papier, le plastique… etc. sont enlevés à la main avant de commencer le concassage des matériaux. Pour enlever les impuretés légères, deux processus ont été proposés : l'épuration à l'air et l'épuration par voie humide. Pour la première solution, les granulats sont entraînés par un courant d'air sur des distances variables selon leur forme et leur nature, ce qui permet de les séparer des impuretés. La deuxième solution est caractérisée par les étapes suivantes :

l'épuration par voie humide (flottaison), la séparation est réalisée au moyen d'un bain dans lequel les granulats recyclés sont transportés par bande immergée et les fractions légères qui flottent sont séparées par des jets d'eau à contre-courant. Des électroaimants sont ajoutés au circuit de concassage pour enlever les débris métalliques. Ces électroaimants sont généralement installés à la sortie des concasseurs et ramassent les éléments métalliques (acier d'armature… etc.). Les concasseurs utilisés dépendent de la qualité et de type de granulats à obtenir. L'utilisation d'un seul concasseur donne une faible qualité des matériaux même si le matériau de départ est relativement propre. En effet, l'utilisation d'un seul concasseur ne permet pas d'enlever toutes les impuretés. L'ajout d'un deuxième concasseur permet de procéder à une deuxième opération de triage (manuel et magnétique), ce qui permet d'obtenir un matériau à la sortie beaucoup

plus propre. Pour obtenir une grande propreté, RILEM [53] propose de séparer la fraction inférieure à 10 mm après le premier concassage et de refaire l'opération de concassage en utilisant un deuxième concasseur. Le choix des concasseurs est aussi un élément important dans la production de ce genre de granulat. Au départ, les concasseurs doivent traiter des blocs de 0,8 à 1 mètre de diamètre, ce qui implique que l'usure du concasseur est beaucoup plus rapide et que le débit de production est plus faible qu'en carrière. La majorité des installations de traitement des matériaux de démolition au Canada sont munies de concasseurs à mâchoire ou percussion comme concasseur primaire et un concasseur à mâchoire, à percussion ou plus rarement de type conique en concassage secondaire [54]. À l'exception de la distribution granulométrique, les autres propriétés comme la densité, la masse volumique, l'absorption, et la dégradation à l'impact ne sont pas affectées par le type de concasseur ou le circuit de concassage. Tous les concasseurs produisent à peu près la même quantité de particules cubiques si, évidemment, le granulat original du béton de ciment n'a pas de tendance particulière à développer des particules plates et allongées. Les concasseurs à mâchoires donnent une granulométrie plus grossière, rendant ainsi la réduction de la granulométrie insuffisante, ce qui nécessitera un deuxième concassage. RILEM affirme que ce sont des concasseurs qui assurent la meilleure distribution granulométrique pour la production de granulats recyclés fabriqués à partir de béton de ciment.

Cimpelli propose une méthodologie permettant la production de granulats recyclés qui se base sur les phases suivantes :

- Préparation avant traitement qui consiste à réduire les plus gros éléments à l'aide d'un marteau hydraulique.

- Concassage primaire à l'aide d'un concasseur à percussion ou à mâchoires suivi d'un dé ferraillage électromagnétique ;

- Selon les installations, le concassage peut être précédé d'un criblage destiné à éliminer les matériaux à faibles caractéristiques et suivi par un tri manuel destiné à retirer les impuretés.

- Éventuellement, concassage secondaire portant sur la fraction supérieure issue du concassage primaire.

Or et al [55] proposent une autre méthode pour récupérer les granulats recyclés sans modifier leur composition, cette méthodologie consiste en trois étapes:

- Concassage des déchets du béton,
- Séparation de la pâte de ciment collé autour des granulats recyclés par le traitement thermique.
- Dissolution du reste du mortier attaché aux granulats recyclés à l'aide d'une solution chimique.

I.5.2 Béton avec des granulats recyclés dans le code international

Récemment, le développement urbain, la réglementation environnementale et le raccourcissement des zones de décharges, ainsi que l'exploitation excessive des ressources naturelles ont conduit à la nécessité de l'utilisation de déchets des constructions et de démolition (DCD) en anglais « construction and demolitionwaste (CDW) » comme agrégat pour la construction. Le DCD contient des quantités importantes de matériaux inertes.

Aujourd'hui, les applications des granulats ont pris un espace très large dans le secteur de génie civil et dans le monde de l'industrie. Par conséquent, il est possible d'utiliser les granulats recyclés pour la fabrication de béton structurel et non structurel, cela dépend fortement du type et de la qualité des agrégats utilisés[55].

Plusieurs études expérimentales ont été effectuées par différents chercheures [56, 57]pour valider l'utilisation de RAC dans l'application structurelle.

Toutefois, en raison de l'absence des spécifications et des normes qui assurent la sécurité des constructions fabriquées par le béton recyclé, l'utilisation de ce déchet reste propre aux applications ordinaires (trottoir, bordure, route… etc.).

I.5.2.1 Classification des granulats recyclés

Le déchet de construction et démolition sont séparés en quatre classes (A, B, C et D). Les déchets qui sont classés dans le type A sont ceux qui sont issus de la

construction et de la démolition, la rénovation et la réparation de la chaussée et d'autres ouvrages d'infrastructure y compris le sol de terrassement. Les déchets de construction, démolition, rénovation et réparation des bâtiments, qui contiennent le mortier, le béton et les composantes en céramique (briques, dalles, carreaux, céramique…) sont aussi inclus dans la classe A. cette classe est divisée en deux sous-classes :

- Béton de granulats recyclés (BGR): granulat recyclé (GR) est composé de plus de 90 % de béton et de ressources naturelles;
- Agrégats mixtes (AM): GR est composé au moins de 90% de béton et de ressources naturelles.-

Encore, pour faire la distinction entre GR et AM, les DCD (construction and demolitionwaste) sont séparés en quatre groupes selon leur composition :

- Groupe 1 : DCD composés de plus de 50 % en volume de pâte de ciment trempé ;
- Groupe 2 : DCD composés de plus de 50 % en volume de particule de roche ;
- Groupe 3 : DCD contient de la céramique ayant des surfaces polies avec un pourcentage de plus de 50 % de volume;
- Groupe 4 : DCD contient des matériaux organiques non minérales comme le bois, le plastique, le bitume, des matières carbonisées, et des contaminants comme le verre, les carreaux de céramiques ou du gypse.

Si la proportion des deux premiers groupes est plus de 90 %, le DCD peut être défini comme AR; sinon il est classé dans la catégorie des AM.

I.5.2.2 Les granulats provenant de la construction, de la réhabilitation et de la Démolition des bâtiments

Les granulats provenant de la construction, de la réhabilitation et de la démolition des bâtiments sont essentiellement composés de bétons de ciment recyclés et d'impuretés comme du bois, de la brique, du verre, de l'acier d'armature, des enrobés et bien d'autres. Le degré de qualité du granulat dépend de bien des facteurs. Parmi ces

facteurs, on retrouve l'âge du béton recyclé, sa composition originale en granulat (par exemple. Un béton de composition granitique), sa formulation de départ (béton avec ou sans air entraîné. Rapport E/C, etc.), la méthode de concassage (en usine ou sur place) et le mode de triage des impuretés.

Deux types de déchets sont concernés par le recyclage : ceux de la construction, de la réhabilitation et de la démolition des bâtiments et ceux de la route ; une étude menée par marquis et all. [58]ont montré que les techniques de production impact sur la qualité deca type de matériau. Dans cet article, les auteurs présentent un survol des méthodes de triage (manuel ou mécanique), les types de concasseur à utiliser pour la production de granulats recyclés. Avec de bonnes méthodes de concassage en usine ou sur place, ils obtiennent un granulat de grosseur voulue en minimisant sa quantité de fines. La granulométrie d'un tel produit se rapproche souvent d'un 0-20mm. Notons que ces techniques de production sont sensiblement les mêmes que celles utilisées pour les granulats conventionnels.

Suite à l'intérêt suscité par ce sujet, une autre étude a été effectuée par Pellerin [59] sur des échantillons de béton de ciment recyclé. Cette étude, faite à l'Université Laval démontre quels granulats provenant d'une source de béton recyclé présentaient de mauvaises performances mécaniques. D'après l'article, les essais à la fragmentation Los Angeles et Micro-Deval donnent des pertes plus élevées dans le cas des granulats recyclés en comparaison avec

Un granulat calcaire. Toutefois, selon les normes, ces granulats réussissent à se classer assez bien, et seraient donc aptes à être utilisés dans les fondations, les sous fondations, les couches de roulement granulaire et accotements et aussi dans les mélanges à béton, mais ils ne pourraient pas être utilisés dans la fabrication de pavages en béton de ciment.

I.5.2.3 Les granulats recyclés provenant des structures routières :

Certaines routes sont vieilles de plus de 25 ans et nécessitent un certain niveau de réhabilitation. De grandes quantités de matériaux sont alors générées et empilées dans les dépotoirs de matériaux secs. II faut remédier le plus rapidement possible à ce problème qui ne cesse de s'amplifier. Utiliser ces matériaux dans la reconstruction de

routes par l'intermédiaire du retraitement en place des chaussées et par le recyclage dans un nouvel enrobé pourrait être une solution à ce problème.

Les granulats asphaltiques sont le produit du recyclage des routes. On les obtient par décohésionnement de la chaussée ou par concassage en usine. Les granulats obtenus par l'une des deux premières méthodes donnent des granulats dont la granulométrie se rapproche d'un 0/20 mm ou d'un 0/40 mm standard.

En usine, ces granulats sont souvent concassés pour produire du 0/14 mm, et ce dans le but de les réutiliser dans les enrobés bitumineux. D'après de nouveaux résultats tirés de Pellerin, les granulats recyclés provenant des structures routières sont moins denses et moins absorbants que les granulats conventionnels.

Ce phénomène s'explique bien par la présence du bitume, un hydrocarbure léger et hydrofuge. Par contre, les granulats naturels possèdent de meilleures performances mécaniques (Los Angeles et Micro-Deval) que ceux provenant de béton recyclé. En conclusion ces granulats recyclés sont peu adaptés, mais d'après ce même auteur ils résistent bien aux cycles de gel/dégel.

I.5.2.4 Terminologie et identification des déchets

Les déchets sont définis comme la fraction pierreuse et sableuse des déchets provenant de la construction, de la rénovation ou de la démolition de bâtiments et d'ouvrages d'art ou de routes ou d'autres installations. [60]Parmi ces on distingue :

Débris de béton : Proviennent de la démolition de bâtiments ou d'infrastructures de génie civil.

Débris de maçonnerie : Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments.

Débris mixtes de béton et de maçonnerie : Proviennent de la construction/rénovation démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles).

Débris d'enrobés hydrocarbonés (bitumineux ou contenant des goudrons) :
Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes…), de la démolition de parkings.

II.1.1 Bétons de Granulats recyclés

I.5.3 Utilisation des granulats recyclés dans le béton

II.1.2 Influence des granulats recyclés dans la fabrication des bétons

Les bétons de ciment recyclés sont peu utilisés dans les bétons de ciment hydraulique. Ce type de granulat est pourtant un produit de démolition très répandu. De plus, les nouveaux bétons comportant ces matériaux recyclés sont encore peu étudiés. Pour faire un béton avec de bonnes résistances mécaniques et une bonne durabilité, il est essentiel de respecter quelques règles de fabrication comme d'utiliser un bon granulat, une quantité d'air suffisante pour résister aux cycles de gel/dégèle et un rapport E/C adéquat.

En Europe les granulats recyclés issus d'ouvrages en béton sont valorisés dans les travaux routiers mais peu dans la fabrication de bétons. Des guides de recommandation ont pourtant été établis, au Danemark depuis 1990, en France depuis 1997 avec la norme française qui s'applique indistinctement aux granulats naturels, artificiels et recyclés. Cette norme définit les termes relatifs aux granulats, les règles générales permettant leur contrôle et les spécifications de ces granulats pour les principaux usages (chaussées, bétons hydrauliques, voies ferrées).

En France, face à la décroissance régulière des granulats alluvionnaires dans l'industrie du béton (49% en 1988, 40% dix ans plus tard) les professionnels, malgré leur préférence pour ces granulats, se tournent de plus en plus vers des matériaux concassés. L'utilisation de matériaux de démolition pourrait donc représenter un complément intéressant de ressource en substitution partielle ou totale aux granulats naturels. C'est pourquoi des études ont été réalisées depuis plusieurs années afin de caractériser des bétons élaborés avec des granulats de recyclage.

Les travaux ont montré que ces bétons sont poreux avec des valeurs de perméabilité deux fois plus élevées que celles des bétons de granulats naturels tandis que leurs propriétés physiques et mécaniques décroissent à mesure que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats de recyclage augmente.

Une étude en 2002 (Gomez-Soberon) [58]va dans le même sens : la porosité à

l'eau et l'absorption croît proportionnellement à la teneur en granulats recyclés, tandis que la résistance en compression diminue nettement dès que le taux de remplacement dépasse 30%.

Comme vu précédemment, l'utilisation de bons granulats est essentielle dans la confection d'un bon béton. Ce sont eux qui vont régir une bonne partie de la résistance mécanique.

Une étude effectuée par Quebaud[61] à l'université d'Artois, démontre que les mélanges fabriqués avec ce type de granulat aboutissent à des bétons plus exigeants en eau et un peu moins résistants mécaniquement que les bétons classiques.

Un béton se doit de posséder de bonnes résistances mécaniques, une qualité importante pour les bétons. D'après une étude menée par Bérubé et all. [59], les bétons fabriqués avec des granulats de béton recyclé obtiennent de bonnes résistances mécaniques. Ces nouveaux bétons peuvent atteindre des résistances aux compressions équivalentes à celles d'un béton normal, soit des résultats de 30 à 40 MPa. Bien sûr, plus la quantité d'air entraîné et le rapport E/C. augmentent dans un mélange, plus la résistance mécanique baisser.

L'autre facteur pouvant influencer la performance d'un béton est sa quantité d'air entraîné dans le mélange. Cette quantité est très importante au niveau de la durabilité du béton face au gel.

Il faut donc en entraîner suffisamment dans le mélange, soit de 5 à 8 % selon son utilisation. D'après Bérubé et all.[59], il est plus difficile d'entraîner de l'air dans un mélange comportant des granulats de béton recyclé.

Il faudra alors utiliser des mesures pour remédier à ce problème. Les prismes de béton conçus avec du béton recyclé et sans air entraîné réagissent assez mal aux cycles de gel/dégel.

Les prismes ont tendance à prendre de l'expansion et à se fissurer facilement. Notons que l'utilisation dans le mélange d'un béton recyclé avec air entraîné mène à de meilleurs résultats.

Ces prismes ainsi construits se fissurent moins et prennent beaucoup moins d'expansion. Pour conclure, d'après Quebaud[61], les bétons conçus avec des granulats de béton de ciment recyclé présentent des caractéristiques bien particulières si on les

compare aux bétons classiques. Leurs caractéristiques sont les suivantes :

- Des résistances à la compression et à la traction inférieures d'environ 10 à 30 % ;
- Des modules élastiques inférieurs d'environ 15 à 40 % ;
- Une moins bonne adhérence entre la pâte de ciment et le granulat ;
- Des retraits plus élevés de l'ordre de 50 à 100 % ;

Zhen H. D. et al [62]ont étudié l'effet de l'ajout de trois types de granulats recyclés (10- 20mm) issus des bétons de classe de résistance différentes (30, 45, 60 et 80 MPa) sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton ordinaire. Les résultats expérimentaux de cette étude, en termes de résistances mécaniques (compression et traction), module d'élasticité, retrait de séchage et pénétration des ions chlore ont montréqu'on peut utiliser des granulats recyclés de bonne qualité (présentent une faible couche de mortier à la surface et un faible coefficient d'absorption) pour formuler un béton avec des performances comparables à celles mesurées pour un béton à base de granulats naturels.

Kenai S. et Debieb F.[63], ont travaillé sur le béton recyclé en remplaçant partiellement le gravier et le sable naturel (25, 50, 75 et 100%) par de gros, fin, et mélange de gros et fin granulats à base d'ancien béton et de brique cuite concassées. Par comparaison avec un béton hydraulique à base de 100% de granulats naturelles, les résultats de cette étude ont mis en évidence que l'absorption d'eau des bétons recyclés est élevée, la perméabilité l'eau peut atteindre le double, le retrait est très important. Finalement ils ont trouvé que les propriétés physiques et mécaniques des bétons à base de granulats recyclés peuvent être acceptables.

Dans d'autres travaux de Debieb F[64]. etal ont travaillé sur l'effet des granulats recyclés contaminés sur les performances mécaniques et la durabilité d'un béton courant, les résultats expérimentaux montrent que les granulats recyclés contaminés par les chlorures ont un effet néfaste sur les caractéristiques du béton par rapport aux granulats. Une déférence importante a été observée entre les propriétés des bétons recyclés et ceux des bétons naturels.

Le béton constitue presque 75%, en poids, de tous les matériaux de

construction. Il s'ensuit donc que la plus grande partie des rebuts de démolition soit du béton. Par ailleurs, les sinistres fournissent des millions de tonnes de débris de béton. L'épuisement des sources courantes de granulats, les lois plus strictes relatives à la protection de l'environnement et les problèmes posés par la destruction des déchets sont tous des facteurs qui favorisent l'usage du béton récupéré. Les débris de chaussées en béton sont déjà utilisés pour la construction de la couche de fondation de nouvelles chaussées.

La résistance à la compression et le module d'élasticité du béton renfermant des granulats recyclés est inférieure à ceux du béton ne contenant que des granulats ordinaires. Les différences sont encore plus grandes à des rapports eau-ciment inférieurs. Le fait de remplacer les fines du béton recyclé par du sable n'améliore pas pour autant la résistance du béton. Le béton qui contient des fines provenant de béton récupéré doit avoir un rapport eau ciment plus élevé étant donné qu'il contient une plus grande proportion de particules de ciment hydraté.

Le retrait au séchage du béton constitué de béton récupéré est supérieur de 10 à 30% à celui du béton de référence. L'importance du retrait est fonction de la superficie totale ; dans le cas des granulats recyclés, on s'attend à ce que la superficie soit plus élevée à cause de la présence de pâte de ciment.

La tenue au gel et au dégel du béton contenant des granulats de béton récupéré est semblable à celle d'une éprouvette de béton de référence contenant des granules ordinaires.

CHAPITRE II : Matériaux et Essais

II.1 Introduction

Le programme expérimental de cette étude se répartit en deux (2) phases. La première phase porte sur une étude du comportement (état frais et durci) de bétons autoplaçant sa base des fibres plastiques.

La seconde phase aborde la mise en évidence de l'efficacité de l'incorporation des granulats recyclés à la production de BAP et BAPFP.

On s'intéressera par la suite la méthode de formulation adoptée dans les différentes compositions des bétons, et 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 ce 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 fibresplastiquesPET (0.3,0.5,1 et 1.2%).
BAPFGR	BAP fibré à base des granulats recyclés (25,50, 75 et 100%)

II.2 Caractérisation des matériaux utilisés

II.2.1 Ciment

Le ciment utilisé est un ciment Portland ordinaire CEM II/A 42.5 (Matine), dont la résistance minimale à la compression à 28 jours est de 42,5 MPa, produit par la cimenterie de Lafarge (M'sila) dont l'ajout est le calcaire qui est conforme à la norme EN 197-1**[66]**

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.2 respectivement:

Tableau III.2 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisé.

Caractéristiques	Type de sable	Norme
Provenance	Oued-Souf	/
Classe granulaire	0/5	/
Module de finesse	2.24	NF EN 933-1 [67]
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.65	NF EN 1097-6[68]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.59	NF EN 1097-6[68]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.65	NF EN 1097-6[68]
Equivalent de sable (%)	84.49	NF EN 933-8[69]

II.2.3 Gravier

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

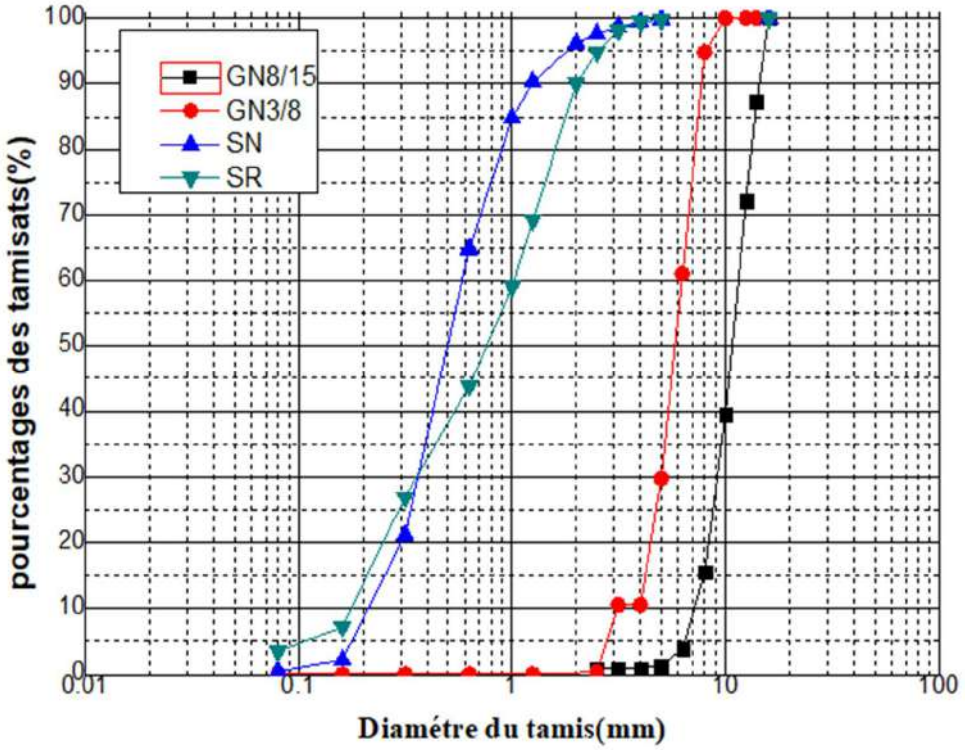


Figure II.1 : Analyse granulométrique des granulats utilisés.

Tableau III.3 : Propriétés physiques d'identification de graviers utilisés.

Caractéristiques	**Type de gravier**		**Norme**
Provenance	sétif		/
Classe granulaire	3/8	8/15	/
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.63	2.61	NF EN 1097-6[68]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.5	1.52	NF EN 1097-6[68]
Taux d'absorption d'eau (%)	0.79	0.59	NF EN 1097-6[68]
Résistance au choc LA (%)	27.5	26.5	NF EN 1097-2 [76]

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 Super plastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un super plastifiant (SP) haut réducteur d'eau de la troisième génération fabriqué par la société Granitex-NP et commercialisé sous le nom suivant : Medaflow 30. 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.

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 3 mm.

L'incorporation de ce dernier est ce fait par rapport au volume du béton avec des pourcentages de 0.3 % à 1.2 %. (Figure II.2).

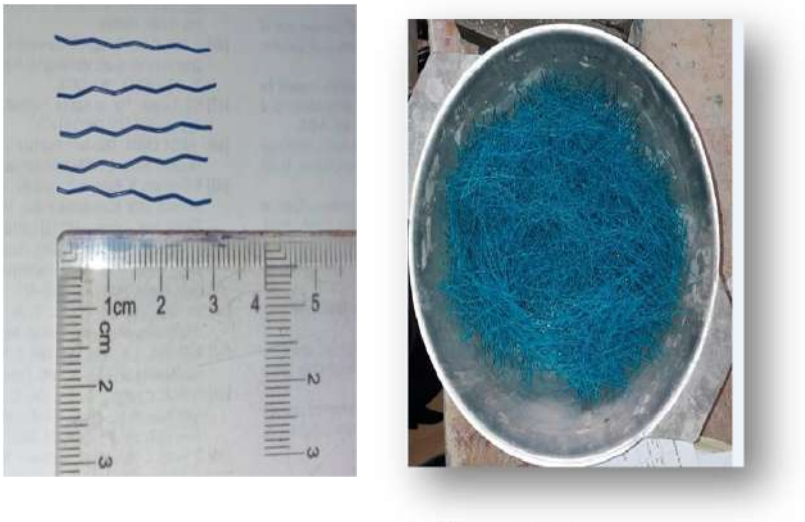


Figure II.2 : Forme de fibre utilisée.

II.2.7 Granulats recyclés

Pour attendre les objectifs de remplacement du sable naturel par le sable recyclé ont utilisés les blocs des éprouvettes de béton broyé qui est obtenu à partir d'un concassage à l'aide d'un concasseur à mâchoires qui nous a permis d'obtenir un sable dont les grains sont des dimensions 0-5 mm.Les propriétés physiques et l'analyse granulométrique sont présentées dans le tableau II.3 et la figure II.1.



***Fig*.II.3:**Protocole de concassagedesdéchetsdesbétons.

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

Caractéristiques	Type de sable recyclé	Norme
Provenance	Laboratoire Médéa	/
Classe granulaire	0/5	/
Module de finesse	2.52	NF EN 933-1 [2]
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2.07	NF EN 1097-6[3]
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1.36	NF EN 1097-6[3]
Taux d'absorption d'eau (%)	74.50	NF EN 1097-6[3]
Equivalent de sable (%)	9.65	NF EN 933-8[4]

.

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. [70]

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. [70]. Les compositions des différents mélanges réalisés pour cette étude sont résumées dans le tableau suivant :

Tableau II.5 : Compositions des formulations BAP adopté pour 1 m ^{3}.

Constituant	**BAPT$^-$**
Ciment (g)	463.86
Sable (g)	796.14
Gravier 3/8 (g)	274.48
Gravier 8/15 (g)	550.07
Eau (g)	193.45
SP (g)	3.71
E/C	0.4
S/M	0.45

***Tableau*II.6:** Compositions dedifférentesformulationsBAPFétudiésdansun volumede1m^3

Lescompositions	**F1(0.3 %)**	**F2(0.5 %)**	**F3(1 %)**	**F4(1.2 %)**
Ciment(Kg)	463.86	463.86	463.86	463.86
Sable(Kg)	796.14	796.14	796.14	796.14
Gravier3/8 (Kg)	274.48	274.48	274.48	274.48
Gravier8/15 (Kg)	550.07	550.07	550.07	550.07
Eau(Kg)	193.45	193.45	193.29	193.29
Superplastifiant(Kg)	3.71	3.71	3.94	3.94
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4

***Tableau* II.7:** Compositions de différentes formulations BAPSR étudiées dans un volume de1m³debéton.

Lescompositions	F1	F2	F3	F4
Ciment(Kg)	463.86	463.86	463.86	463.86
Sable Naturel(Kg)	597.11	398.07	199.03	0
Sable recycles(Kg)	199.03	398.07	597.11	796.14
Gravier3/8 (Kg)	274.48	274.48	274.48	274.48
Gravier8/15 (Kg)	550.07	550.07	550.07	550.07
Eau(Kg)	212.65	231.86	250.91	270.11
Superplastifiant(Kg)	3.71	3.71	3.71	3.71

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.
- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant.
- 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.

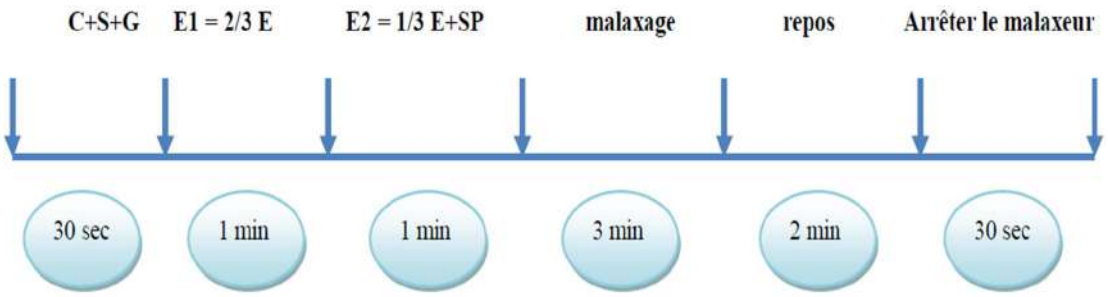


Figure II. 4: Séquence de malaxage du BAP

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) [71]. 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 III.5: 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 [72] , 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.6 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

II.5.1.3Essai 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 [73], 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.7: 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 [74] (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:

$$IS\ (\%) = \frac{\text{Masse de laitance}}{\text{Masse de l'échantillion}} x100 \quad \textbf{Eq : II.1}$$



Figure II.8 : 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[75]c'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (par trois points), 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.

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 ;

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



***Fig*.II.9**:Protocoledel'essai detractionpar flexion.

II.5.2.2 Essai de résistance à la compression

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme EN-12390-5par compression axiale pour d'éprouvettes cubique à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une pressede 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 II.9, la contrainte de rupture est calculée comme suit :

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



Figure III.10: Dispositif de rupture à la compression

II.5.2.3 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) (Figure II.10).



Figure III.11 : Essais absorption par capillarité.

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.

IV 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. Pour les bétons renforcés de fibres, le maximum de la fraction volumique et du type de fibres estdéterminée par les propriétés mécaniques souhaitées. Toutefois, pour les bétons autoplaçants, il estnécessaired'assurerunebonnefluiditéetune bonnerésistance à la ségrégation

III.1 A l'état frais

III.1.1 Effet desfibresplastiquessurlavaleurdeT_{500}et l'étalement

- **BAPF** :

Les résultats obtenus montrent que l'ajouts des fibres plastiques a la masse de BAP influe négativement sur l'étalement et le temps d'écoulement. Cette diminution est causé par la présence des fibres plastiques qui joue un role d'obstacle dans le mélange. Ce résultat confirme les résultats trouvé par Samana[77]. Pour pouvoir comparé les résultats à l'état durci ,nous avons varié la quantité d'adjuvant pour obtenir un étalement constant pour tous les mélanges (76 Cm et 69 Cm).

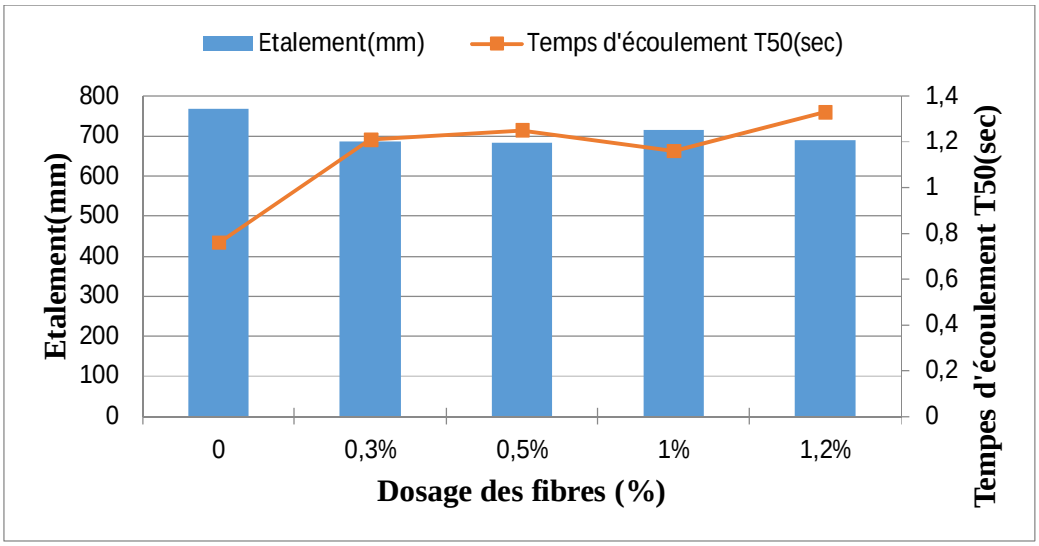


Figure. IV.1 : Etalement et temps d'écoulement des BAPF en fonction de dosage des fibres.

- **BAPSR**

Les résultats obtenus montrent que l'étalement et le temps d'écoulement de BAP est diminué en fonction d'augmentions de pourcentage de substitution du sable naturel par le sable recyclé.Ladegreesion est estimé à 17 % .Cette diminution de la valeur d'étalement est causé par la grande absorption d'eau de sable naturel par le sable recyclé. Ce résultats est en concordance avec les résultats trouvés par plusieurs chercheurs dans le domaine [78]

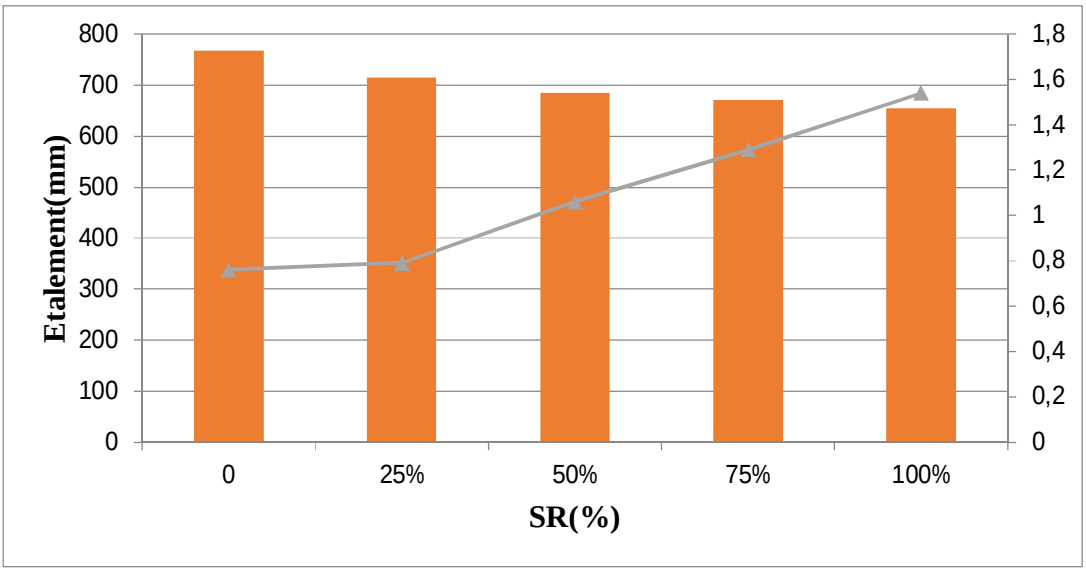


Figure. IV.2: *Etalement et tempes d'écoulement des BAPSR en fonction de SR.*

IV.1.2 Temps d'écoulement à travers le V-funnel

- **BAPF**

La figure III.4 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 **[81]** ,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 BAPF 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 la formation d'oursins (amas de fibres entremêlées) est évoluée **[79]**, cette évolution perturbe l'écoulement et par conséquence augmente la viscosité qui provoque d'éventuelles une ségrégation et blocage au niveau des armatures **[80]**.

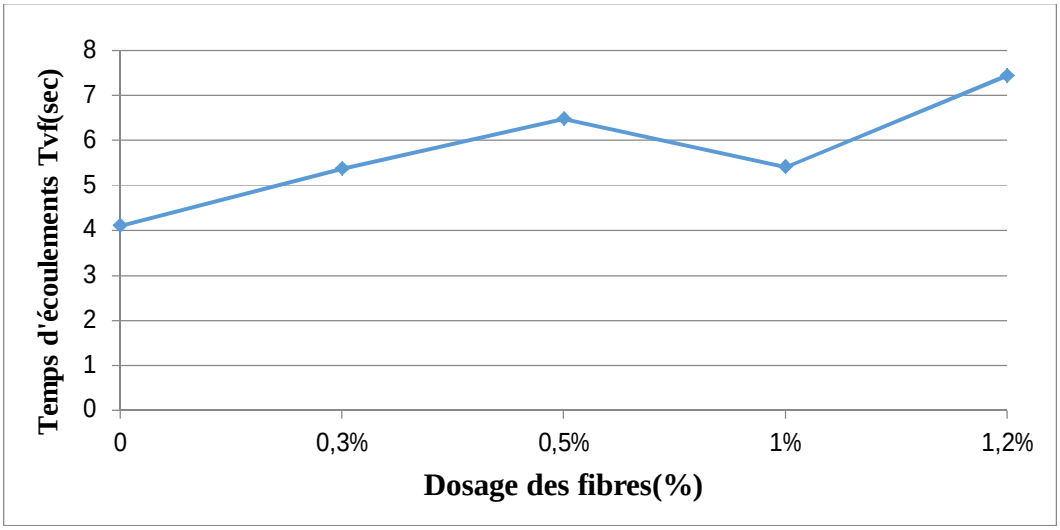


Figure. IV.3: Temps d'écoulement des BAPF en fonction de Dosage des fibre.

- **BAPSR**

La figure III.4 montre la variation du temps d'écoulement pour différents mélanges des BAPSR 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 **[81]** ,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 sable recycler augmente le temps d'écoulement des BAPSR 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, les granulat recyclé sont absorbé une quantité d' eau plus élevé par rapport les granulat naturelle, ce résultat qui confirme le résultat de debieb [78].

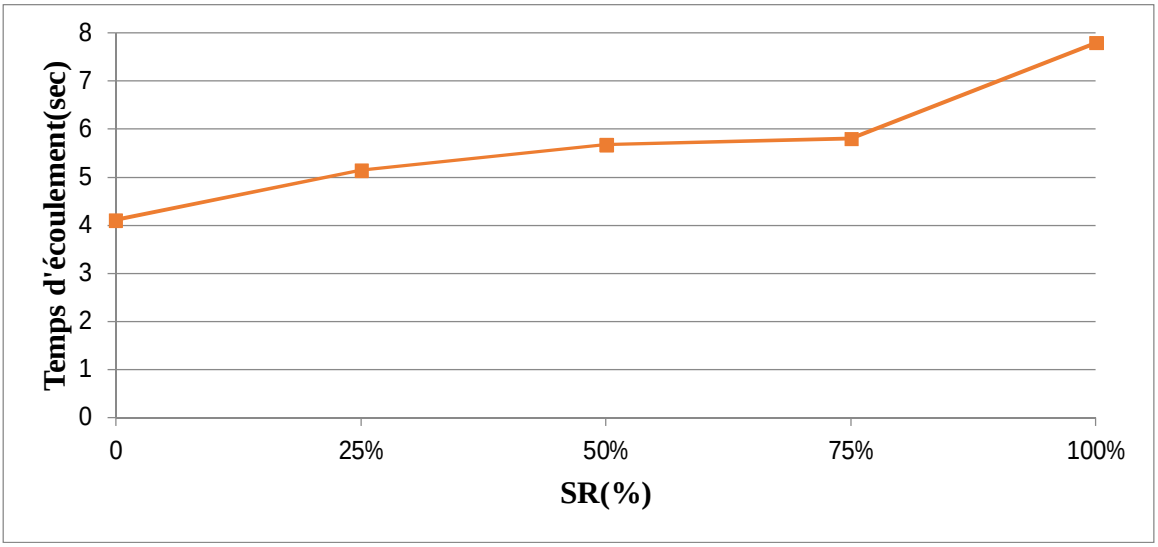


Figure. IV.4: Temps d'écoulement des BAPSR en fonction de SR.

III.1.3 CapacitédeRemplissageàtraversleL–Box

- **BAPF**

La variation du rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de FP est représentée sur la figure III.5. 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. En revanche tous les groupes des BAP ont donné une bonne capacité de remplissage, mobilité, et passage à travers les zones fortement confinées avec l'augmentation de dosage en SP, de plus aucun blocage n'était remarqué dans ce cas. Ce résultat confirme les résultats trouvé par Corinaldesi et Moriconi[82]

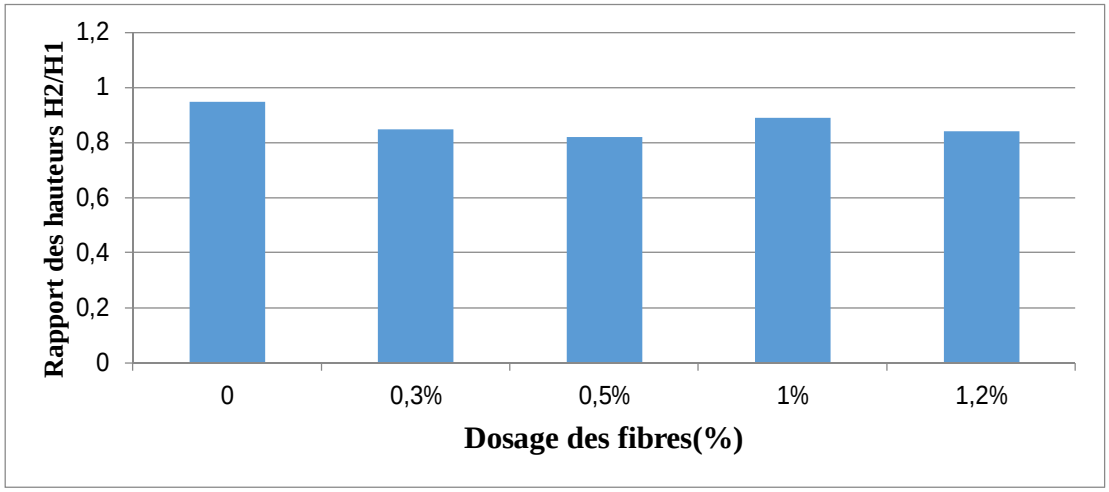


Figure. IV.5: Rapport des hauteurs des BAPF en fonction de dosage des fibres .

- **BAPSR**

Rapport des hauteures H2/H1est diminué en fonction d'augmentions de pourcentage de substitution du sable naturel par le sable recyclé

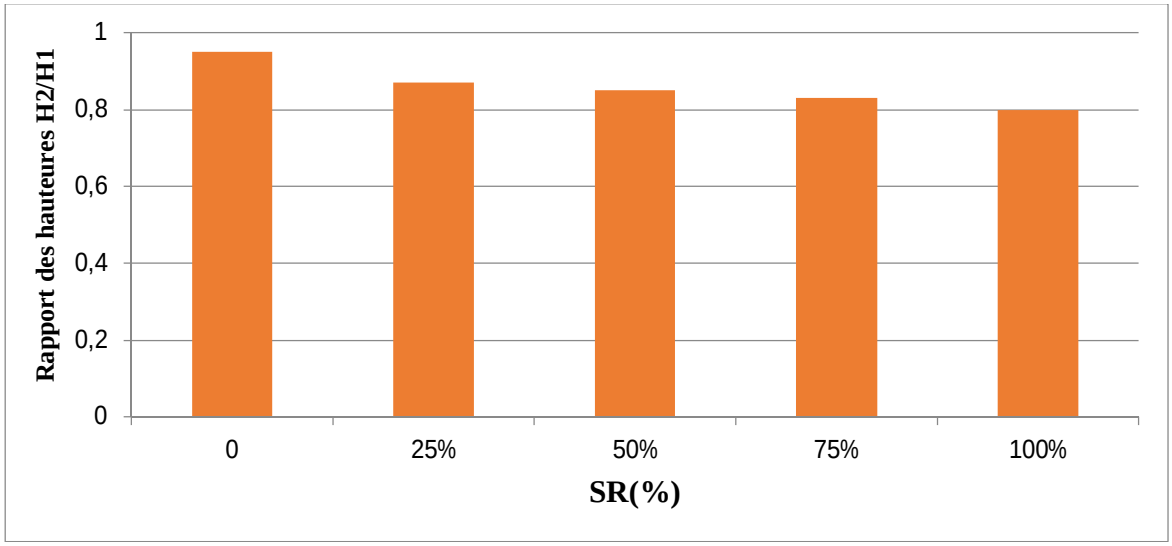


Figure. IV.6: Rapport des hauteurs des BAPSR en fonction de SR.

IV.1.4 Stabilité au tamis

Les résultats présentés dans les figures précédentes montre que la résistance à la ségrégation de BAP fabriqué à base de sable récyclé et/ou fibre plastique est diminué en fonction d'augmentation des pourcentages de substitution de sable naturel par le sable récyclé et l'ajout des fibres plastiques.Cettedimunition est lié à la fois à l'absorption du sable recylé qui est plus important que celle du sable naturel et d'autre fois à l'interaction des fibres dans le mélange à l'état frais

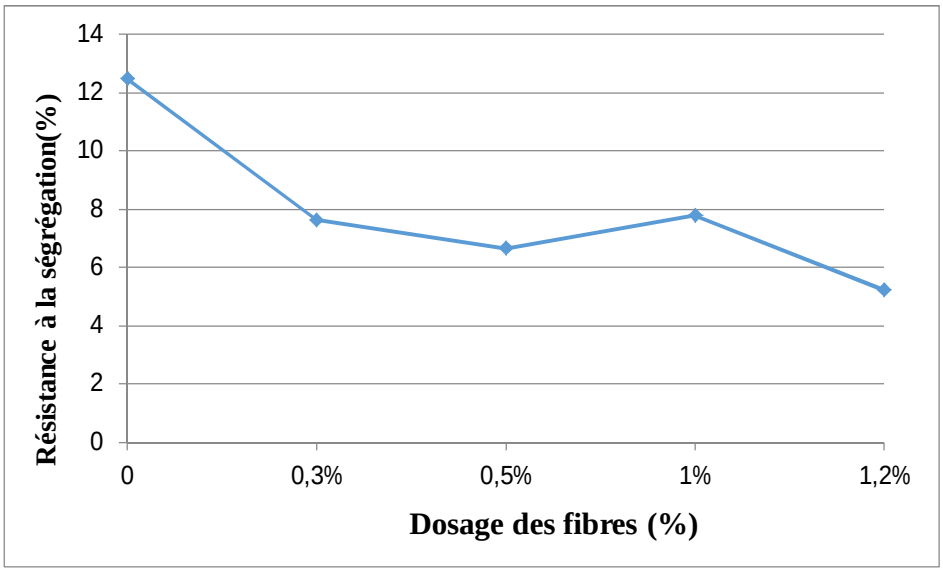


Figure. IV.7: Résistance à la ségrégation, des BAPF en fonction de dosage des fibres.

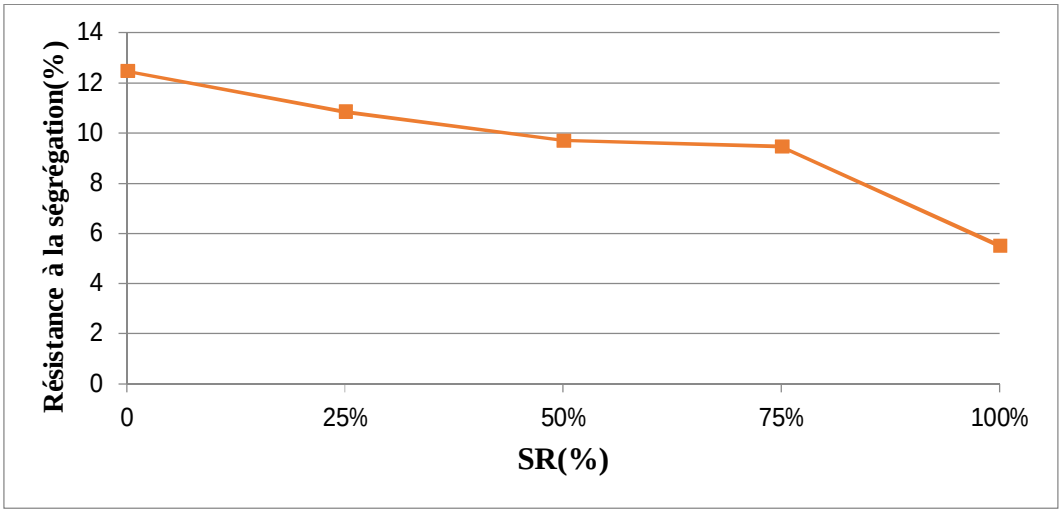


Figure. IV.8: Résistance à la ségrégation, des BAPSR en fonction de SR.

III.2 à l'êtas durci

III.2.1 Résistance à la compression

- **BAPF**

Les résulats obtenus montrent que la résistance à la compression varie en fonction d'ajout de fibres plastique au mélange du béton autoplçan.L'ajout des fibres plastiques engendre une légére augmentation ou diminution de la valeur des résistances . Cela montre que l'incorporation de fibres plastiques n'a aucun éffet sur la résistance à la compression.Ce résultat confirme les résultats de plusieurs chercheurs.

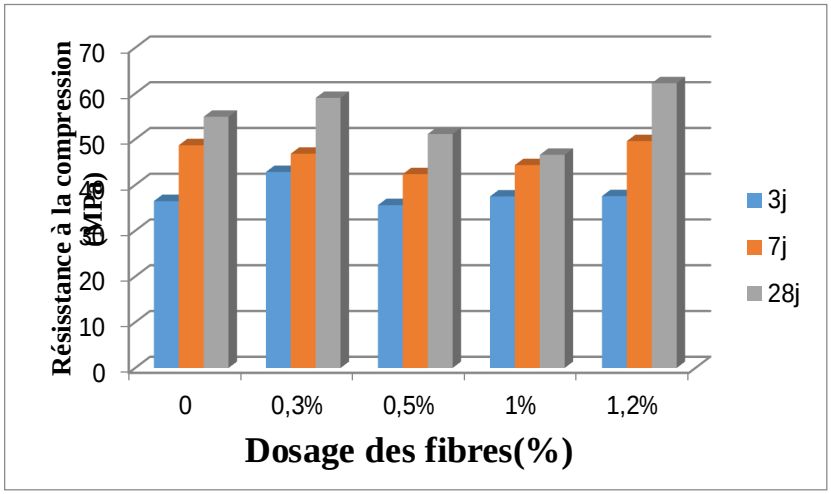


Figure. IV.9 Résisstance à la compression(MPa) en fonction de dosage des fibres

- **BAPSR**

Les résulats obtenus montrent que la résistance à la compression varie en fonction d'ajout sable recyclé (25%, 50%, 75%, 100%),L'ajout de sable recycle engendre une diminution de la valeur des résistances .Cela montre que l'incorporation de sable recycle éffet sur la résistance à la compression.Ce résultat confirme les résultats de plusieurs chercheurs

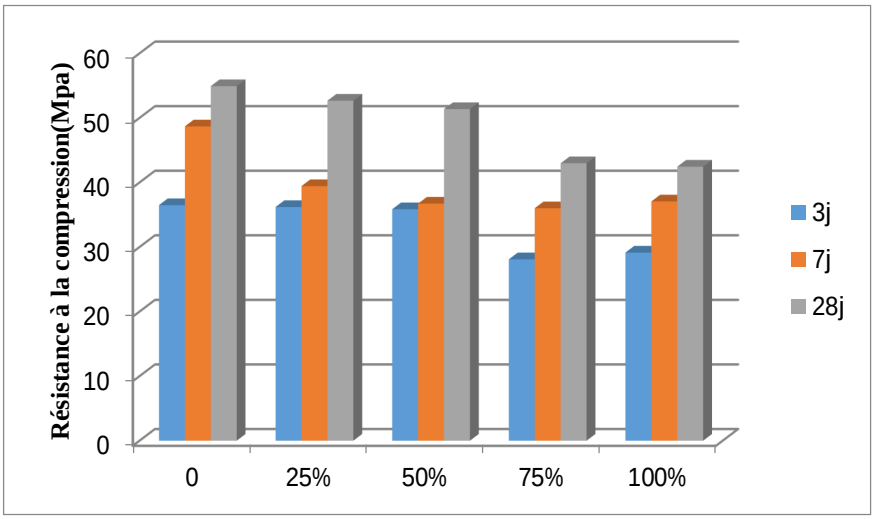


Figure. IV.10 Résisstance à la compression(MPa)en fonction de SR

III.2.2 Résistance à la traction

- **BAPF**

Les résulats obtenus montrent que la résistance à la traction varie en fonction d'ajout de fibres plastique L'ajout des fibres plastiques engendre une légére augmentation ou diminution de la valeur des résistances

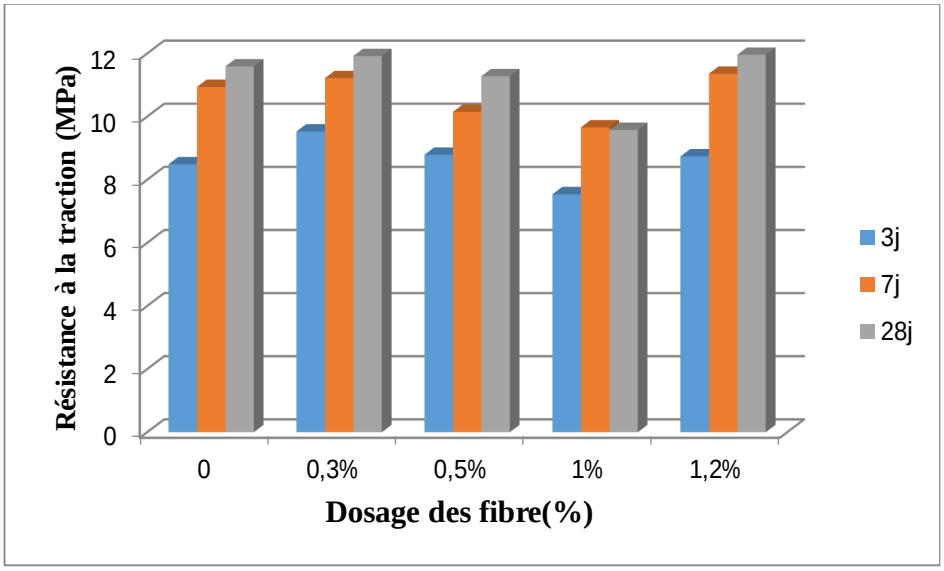


Figure. IV.11 Résisstance à la traction (MPa)en fonction de dosage des fibres

- **BAPSR**

Les résulats obtenus montrent que la résistance à la traction varie en fonction d'ajout sable recyclé (25%, 50%, 75%, 100%),L'ajout de sable recycle engendre une diminution de la valeur des résistance de traction .Cela montre que l'incorporation de sable recycle éffet sur la résistance à la compression.Ce résultat confirme les résultats de plusieurs chercheurs

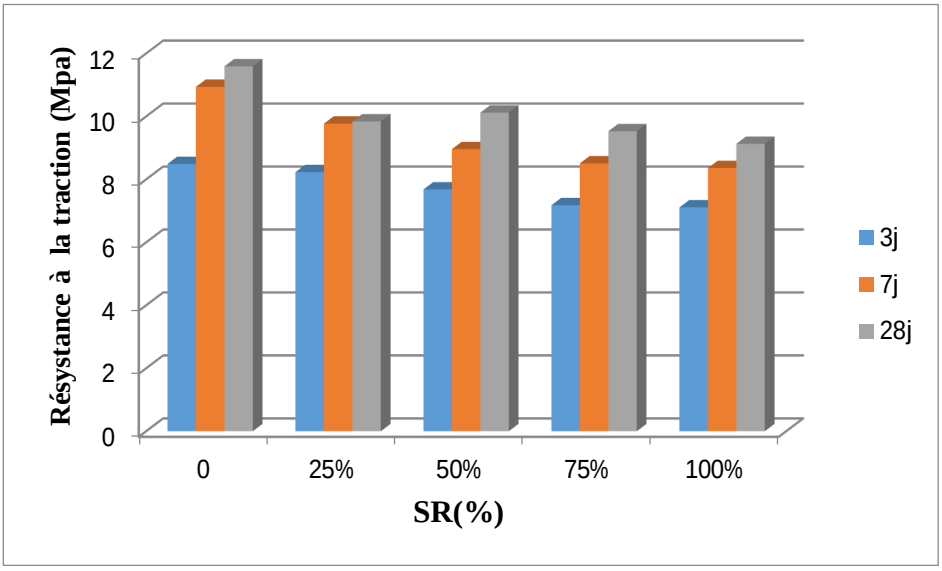


Figure. IV.12 Résisstance à la traction (MPa)en fonction de SR

CONCLUSION GÉNÉRALE

Le travail réalisé de cette étude vise à contribuer à mieux connaitre l'effet des différentes rations des fibres plastique dans certain volume du BAP et ainsi le taux de substitution des granulats naturels par des granulats recyclés sur le comportement du béton autoplaçant à l'état frais et durci.

Les principales conclusions que nous avons pu tirer peuvent être résumées comme suit :

- L'ouvrabilité du BAP diminue avec l'augmentation du dosage des fibres plastique qui introduire une augmentation du demande en dosage du SP dans un certain dosage des fibres (1% et 1.2%) ;

- La résistance mécanique à la compression et à la traction due à l'augmentation du dosage des fibres plastiques ;

- La substitution totale ou partielle des GN par des GR donne un BAP dont les propriétés à l'état frais acceptable en terme de capacité de remplissage, de passage et la résistance à la ségrégation;

- L'augmentation du taux de substitution de GN par des GR conduit à une diminution de la résistance à la compression et de la traction.

RECOMMANDATIONS

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 des granulats recyclés sur le comportement à l'état frais et durcis;

- L'utilisation des fibres abride (plastique+ méttalique) sur les caractéristiques des BAP ;

- Etude le comportement des BAPF avec d'autre granulats recyclés (granulats de verre, brick ….).

- 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.

RÉFÉRENCE BIBLIOGRAPHIQUE

[1] SLIMANI Abderezzak ,« Science et technologie des bétons », mémoire d‟ingénieure 2007 .

[2] Okamura H., Ouchi M., Self-compacting Concrete, Journal of advanced concrete technology, vol 1, p5-15, 2003

[3] HanaaFares, «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée», Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-

[4] Sedran T, "Les bétons autonivelants – Synthèse bibliographique", Bulletin liaison des laboratoires des ponts et chaussées N°169, mars-av 1995, pp. 53-60.

[5] EBFELCEM – Fédération de l‟Industrie Cimentière Belge, « Les bétons autoplaçants, Bruxelles, août 2005.

[6] Abib Z , "formulations et caractérisation des bétons autoplaçants" Mémoire de Magister, Juillet 2004, U.S.T.H.B., 114 pages

[7] Bethmont S, « Mécanismes de ségrégation dans les bétons autoplaçants (BAP) Etude expérimentale des interactions granulaires » Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, Paris, Décembre 2005.

[8] HanaaFares , «Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons Autoplaçants exposés à une Température élevée», Thèse de Doctorat de l'Université de Cergy-Pontoise Décembre 2009,

[9] . Aitcin, S. Jiang, BG. Kim, PC. Nkinamubanzi, and N. Pétrov. L’interaction ciment : super plastifiant. Cas des polysulfonâtes. Bulletin des Laboratoires des ponts et Chaussées, Vol. 233 : 87-98, Juill

[10]- Khélifa R., «Influence des Ciments à base D’Ajouts Minéraux sur les propriétés Mécaniques des Mortiers et des Béton », Thèse de Magistère en Génie Civil,UniversitéMentouri de Constantine, le 11 Juillet 2001.

et-Aout 2002.

[11] 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.

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

[13] 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.

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

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

[16] Boukendakdji. O, Etude de l‟‟influence des paramètres de formulation sur les propriétés d‟‟un béton auto plaçant : Optimisation des conditions opératoires, Thèse de doctorat de L‟‟Université Saad Dahleb de Blida, Algérie, 2010.

[17] F. De Larrard, Concrete mixture-proportioning - A scientific approach. Modern Concrete Technology Series, n 9 :E&FN SPON, 1999.

[18] JC. Gibbs and W. Zhu, Strength of hardened self-compacting concrete. Proceedings of First international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete

[19]O. Petersson, Limestone powder as filler in self-compacting concrete - frost resistance and compressive strength. Proceeding of 2nd International RILEM Sympo

[20] Gram H.E, and Piiparinen P. Properties of SCC – Especially early age and long term shrinkage and salt frost resistance, Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete, Stockholm, Sweden, , pp. 211-225. 1999.

sium on Self-CompactingConcrete, Tokyo, Japan :277-284, 2001.

[21] Hanaa FARES propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée. Thès de doctorat, Université de Cergy-Pontoise2009

[22] P. Turcry, E. Roziére, and A. Loukili, Influence du volume de pâte et des additions sur le retrait de fissuration des bétons autoplaçants. XXIIIème Rencontres Universitaires de Génie-Civil, Grenoble, 2005.

[23] A. Pineaud, Contribution à l'étude des caractéristiques mécaniques des bétons autoplaçants et application à l'industrie de la préfabrication. In Thès de doctorat, Université de Cergy-Pontoise, page 271. 2007
[24] S. Kolias and C. Georgiou, The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete. Cement and Concrete Composites, Vol. 27, N 2 :211-216, 2005.

[25] S. Kolias and C. Georgiou, The effect of paste volume and of water content on the strength and water absorption of concrete. Cement and Concrete Composites, Vol. 27, N 2 :211-216, 2005.
[26] G. Konig, K. Holschemcher, F. Dehn, and D. Weibe, Self-compacting concrete time development of material properties and bond behaviour. Proceeding of 2nd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Pro 33), Tokio, Japan :507-516, 2001.
[27] B. Persson, A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the coresponding properties of normal concrete. Cement and ConcreteResearch, Vol. 31, no 2 :193-198, 2001
[28] G. Pons, E. Proust, and S. Assié. Creep and shrinkage of self-compacting concrete : a different behaviour compared wih vibrated concrete Proceeding of 3nd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Pro 33), Reykjavik, Iceland :645-654, 2003
[29] M. EFNARC, The European Federation of Specialist Construction and Concrete System" The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use (2005).
[30]]- « R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000
[31] H. Okamura, K. Ozawa, Self-compactable high-performance concrete in Japan, Special publication 159 (1996) 31-44.
[32] 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.
[33] T. Sedran, LES BETONS AUTONIVELANTS (BAN)-SYNTHESE

BIBLIOGRAPHIQUE, Bulletin de liaison des laboratoires des Ponts et Chaussées (196) (1995).
[34] 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.
[35] 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.
H. Okamura, K. Ozawa, M. Ouchi, Self-compacting concrete, structural Concrete 1(1) (2000) 3-17.
[36] 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).
[37] Ayyar. T.S.R and Mirihagalla P.K. 1976, 'Elephant grass fibres as reinforcing fibre', Magazine of concrete research, Vol, 28, N°96, 162-167, September.
[38] Romildo D. Toledo Filho a, KhosrowGhavami ,, George L. England ,Karen Scrivener, « Development of vegetable fibre mortar composites of improved durability » . Cement&Concrete Composites 25 (2003) 185–19
[39] O. Bahloul utilisation des fibres végétales dans le renforcement de mortiers de ciment (casde l'alfa) SBEIDCO – 1st International Conference on SustainableBuiltEnvironmentInfrastructures in Developing Countries ENSET Oran (Algeria) - October 12-14, 2009.
[40] M.GUENDOUZ, «Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton» mémoire de master 2012 de université médea

[41] Dehouse, " Méthodes d"essais et caractéristiques mécanique des bétons armés de fibres de polypropylène ", In : fibre renforce cément and concrète, RILEM Symposium,1975, Edited by A. NEVILLE, Lancaster, Construction Press, 1975, pp.119-136, Communication 4.1.
[42] Y. Wang, H. Wu, V.C. Li, Concrete reinforcement with recycled fibers, Journal of materials in civil engineering 12(4) (2000) 314-319.
[43] J. Dardare, Contribution à l'etude du Comportement Mécanique des Bétons

Renforcés avec des Fibres de Polypropyléne, RILEM Symposium on Fiber-ReinforcedCement and Concrete, London, ed. AM Neville, 1975, pp. 227-235.
[44] K. Poh, General creep-time equation, Journal of materials in civil engineering 10(2) (1998) 118-120.
[45] F. Alkhairi, A. Naaman, Compressive strength and modulus of high early strength fiber reinforced concrete, RILEM PROCEEDINGS, CHAPMAN & HALL, 1992, pp. 138-138.
[46] 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.
[47] 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.
[48] 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.
[49] E. Dallaire, Etude du comportement a la flexion et a la compression de betonsa haute performance renforces de fibres d'acier (French text), (1995).
[50] ACI 544 Fiber Reinforced Concrete, ACI Manual of Concrete Practice 2006, American Concrete Institute, Farmington Hills, (2006),p 104 .
[51] Youcef Fritih, Apport d‘un renfort de Fibres sur le comportement d‘éléments en Béton autoplaçant armé Thèse de Doctorat de L‘université de Toulouse ,08 Juillet 2009.
[52] Dhonde H.B., Mo Y.L., et Hsu T.T.C et Vogel. J (2007) “Fresh and Hardened Properties of Self-Consolidating Fiber-Reinforced Concrete” ACI Materials Journal, V. 104, No. 5, pp. 491-500.
[53] T.C. Hansen, Recycling of demolished concrete and masonry, CRC Press1992.
[54] K. Poutos, A. Alani, P. Walden, C. Sangha, Relative temperature changes within concrete made with recycled glass aggregate, Construction and Building Materials 22(4) (2008) 557-565.
[55]. I. Soto, O. Soto, E. Pavón, N. Díaz, Uso de RCDscomoáridosreciclados y su empleo en hormigonesestructurales, IX Seminário de DesenvolvimentoSustentável e Reciclagem na Construcao Civil (2009).

[56] I. Nikbin, M. Beygi, M. Kazemi, J.V. Amiri, E. Rahmani, S. Rabbanifar, M. Eslami, A comprehensive investigation into the effect of aging and coarse aggregate size and volume on mechanical properties of self-compacting concrete, Materials & Design 59 (2014) 199-210.
[57] K. Rahal, Mechanical properties of concrete with recycled coarse aggregate, Building and environment 42(1) (2007) 407-415.
[58] B. MARQUIS, G. BERGERON, F. PELLERIN, P. BÉRUBÉ, A. DECREON, État d'avancement de l'étude sur l'utilisation des matériaux recyclés dans les chaussées, Matériaux recyclés: recueil des communications du 33e Congrès annuel de l'AQTR, Québec (20 et 21 avril 1998) 1 (1998) 533-553.
[59] J. Baron, J. Ollivier, Les bétons bases et données pour leur formulation Edition Eyrolles, Deuxième tirage (1997).
[60] S. Delvoie, Z. Zhao, F. Michel, L. Courard, Utilisation des sables et granulats recyclés dans le béton préfabriqué: comparaison des exigences réglementaires et techniques en Europe, (2018).
[61] M. Quebaud, M. Courtial, F. Buyle-Bodin, Le recyclage des matériaux de démolition, Travaux (721) (1996).
[62] Z.H. Duan, C.S. Poon, Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars, Materials & Design 58 (2014) 19-29.
[63] S. Kenai, F. Debieb, Caractérisation de la durabilité des bétons recyclés à base de gros et fins granulats de briques et de béton concassés, Materials and structures 44(4) (2011) 815-824.
[64] F. Debieb, S. Kenai, The use of coarse and fine crushed bricks as aggregate in concrete, Construction and building materials 22(5) (2008) 886-893.
[65] I. Irki, F. Debieb, S. Ouzadid, H.L. Dilmi, C. Settari, D. Boukhelkhel, Effect of Blaine fineness of recycling brick powder replacing cementitious materials in self compacting mortar, Journal of adhesion science and Technology 32(9) (2018) 963-975.
[66] C.E. DE NORMALISATION, Ciment Partie 1: Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants. CEN, NF EN 197-1, Février 2001 pp, P 15-101-1.
[67] N. EN, 933-1., 2006, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des

granulats-Partie 1.
[68] N. EN, 1097-6, Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats, AFNOR, 2006.
[69] N. EN, 933-8, Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats-Partie 8 (2015).
[70] 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.
[71] B. EN, 12350-8, 2010 Testing fresh concrete, Part 8: Selfcompacting concrete, Slump-flow test, British Standards Publication (2010).
[72] B. EN, 12350. Testing fresh concrete, self-compacting concrete; Technical committee, British Standards Institution: London, UK (2010).
[73] B. EN, 12350-10.(2010). Testing Self Compacting Concrete: L-Box Test, British Standard Int.
[74] B. EN, 12350-11.(2010). Testing Self Compacting Concrete: Sieve Segregation Test, British Standard Int.
[75] 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).
[76] NF EN 1097-2, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 2: Méthode pour la détermination de la résistance àla fragmentation », [86] B. EN, 12350-8, 2010 Testingfreshconcrete, Part 8: Selfcompactingconcrete, Slump-flow test, British Standards Publication (2010).
[77]O.Semmana,H.Dahmani, « Comportement des bétons autoplaçants A BASE DES FIBRES PLASTIQUES »mémoire de master 2014 de université médea.
[78] Debieb .F «Composites de ciment et béton »jornalhomepage 32 (2010)421-426
[79]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.
[80]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.
[81]M. EFNARC, The European Federation of Specialist Construction and Concrete

System" The European Guidelines for Self-Compacting Concrete, Specification, Production and Use (2005).
[82]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.