REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE

MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE

UNIVERSITE YAHIA FARES DE MEDEA



Faculté de **T**echnologie

Mémoire de fin d'études de Master

Filière : Génie Civil

Spécialité : Matériaux en génie civil

Formulation et caractérisation d'un béton auto-plaçant fibré à base des granulats recyclés

Présenté par

Mr. TOUMI Youcef

Mr. GUETTIOUI Mérouane

Proposé et Dirigé par

Pr. DEBIEB Farid

Melle. BAYAH Meriem

Promotion 2020

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

À mes parents
À mon frère et ma sœur

Vous vous êtes dépensés pour moi sans compter.
En reconnaissance de tous les sacrifices consentis par tous et chacun pour me permettre d'atteindre cette étape de ma vie.

À toute ma famille

Vous avez de près ou de loin contribué à Mon travail.

Affectueuse reconnaissance.

*À tous les enseignants du département `` **génie civil** ´´*

À tous mes amis, À toute La promotion Génie Civil de l'année 2020.

Enfin, je remercie mon chèr ami et binôme qui a contribué à la réalisation de ce modeste travail. Youcef.

Merouane.

DEDICACES

Je dédie ce modeste travail

À ma mère qui a été à mes côtés et ma soutenu durant toute ma vie

À mon père Rabi yarhmo qui a sacrifié toute sa vie
afin de m'avoir devenir ce que je suis
À mon frère Et mes sœurs

À toute ma famille

*À tous les enseignants du département `` **génie civil** ´´*

À tous mes amis, À toute La promotion Génie Civil de l'année 2020.

Enfin, je remercie mon binôme qui a contribué à la
*réalisation de ce modeste travail. **Mérouane.***

Youcef.

Remerciements

Le présent travail
A été réalisé au sein du laboratoire du génie civil
De Hall de Technologie de Médéa.

Ce jour marque la fin d'une longue période d'étude à l'université de Médéa. Au terme de notre formation en général et notre projet de fin d'études en particulier.

On tient à remercier en premier lieu DIEU "Allah" Miséricordieux
Qui nous a donné la force et la volonté d'achever ce modeste travail.

On adresse nos remerciements à notre promoteur le professeur
DEBIEB Farid, on le remercie de nous avoir encadré, orienté, aidé et conseillé pour la réalisation de ce travail.

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

On remercie également Melle. BAYAH Meriem et Mr. OULDKHAOUA Younes et Mr BELLATRACH Abdelkader à la fois présents et disponibles,
Nos sincères remerciements pour ses patiences, Ses disponibilités
Et surtout ses judicieux conseils.

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 et les responsables de laboratoires EPTRC
Qui nous ont aidé et fournit les moyens pour réaliser cette recherche.

Enfin je remercie tous ceux qui ont contribué de prés ou de loin à la réalisation de ce mémoire

ملخص

أصبح إعادة تدوير النفايات الآن الحل الصحيح الذي يمكن أن يقدم موارد جديدة متجددة ومستدامة تساهم في عملية البناء في مجال الهندسة المدنية وبالتالي حماية البيئة.

تعتبر مخلفات البناء والخرسانة المعاد تدويرها بديلاً مثيرًا للاهتمام في تلك الحالات التي تتوفر فيها هذه النفايات بكثرة بعد سقوط المباني أو في نهاية عمرها الافتراضي أو كنفايات بناء.

الهدف من هذا العمل هو دراسة الجهد المشترك للألياف البلاستيكية كإضافة (0.3٪ و 0.5٪) والرمل المعاد تدويره من نفايات الخرسانة كبديل للرمل الطبيعي (25٪ ، 50٪ ، 75٪ و 100٪) على الخصائص الفيزيائية والميكانيكية والمتانة للخرسانة ذاتية التماسك.

نظرًا لوباء كوفيد 19، لم يتم الانتهاء من العمل التجريبي وتظهر النتائج القليلة التي تم العثور عليها المساهمة الإيجابية للألياف البلاستيكية في الخرسانة المرصوصة ذاتيا مع إمكانية استخدام هذه الخرسانة في مناطق مختلفة من قطاع أعمال البناء.

الكلمات المفتاحية : الخرسانة المرصوصة ذاتيا ، نفايات الخرسانة ، ألياف البلاستيك، الرمل المعاد تدويره

Résumé

Le recyclage des déchets est devenu aujourd'hui la bonne solution qui peut offrir de nouvelles ressources renouvelables et durables qui contribuent dans le processus de la construction dans le domaine du génie civil et ainsi pour protéger l'environnement.

Le béton recyclé et les déchets de construction sont une alternative intéressante dans ces cas où ces déchets sont abondamment disponibles suite à la chute de bâtiments, à la fin de leur vie ou comme déchets de construction.

Le but de ce travail est d'étudier l'effort combiné des fibres plastiques (PET) comme ajout (0.3% et 0.5%) et de sable recyclé des déchets de béton comme substituant au sable naturel (25% ,50%, 75% et 100%) sur les propriétés physiques, mécaniques et de durabilité du béton autoplaçant.

à cause de la pandémie du COVID-19 le travaille expérimentale n'a pas êté achevé et le peu des résultats trouvés montre l'apport positif des fibres plastiques sur les bétons autoplaçant avec la possibilité d'utilisation de ce béton dans différents domains du secteur de la construction.

Mots clés : *Béton Auto plaçant; déchet de béton; les fibres plastiques; granulats recyclés.*

Abstract

Waste recycling has now become the right solution that can offer new renewable and sustainable resources that contribute in the process of construction in the field of civil engineering and thus to protect the environment.

Recycled concrete and construction waste is an interesting alternative in those cases where this waste is abundantly available following the fall of buildings, at the end of their life or as construction waste.

The aim of this work is to study the combined effect of plastic fibers (PET) as an addition (0.3% and 0.5%) and recycled sand from waste concrete as a substitute for natural sand (25%,50%,75% and 100%) on the physical , mechanical proprieties and durability of self compacting concrete (SCC).

Due the COVID-19 pandemic, the experimental work was not, completed and the few results found show the positive contribution of plastic fibers on SCC with the possibility of using this concrete in different areas of the construction.

Key words: *Self-placing concrete; concrete waste; plastic fibe*rs*; recycled aggregates.*

Sommaire

SOMMAIRE

Remerciements

Résumés

Sommaire

Liste des Tableaux

Liste des Figures

Notation et Abréviation

Introduction Générale 1

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

I.1-Béton Autoplaçant 3
I.1.1-Définition 3
I.1.2-Les avantages des BAP 3
I.1.3-Constituants des BAP 4
I.1.3.1-*Ciment* 4
I.1.3.2-Granulats 5
I.1.3.3-*Eau* 5
I.1.3.4-Les adjuvants 5
I.1.3.5- Les ajouts minéraux 7
I.1.4-Les propriétés des BAP à l'état frais 7
I.1.4.1- la Capacité au Remplissage 7
I.1.4.2-La Capacité de Passage 7
I.1.4.3- *La Résistance à la Ségrégation* 8
I.1.4.4-Rhéologie 8
I.1.5-Caractérisation des BAP à l'état frais 8
I.1.5.1-Essai d'étalement (Slump Flow) 9
I.1.5.2- Essai de boite en L 9
I.1.5.3- Essai de l'entonnoir 11
I.1.5.4-Essai de stabilité au tamis 11
I.1.6- Caractérisation de BAP à l'état durci 12
I.1.6.1-Résistance à la compression 12
I.1.6.2-Résistance à la traction 14
I.1.6.3-Module d'élasticité 14

SOMMAIRE

I.1.6.4- *Retraits* 16
I.1.7- Durabilité d'un BAP 16
I.1.8-Méthode de formulation 16
I.1.8.1-La Méthode Japonaise 16
I.1.8.2-Méthode Suédoise 17
I.1.8.3-Méthode Française (LCPC) 17
I.1.9-Domaines d'utilisations privilégiées des BAP 18
I.2- Bétons fibrés 19
I.2.1-Les fibres 19
I.2.1.1- Définition des fibres 19
I.2.1.2- Différents types de fibres 19
I.2.1.3-Rôles de fibres 24
I.2.1.4-Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres 25
I.2.1.5-Utilisation des fibres dans la construction 26
I.2.2-Bétons autoplacants fibres 27
I.2.2.1-Introduction 27
I.2.2.2-Influence des fibres sur les propriétés a l'état frais 27
I.2.2.3-Influence des fibres plastiques sur les propriétés des matériaux cimentaires 30
I.2.2.4-Utilisation des BAP fibres dans les structures 34
I.3-Bétons recyclés 35
I.3.1- Politique de recyclage en Algérie 35
I.3.2- Origine de la production de déchets 37
I.3.3-Différents types de déchets 37
I.3.3.1-Les déchets inertes 37
I.3.3.2-Les déchets industriels banals 37
I.3.3.3-Les déchets ménagers et assimilés 38
I.3.3.4- Les déchets dangereux 38
I.3.4-Gestion des déchets 38
I.3.4.1- Définition 38
I.3.4.2-Politique de la gestion des déchets 38
I.3.4.3-Principe de gestion des déchets 39
I.3.4.4-Techniques de gestion des déchets 39
I.3.5-Recyclage des déchets en Algérie 40
I.3.5.1-Introduction 40

I.3.5.2-Les déchets de construction 40
I.3.5.3- La problématique des déchets 41
I.3.6- Granulats Recyclés 42
I.3.6.1-Exploitation des granulats recyclés 42
I.3.6.2-Sources des granulats recyclés 43
I.3.6.3-Terminologie et identification des déchets 45
I.3.6.4-Utilisation des granulats issus de recyclage 46
I.3.6.5-Les caractéristiques des granulats recyclés 47
I.3.6.6- Utilisation des granulats recyclés dans le béton 48
I.3.-Conclusion 52

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

II.2-Caractérisation des matériaux utilisés 54
II.2.1-*Ciment* 54
II.2.2-Granulats 55
II.2.2.1-*Sable* 55
II.2.2.2-*Gravier* 56
II.2.3-Fibres de plastiques 57
II.2.4-Les granulats recyclés 59
II.2.4.1-Recyclage et caractérisation des déchets de béton 59
II.2.5-Eau de gâchage 59
II.2.6-Superplastifiant 60
II.3-*Formulation du béton adopté* 60
II.3.1-Formulation du Mortier autoplaçant 61
II.3.2-Formulation du béton autoplaçant 62
II.4-Technique expérimentale 64
II.4.1-Séquence de malaxage du béton 64
II.5-Essai sur BAP 66
II.5.1-Etat frais 66
II.5.1.1-Essais d'étalement et T50 66
II.5.1.2-*Essai d'entonnoir en V (V-Funnel)* 67
II.5.1.3-Essai de la boîte en L (L-Box) 68

II.5.1.4-Essai de la stabilité au tamis 69
II.5.1.5-Remplissage des moules 70
II.5.1.6-Démoulage et conservation des éprouvettes 70
II.5.2-Etat durci 71
II.5.2.1-Résistance à la compression 71
II.5.2.2-Résistance à la traction par flexion 71
II.5.2.3-Retrait et gonflement 72
II.5.2.4- Absorption d'eau par capillarité 75
II.6-Variables étudiées 76
II.7-Conclusion 77

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

III.1- Introduction 78
III.2- Etude des MAP 78
III.2.1- Optimisation des rapports S/M et SP/L 78
III.3- Etude des BAP 80
III.4- Etude des BAPF 82
III.4.1- à l'état frais 82
A.Etalement au cône d'Abrams 82
B.Temps d'écoulement à travers le V-funnel 85
C.Capacité de passage à travers L-BOX 86
D.Stabilité au tamis 87
III.4.2- à l'êtas durci 88
A.Résistance à la traction 88
B.Résistance à la compression 89
III.5- Etude des BAPFR à base des granulats recyclés de béton 90
CONCLUSION GENERALE 91
RECOMMANDATION 92

Liste des Tableaux

Liste des tableaux

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Tableau I.1: Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage 7

Tableau I.2: Essais permettant la détermination de la capacité de passage 7

Tableau I.3: Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées 20

Tableau I.4 : Application des divers renforcements de fibres 25

Tableau I.5 :Estimation de la quantité totale des déchets urbains 38

TableauI.6 :Les pourcentages des déchets de construction 40

TableauI.7 : Résistances à la compression des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa 51

Tableau I.8: Résistances à la traction par flexion des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa 51

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

Tableau II.1 : Différents compositions utilisées dans la recherche 53

Tableau II.2 : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 54

Tableau II.3 : Propriétés physiques d'identification de sable utilisés 55

Tableau II.4 : Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés 57

Tableau II.5 : les caractéristiques de SR 59

Tableau II.6 : Propriétés physiques de MEDAFLOW 30 60

Tableau II.7 : formulation optimal du mortier autoplaçant. 62

Tableau II.8: Compositions de différentes formulations BAP étudiés dans un volume de 1m3 63

Tableau II.9: Compositions de différentes formulations BAPF étudiées dans un volume de 1m3 de béton. 63

Tableau II.10 : Composition de la formulation BAPF adoptée 64

Tableau II.11 : Les essais de caractérisation sur le béton à l'état frais 66

Tableau II.12 : Les essais de caractérisation sur le béton à l'état durci 71

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

Tableau III.1 : Résultats sur MAPT pour différentes % de SP et S/M 79

Tableau III.2 : Résultats sur BAP pour différentes % de SP..... 80

Tableau III.3 : Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation..... 83

Liste des Figures

CHAPITRE I : RECHERCHE BIBLIOGRAPHIQUE

Fig.I .1 : différence de mise en place entre le BAP et le BO 3
Fig. I.2: les composants de BO et BAP 4
Fig. I.3: Mesure de l'étalement 8
Fig. I.4: Essai d'étalement d'un BAP 9
Fig. I.5: Schéma de la boite en L 9
Fig. I.6: Mesure du taux de remplissage (H2/H1 ≈ 80%). 10
Fig.I.7 : Essais des Entonnoirs 11
Fig.I.8 : Essai au tamis 11
Fig. I.9: Evolution de la résistance mécanique d'un BAP et d'un BV correspondant 12
Fig. I.10: Résistance mécanique d'un béton vibré et de 2 BAP 13
Fig. I.11 : Comparaison des modules d'élasticité d'après les codes de construction de BAP .. 15
et des bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales. [35] 15
Fig. I.12 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres 19
Figure I.13: Fibres végétales 20
Fig. I.14 : Quelques formes de fibres d'acier 21
Fig. I.15 : Fibres de verres 22
Fig. I.16 : Fibres de polypropylène 22
Fig. I.17 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres 23
Fig. I.18: Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé .. 25
des fibres. [42] 25
Fig. I.19 : Effets des fibres sur l'étalement des BAP. 27
Fig. I.20 : L'affaissement de bétons à base de différents types de fibres plastiques 29
Fig. I.21 : Etalement des BAP à base de fibres plastiques (PET). 30
Fig. I.22 : Densité des BAP à base de fibres plastiques en PET 30
Fig. I.23 : Résistance à la compression des BAP a base de fibres plastiques 31
Fig. I.24 : Résistance à la compression des BAP a base de fibres plastiques 31
Fig. I.25 : La résistance à la flexion des BAP à base de fibres plastiques 32
Fig. I.26 : Résistance à la flexion des BAP a base de fibres plastiques 32
Fig. I.27 : Coefficients d'absorption capillaire des mortiers à base de fibres plastiques 33
Fig. I.28 : Deux types de palplanche 34
Fig. I.29 : Exemple d'un voussoir 34
Fig. I.30 : Représentation de déchet de béton avant et après concassage 43
Fig. I.31 : Représentation de déchet de maçonnerie avant et après concassage 44
Fig. I.32 : Représentation de déchet de béton et de maçonnerie avant et après concassage 44

Fig. I.33 : Représentation de déchet d'enrobés hydrocarbonés avant et après concassage..... 44
Fig. I.34 : Synthèse des origines et définition des usages 45
Fig. I.35 : Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton . 49
Fig. I.36 : Le Temps d'écoulement en fonction de MPfX. 50
Fig. I.37 : Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution mixte 51

CHAPITRE II : MATERIAUX ET ESSAIS

Fig. II.1 : Le ciment utilisé (Annexe A) 55
Fig. II.2: Sable moyenne d'Oued Souf 55
Fig. II.3 : Courbe granulométrique de sable utilisées. 56
Fig. II.4:Gravier de Hanacha 3/8 56
Fig. II.6: Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15 57
Fig. II.7 : Différentes formes de fibres utilisées 58
Fig. II.8 : Protocole de l'essai de la masse volumique pour les fibres plastiques 59
Fig. II.9 : Protocole de concassage des déchets des bétons. 59
Fig. II.10 : MEDAFLOW 30. 60
Fig. II.11: formulation du mortier autoplaçant. 62
Fig. II.12:Formulation du BAP choisi. 63
Fig. II.13 : Séquence de malaxage du béton autoplaçant 65
Fig. II.14 : Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré. 66
Fig. II.15 : Essais d'étalement. 67
Fig. II.16 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel). 68
Fig. II.17 : Protocole de l'essai de la boîte de L-Box. 69
Fig. II.18 : Protocole de l'essai de stabilité au tamis. 70
Fig. II.19 : Protocole de remplissage des moules. 70
Fig. II.20 : Conservation des éprouvettes. 71
Fig. II.21 : Protocole de l'essai de compression. 72
Fig. II.22: Protocole de l'essai de traction par flexion. 72
Fig. II.23 : Le réctractomètre. 73
Fig. II. 24 : Protocole de l'essai retrait 75
Fig. II.25 : Absorption d'eau par succion capillaire. 76
Fig. II.26 : Variables étudiées 77

CHAPITRE III : RESULTATS ET INTERPRITATION

Fig. III.1: Essai de résistance à la segrégation au tamis. 81
Fig. III.2: Etalement des BAPF avec SP constant. 83
Fig. III.3: Dosage en SP en fonction de FP. 84
Fig. III.4: Etalement des BAPF avec SP variable. 85
Fig. III.5: Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable. 86
Fig. III.6: L-BOX des BAPF avec SP constant. 87
Fig. III.7: L-BOX des BAPF avec SP variable. 88
Fig. III.8 : Stabilité au tamis des BAPF. 89
Fig. III.9: Résistance à la traction des BAPF. 90
Fig. III.10: Résistance à la compression des BAPF. 91

Notation et Abréviation

BAP Béton autoplaçant

BAPT Béton autoplaçant témoin

BAPF Béton autoplaçant à base des fibres plastiques

BAPFR Béton autoplaçant à base des fibres plastiques et granulant recyclé

BO Béton ordinaire

BV Béton vibré

FP fibre plastique

CPA Ciment Portland Artificiel

CPJ Ciment Portland Composée

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

Dmax La dimension du plus gros grain de l'étendue granulaire

E Quantité d'eau

E/C Rapport eau sur ciment

E/L Rapport eau sur liant

ESV Equivalent de sable à vue

ES Equivalent de sable à piston

FP Fibre plastique

G/S Rapport gravillon/sable

S/M Rapport sable/ mortier

Sp/L Rapport superplastifiant sur liant

R Résistance

$\mathbf{R_C}$ Résistance à la compression

$\mathbf{R_T}$ Résistance à la traction

GR Granulat recyclé

SBR Sable de béton recyclé

SR Sable recyclé

SCR Sable concassé recyclé

SP Superplastifiant

NA Norme Algérienne

NE Norme Européenne

Mf Module de finesse

M Moment de flexion

I Moment d'inertie

L Liante

INTRODUCTION GÉNÉRAL

INTRODUCTION GÉNÉRAL

Contexte général

Devant les besoins croissant des ressources en matériaux et aux exigences de préservation de l'environnement dans une vision de développement durable, il est devenu nécessaire et pertinent de prospecter et d'étudier toutes les possibilités de réutilisation et de valorisation des déchets et sous-produits industriels notamment dans le domaine de génie civil.

La production des granulats recyclés s'est développée au début des années 80, elle répond au besoin d'une autre source de granulats et de la réduction des volumes de déchets. L'utilisation de ces granulats recyclés dans les bétons présente plusieurs avantages tant au niveau environnementale, humain, technologique qu'économique qui s'intéresse de plus en plus dans les industriels.

En parallèle, un autre type de béton qui est le béton fibré (BF) est devenu un des bétons spéciaux les plus utilisés dans le monde, attirant ainsi la réflexion des chercheurs. Son comportement mécanique, est parmi les domaines les plus investis et demeurent à nos jours encore à conquérir. La dernière décennie a connu d'énormes travaux qui ont visé à mieux comprendre le rôle joué par la présence des fibres et de pouvoir l'améliorer davantage. Les modifications engendrées dépendent notamment de la géométrie et de la nature des fibres introduites (polymères, métalliques, plastique, verres, carbone...), de leur fraction volumique et de leur vieillissement dans le béton. Le comportement fragile des bétons peut être évité par l'incorporation de fibres à la composition initiale du béton, ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité.

Les bétons autoplaçants (BAP) sont des bétons spéciaux très fluides, homogènes et stables, dont la spécification est de se mettre en place sous l'effet de leur propre poids à l'aide de sa fluidité et homogénéité sans apport de vibration externe ou interne.

Les BAP possèdent une plage d'utilisation très large, des résistances couvrant la gamme des bétons ordinaires aux bétons à hautes performances et ils peuvent être coulés dans des zones très ferraillées ou dans des zones d'architecture complexe et difficilement accessibles. La suppression de la phase de vibration présente également l'intérêt d'améliorer les conditions de travail sur site, ainsi que le confort acoustique au voisinage du chantier plus particulièrement en zone urbaine.

D'une manière générale les contraintes de mise en oeuvre des BAP sont nettement plus faibles que celles des bétons mis en oeuvre par vibration, grâce à sa facilité de coulage sur de longues distances et de grandes hauteurs.

En effet, la qualité du béton autoplaçant confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire ce qui donne aujourd'hui au béton autoplaçant une grande importance dans la recherche scientifique car les chercheurs ont essayés de remplacé les composantes de BAP par des matériaux locaux recyclé.

Objectif de travail

L'objet principal de cette étude de recherche est de contribuer à la réutilisation des déchets de béton dans la fabrication du béton autoplaçant fibré (fibre plastique) et cela permet donc :

- ✓ D'éliminer les déchets par recyclage d'où protection de l'environnement.
- ✓ Aider à résoudre certains problèmes liés au manque de granulats et en particulier à l'utilisation des granulats alluvionnaires.
- ✓ Renforcement de la matrice de BAP à base des fibres plastiques.

Plan de travail

Ce mémoire regroupe trois chapitres :

Le premier chapitre présente une étude bibliographique sur le BAP, leur caractéristique à l'état frais et durci Ainsi d'avoir des idées profondes concernant les fibres leur utilisation et l'effet des fibres sur la rhéologie des BAP, … etc. et aussi la valorisation et l'activité de recyclage en construction.

Le deuxième chapitre donne une description des matériaux utilisés et les essais réalisés et fait l'objet d'une section réservée aux détails de l'expérimentation mise en place durant toute la maîtrise de cette recherche.

Le dernier chapitre est consacré à la présentation des résultats et leurs interprétations. Les différentes résultats sont analysés indépendamment les uns des autres.

Finalement, ce travail s'achéve par une conclusion générale et des recommandations pour le futur afin de bien contourner et compléter cette modeste étude, par l'initiation à la recherche.

Chapitre I

Recherche Bibliographique



I.1-*Béton Autoplaçant*

I.1.1-*Définition*

Les bétons autoplaçant (BAP) sont très fluides, de sorte qu'ils s'écoulent et se mettent en place sous l'effet de la gravite sans besoin de compactage ou de vibration, et donnent des bétons homogènes et résistants à la ségrégation, et au ressuage. De plus ils sont très déformables et épousent parfaitement les formes des coffrages les plus complexes. Grâce à leur bonne uniformité une fois à la mise en place, ils donnent des structures résistantes et durables. **[1]**

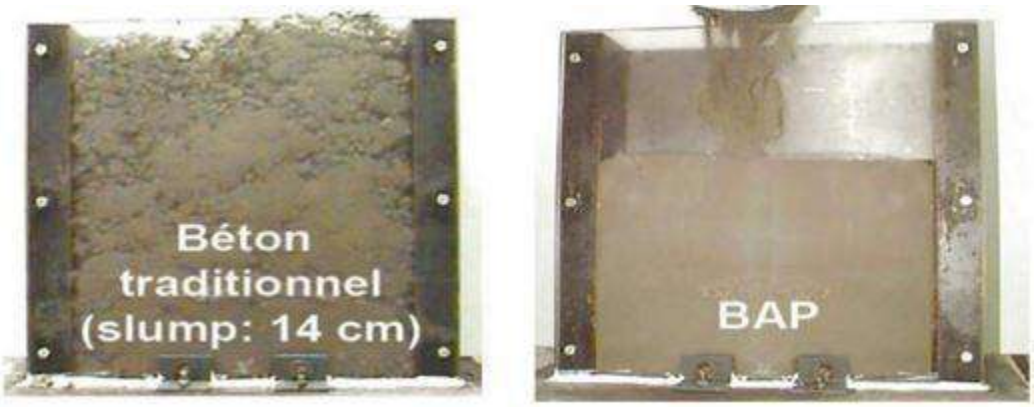


Fig. I .1 : *différence de mise en place entre le BAP et le BO.**[2]***

Les propriétés caractéristiques de ce béton sont les suivantes :

- Fluidité et viscosité élevées, sans aucune tendance à la ségrégation (comme du miel).
- Désaération du béton pendant son écoulement.
- Excellente aptitude au remplissage des moindres recoins du coffrage par un béton homogène, même en présence de réservations, d'incorporés et de ferraillage dense.
- Le dispendieux et fastidieux travail de vibration est ainsi supprimé. **[3]**

I.1.2-*Les avantages des BAP*

- Facilité et rapidité dans la mise en œuvre du béton (coulage en un seul point, augmentation du débit de béton pompé).
- Bétonnage en milieux fortement ferraillés et pour les formes plus complexes.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.
- Réduction du coût de la main d'œuvre.

- Absence de systèmes de vibration (intérieurs ou extérieurs) réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.
- Réduction du temps de bétonnage et des besoins de ragréage.

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

I.1.3-*Constituants des BAP*

Un béton est constitué de deux parties principales : les granulats et la pâte (voir figure I.2). Par rapport aux bétons classiques, les BAP ont deux constituants supplémentaires qui doivent être présents dans la composition du béton. **[5]**

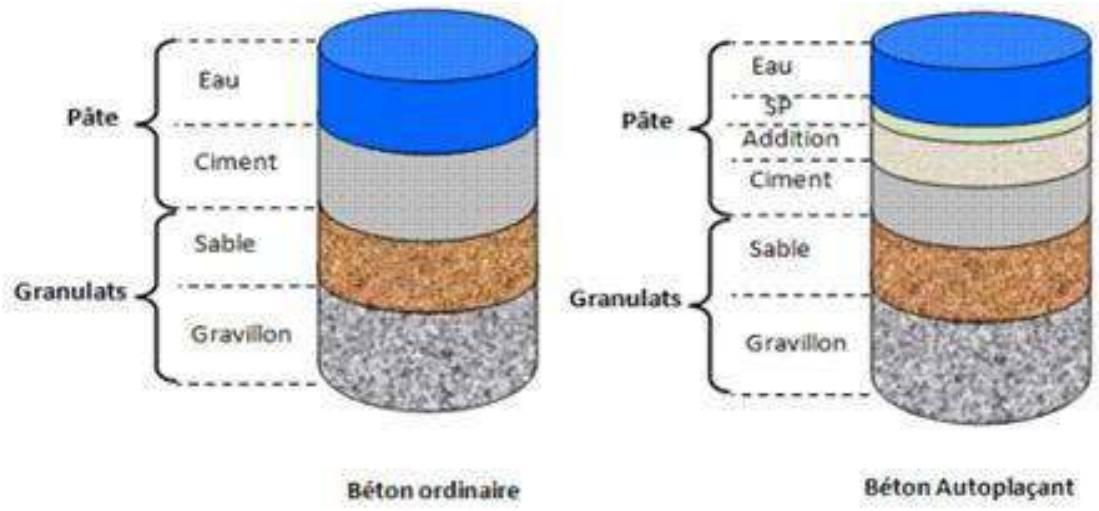


Fig. I.2: *les composants de BO et BAP.* ***[6]***

Les constituants du BAP ont un rôle très important dans la détermination des propriétés des BAP à l'état frais et durci. Donc, il est nécessaire de connaître le rôle que peut jouer chaque constituant ainsi que leur influence sur les propriétés des BAP. Cependant, les constituants d'un BAP, sont les mêmes que celui d'un béton ordinaire et qui sont :

I.1.3.1-*Ciment*

Le ciment généralement utilisé pour la confection d'un béton autoplaçant est soit le ciment Portland CPA-CEMI 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.**[7]**

I.1.3.2-*Granulats*

Le dosage des granulats peut avoir une influence sur les propriétés d'ouvrabilité des bétons. Pour obtenir un BAP, le volume du gravier et la taille maximale des granulats ont été réduits pour diminuer les frictions et pour éviter les blocages dans des zones confinées.

L'importance des gros granulats sur la fluidité des BAP a pu être mise en évidence de même qu'il est recommandé d'utiliser des granulats roulés. En effet, les granulats roulés permettent de diminuer le risque de ségrégation. Il est considéré que le volume des gros granulats, dans le béton, est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération.

En effet ils ont constaté que plus la teneur en gros granulats augmente, plus la capacité de remplissage diminue, contrairement au rapport sable sur pâte qui n'influence pas sur le coefficient de remplissage. Le volume des gros granulats est donc limité et le rapport gravillon/sable est proche de 1.**[8]**

Du fait que les frottements entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats/sable(G/S) exprimé en masse est de 1itre (L) dans un BAP. Le risque de blocage dans un milieu fortement ferraillé augmente lorsque le D_{max} augmente **[9]**. Ainsi, ce dernier doit être compris entre 10 et 20mm.Abib **[10]** a étudié l'effet de la variation de dimension du gravier sur la rhéologie des BAP. Il a conclu que le diamètre d'étalement d'un BAP augmente lorsqu'on diminue le volume de gravier de la fraction 8/16.Bethmont **[11]** a explicité que la taille maximale D_{max} des granulats, étant un facteur non négligeable, peut provoquer un blocage. Il apparaît que le risque de blocage, pour un ferraillage donné, augmente lorsque le diamètre maximum des granulats augmente.

I.1.3.3-*Eau*

L'eau utilisée pour la formulation du béton ne doit pas présenter un excès d'impuretés qui peuvent détériorer les propriétés des bétons (résistance, propriétés esthétiques, corrosion des armatures, etc.). **[12]**

I.1.3.4-*Les adjuvants*

On appelle adjuvant, tout ingrédient autre que le ciment, les granulats et l'eau, que l'on ajoute au mélange. Ce sont le plus souvent des polymères de synthèse au poids moléculaire assez élevé (20000 –30000 gr) **[13]**. Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont frais, afin d'améliorer certaines propriétés, en modifiant principalement :

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

Deux aspects pour assurer la fluidité des BAP, par l'augmentation de volume de pate élevée de ciment ou par l'utilisation des superplastifiants (SP).

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

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

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

De ce fait, le matériau devient moins stable du point de vue de la ségrégation et du ressuage. Pour minimiser cet effet, les BAP contiennent souvent un agent de viscosité. Les agents de viscosité peuvent être de différentes natures, en général se sont des polysaccharides hydrosolubles. **[14]**

I.1.3.5- *Les ajouts minéraux*

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

I.1.4-*Les propriétés des BAP à l'état frais*

Les guides Européens EFNARC **[15]** pour les BAP, définissent les propriétés à l'état frais en quatre points essentielles, et proposent des essais empiriques à réaliser pour chaque propriété. **[21]**

I.1.4.1- la Capacité au Remplissage

Le remplissage du béton, ou la déformabilité, est un critère qui découle directement de sa fluidité. La capacité de remplissage est à la fois caractérisée par un degré de remplissage (étalement, Seuil) et par une vitesse de remplissage (t50, temps au V-funnel et viscosité).

Tableau I.1: *Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage* ***[16]***

Propriété	Essais à réaliser
Capacité au Remplissage	• Etalement au Cône d'Abrams (Slump-Flow). • Temps à T_{50} au cône d'Abrams (T_{50} Slump-Flow) • Temps d'écoulement à l'entonnoir en V (V-Funnel) • Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) • Etalement au Tube Orimet (Orimet) • Essai du caisson (Fill Box)

I.1.4.2-*La Capacité de Passage*

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

***Tableau*I.2 :** Essais permettant la détermination de la capacité de passage **[16]**

Propriété	Essais à réaliser
Capacité de passage	• Etalement au cône d'Abrams en présence d'anneau de bars (J-Ring test) • Temps à T_{50} au cône d'Abrams en présence du J-Ring • Différence d'Hauteurs au J-Ring • Essai de la Boite en L (L-Box test) – Mesure de H_2/H_1 • Essai de la boite en U (U-Box test)

I.1.4.3- ***La Résistance à la Ségrégation***

Essais de la résistance à la ségrégation est principalement pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton auto-plaçant. Le BAP 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. **[17]**

I.1.4.4-*Rhéologie*

En plus de la fluidité, la viscosité du béton constitue un second critère important pour caractériser le comportement du BAP. Elle peut être déduite à partir de la mesure des frottements internes d'un matériau sous l'effet de sollicitations imposées (contraintes de cisaillement). La viscosité est d'autant plus faible que ces forces de frottement internes sont petites. Lorsque le béton s'écoule et s'étale plus rapidement que la viscosité est faible. **[17]**

I.1.5-*Caractérisation des BAP à l'état frais*

Plusieurs essais ont été développés pour déterminer les propriétés rhéologiques tant du point de vue de la fluidité que de la ségrégation (essai à la boîte en L, au tube en U et au cône en V, essai d'étalement, divers rhéomètres, essai d'enfoncement de billes, etc.). Certains essais permettent de qualifier soit la fluidité du béton, soit son comportement rhéologique. Pour évaluer la résistance à la ségrégation statique, on est actuellement contraint de faire des mesures sur béton en cours de durcissement ou durci (sciage et comptage de granulats, ultrasons, micro-tomographie 3D, etc.).**[18]**

I.1.5.1-*Essai d'étalement (Slump Flow)*

Cet essai est très simple à faire puisque qu'on utilise le même équipement que pour l'affaissement. Il permet d'avoir une très bonne idée de la déformabilité du béton autoplaçant. Plus l'étalement est élevé, meilleure est la déformabilité. **[19]**

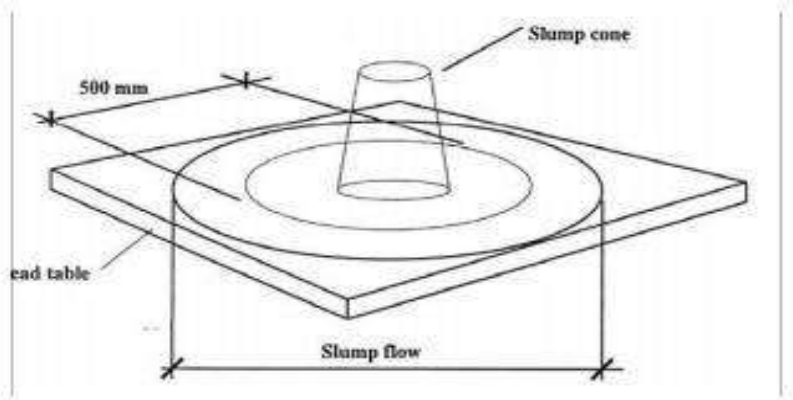


Fig. I.3: *Mesure de l'étalement.* ***[19]***

Il est à noter que les recommandations internationales classent les BAP en 3 catégories selon la valeur de l'étalement (SF:Slump Flow) et les applications correspondantes [EFNARC2002]:

- SF1 (550 - 650 millimètres) est approprié pour les structures en béton non renforcées.
- SF2 (660 - 750 millimètres) convient aux applications courantes (murs, colonnes).

- SF3 (760 - 850 millimètres) est employé pour des applications verticales en structures très encombrées, structures avec des formes complexes. **[19]**

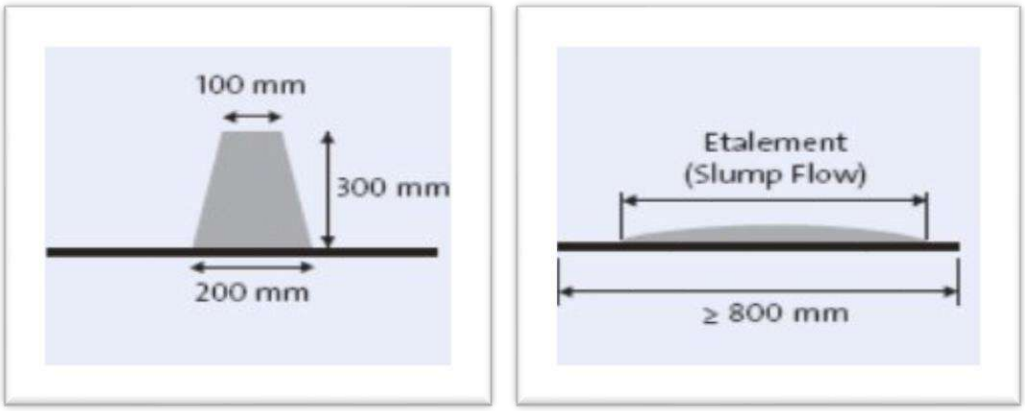


Fig. I.4: *Essai d'étalement d'un BAP* ***[19]***

I.1.5.2- Essai de boite en L

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 **[19].** Un dessin technique de la boîte est décrit par (la figure I.5).

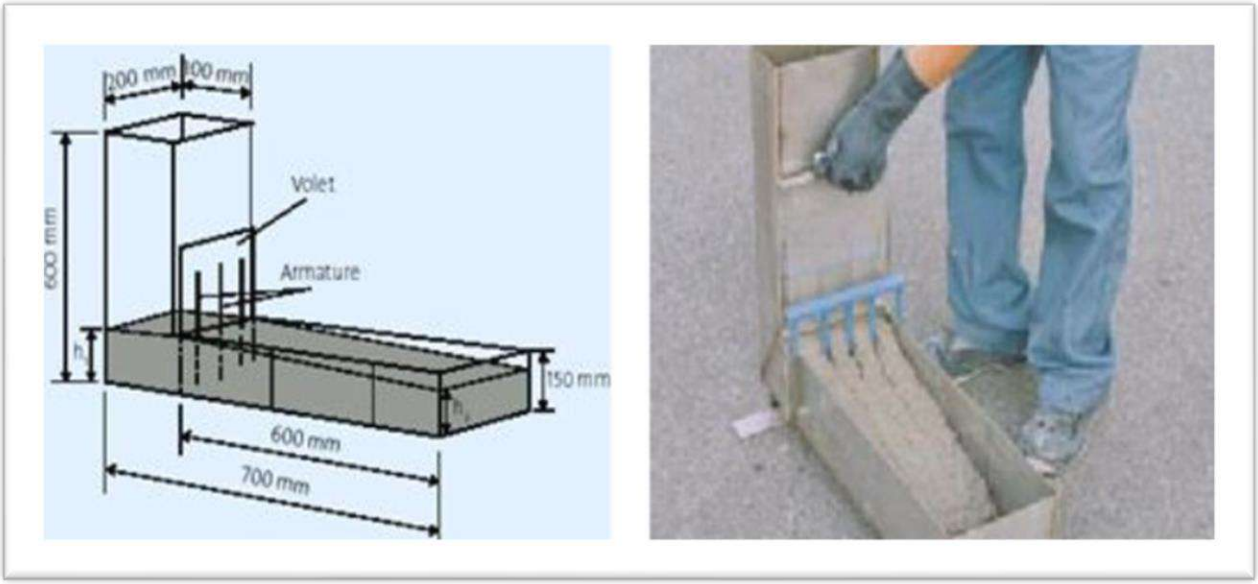


Fig. I.5: *Schéma de la boite en L.* ***[19]***

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage H2 / H1. Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferraillage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille. C'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation. 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.

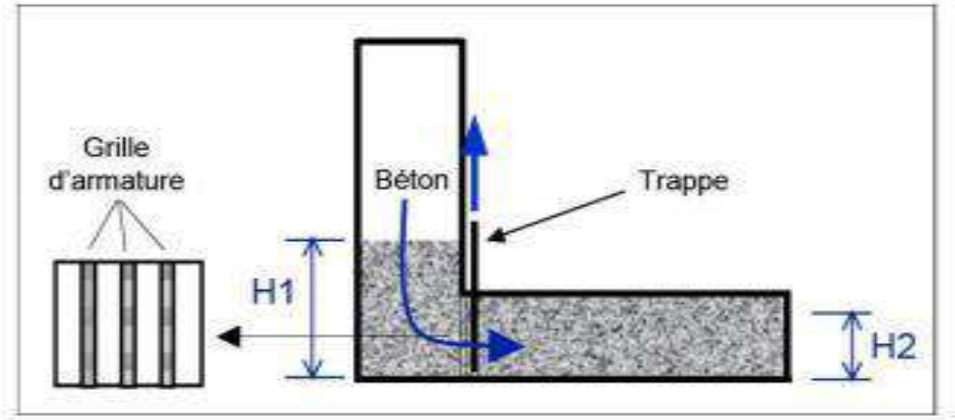


Fig. I.6: *Mesure du taux de remplissage (H2/H1 ≈ 80%).* ***[19]***

I.1.5.3- ***Essai de l'entonnoir***

L'essai d'écoulement à l'entonnoir (ou V-funnel test) est utilisé pour évaluer la fluidité et la viscosité des BAP.

Un entonnoir de dimensions définies est rempli de béton jusqu'en haut. Le clapet de fermeture situé à sa base est ensuite ouvert. On mesure le temps (Tv) que met le béton à sortir de l'entonnoir jusqu'à ce que cet entonnoir soit entièrement vide.

Ce temps d'écoulement, qui doit être compris entre 8 et 14 secondes, caractérise la viscosité du béton. Si le béton s'écoule plus rapidement, c'est que sa viscosité est trop faible. Bien que l'essai soit conçu pour mesurer la fluidité, le résultat est affecté par d'autres propriétés du BAP que celle de l'écoulement. La forme de cône inversée fera bloquer l'écoulement du béton si, par exemple il y a trop gros granulat. Par contre un temps élevé d'écoulement peut être associé à une faible déformabilité due à une viscosité élevée de la pâte et ou un frottement inter granulaire élevé.

L'EFNARC [EFNARC 2005] définit deux classes de viscosité selon le temps d'écoulement mesuré à l'entonnoir (V-funnel) : $Tv \leq 6$ secondes, pour une bonne capacité de remplissage même avec des renforts denses et $9 \leq Tv \leq 25$ pour les autres cas. **[20]**

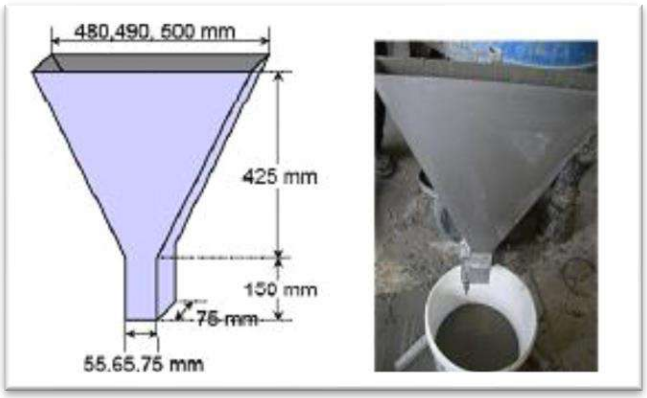


***Fig*.I.7 :** Essais des Entonnoirs. **[21]**

I.1.5.4-*Essai de stabilité au tamis*

Appelé aussi essai de caractérisation de la ségrégation des bétons autoplaçant, il vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de réception de la stabilité du béton livré sur chantier. **[20]**

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

- 0 % ≤ % Laitance ≤ 15 % : stabilité satisfaisante.
- 15% < % Laitance ≤ 30 % : stabilité critique : essai de ségrégation à réaliser in situ.
- % Laitance > 30 % : stabilité très mauvaise : ségrégation systématique, béton inutilisable. **[20]**



***Fig*.I.8 :** Essai au tamis. **[20]**

I.1.6- *Caractérisation de BAP à l'état durci*

La caractérisation du béton autoplaçant à l'état durci est basée sur les résistances mécaniques (la compression et à la traction par flexion), comme pour la plupart des bétons directement liés à la qualité du squelette granulaire et au rapport eau efficace sur ciment, elles dépendent aussi de la composition du liant. L'optimisation de ces paramètres permet d'obtenir une large gamme de résistances qui situé entre (35 à 70 MPa à 28 jour). **[16,22]**

I.1.6.1-*Résistance à la compression*

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques. L'utilisation de filler dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique au jeune âge. Les particules fines du filler, lorsqu'elles sont bien défloculées par les superplastifiants, favorisent l'hydratation du ciment, principalement par un effet physique, et conduisent à une matrice cimentaire dont la structure est plus dense.

Ces effets ont une influence sensible sur la résistance mécanique jusqu'à 28 jours puis deviennent moins significatifs par la suit.

Diverses études **[23-26]** comparent l'évolution de la résistance mécanique des BAP contenant des fillers calcaires à celle des bétons vibrés. Ces auteurs observent une accélération de la résistance au jeune âge et cela jusqu' à 28 jours. Ceci est expliqué par une hydratation favorisée par une multiplication des sites de nucléation des fines du filler.

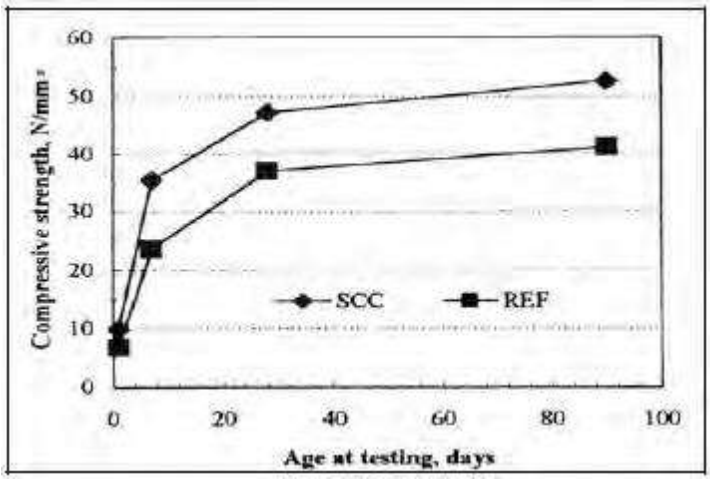


***Fig*. I.9:** Evolution de la résistance mécanique d'un BAP et d'un BV correspondant.**[23]**

Pour Peterson **[26],** cette résistance augmente d'autant plus que la finesse du filler est importante.

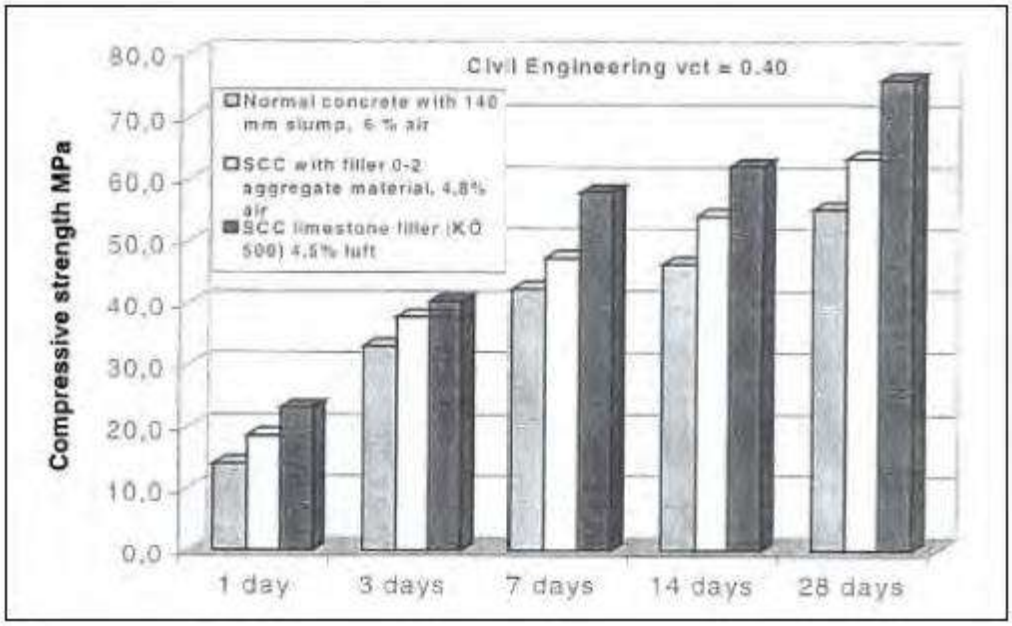


***Fig*. I.10:** Résistance mécanique d'un béton vibré et de 2 BAP.**[26]**

De plus, les superplastifiants et les agents de viscosité ont des répercussions sur la résistance mécanique des bétons autoplaçants. Selon Felekoglu et al. **[27],** l'agent de viscosité diminue la résistance aux jeunes âges. Par contre, certains superplastifiants entrainent des effets secondaires comme le retard de la prise qui aboutit à l'augmentation du développement de la résistance mécanique au jeune âge.**[27]**

Mais, à long terme, la résistance en compression des BAP est, soit inférieure à celle des BV ce qui est attribué aux quantités importantes de fluidifiant et à la présence du filler calcaire, soit égale à celle des BV.**[28]**

Un autre élément influençant la résistance à la compression est le volume de la pâte. Turcry et al. **[29]** montre que le volume de pâte a un effet réel mais limité sur la résistance en compression. Il est observé une diminution de 12% de la résistance pour une augmentation de 57% du volume de pâte. De même, Pineaud **[30]** constate que le volume de pâte a une faible influence sur la résistance en compression. Parallèlement au volume de pâte, le rapport E/L est un des facteurs les plus influents sur la résistance en compression. Pineaud **[30]** montre que l'influence du rapport E/L est comparable à celle obtenue par d'autres auteurs sur des BV. **[31, 32]**

I.1.6.2-*Résistance à la traction*

La particularité des BAP peut entrainer des variations de résistance. Par exemple, la quantité de fines ou bien le volume de sable peuvent influencer la résistance en traction **[33]**. Ils montrent que l'augmentation de la quantité de sable ou/et du volume de fines entraîne une élévation de la résistance en traction.

En effet, la résistance d'un béton à la traction est conditionnée par de nombreux paramètres. On peut noter que la microstructure de la pâte cimentaire et la porosité de l'auréole de transition sont fréquemment utilisées dans la littérature pour expliquer les variations ou les résultats de résistance à la traction obtenus.

Pour certains auteurs **[34, 33]**, la porosité de l'auréole de transition des BAP est inférieure à celle des BV. Donc, la résistance en traction des BAP est supérieure à celle des BV (de l'ordre de 10%). Ces résultats sont repris par Pineaud **[30]**. Il suggère que la qualité de l'interfaces pâte-granulats est meilleure dans les BAP et la faible proportion de granulats diminue le risque de propagation des premières fissures.

I.1.6.3-*Module d'élasticité*

Le module d'élasticité dépend à la fois des proportions et des modules des différentes phases constituant un béton. Or, un BAP est composé d'un volume de pâte important et de ratio G/S plus faible qu'un BV.

D'après différents codes (Euro code ou DTU), le module d'élasticité est fonction de la résistance en compression des bretons. Donc, à résistance égale, un BAP devrait avoir le même module qu'un béton vibré. Or, Persson et Pons et al**[34]** ont montré que le module est similaire pour les BAP et les BV. De même, Konig et al. **[33]** constatent que les modules des BAP sont très proches de ceux des BV. D'autres auteurs indiquent un module plus faible que ceux des bétons vibrés. **[32, 30]**

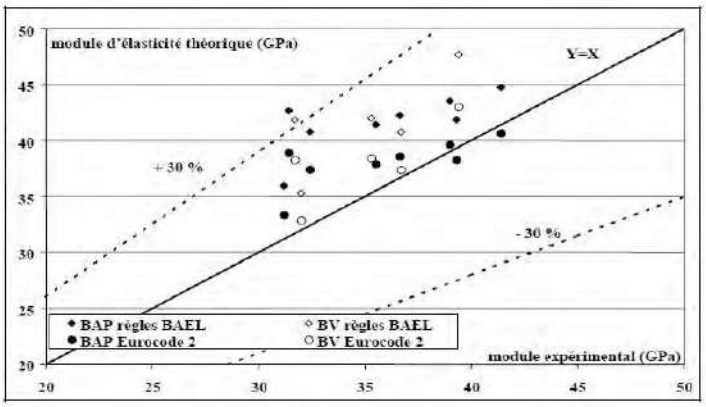


***Fig*. I.11 :** Comparaison des modules d'élasticité d'après les codes de construction de BAP et des bétons vibrés avec leurs valeurs expérimentales. **[35]**

Comme pour la résistance à la compression, d'autres paramètres influencent le module d'élasticité. Turcry et al. **[29]** montrent une diminution du module des BAP avec l'augmentation du volume de pâte. Mais, selon ces mêmes auteurs, l'influence du volume sur le module est négligeable. En effet, Pineaud**[30]** observe des valeurs de déformations à la rupture très proches pour les BAP et les BV. Parallèlement au volume de pâte, il est observé une diminution du module avec l'augmentation du rapport E/L (Résultat en accord avec la diminution de la résistance en compression et la diminution de la compacité de la matrice).**[30]**

I.1.6.4- ***Retraits***

Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré.**[15- 36]** Gram et Piiparinen **[15]**, ont observé des retraits plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires .

I.1.7- ***Durabilité d'un BAP***

La durabilité d'une structure en béton est associée étroitement à sa perméabilité. En pratique, la durabilité dépend du choix des matériaux, de la composition du béton, ainsi que du degré de supervision durant la mise en place, la compaction et la cure du béton. **[16]**

I.1.8-*Méthode de formulation*

Les différentes propriétés des bétons auto-plaçants rendent leur formulation relativement compliquée. Même si de nombreuses études ont été effectuées pour comprendre les principes qui régissent le comportement de ces bétons en milieux confinés, aucune méthodologie pratique de formulation ne semble avoir été établie, permettant à un chercheur ou à un ingénieur de fabriquer un béton auto-plaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis **[37]**.

La formulation de la composition se fait sur la base des méthodes acquises ces dernières années. Parmi ces dernières en peut citer les suivantes :

I.1.8.1-*La Méthode Japonaise*

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

1. *Dosage des gravillons* : Les chercheurs japonais ont montré que le risque de blocage est minimisé lorsque le volume du gravillon pour 1m³ de béton est limité à la moitié de sa compacité. Par définition, la compacité d'un mélange de grains est le rapport du volume de

grains et du volume total du système grains+vides. Elle dépend bien sûr du mode de compactage.

2. *Dosage du sable* : Le volume du sable est posé forfaitairement à 40 % du volume de mortier du béton. La fluidité du béton est garantie par la réduction des frictions granulaires.

3. *Dosage du liant* : La méthode ne précise pas comment doser le liant. Néanmoins la quantité de ciment peut être fixée, par exemple, en respectant la donnée des normes (soit ici une masse minimale de ciment de 350 kg/m3). Les rapports massiques eau sur ciment et filler sur ciment peuvent également être choisis sur des critères de résistance.

4. *Dosage de l'eau et du super plastifiant* : Les dosages en eau et en super plastifiant sont déterminés au moyen d'essais sur mortiers, dont le volume de sable est fixé à 40 %. On réalise des mesures d'étalement avec un cône à mortier et des mesures d'écoulement à l'entonnoir. **[38]**

I.1.8.2-*Méthode Suédoise*

Proposée par [Peterson et al, 1996]. La méthode suédoise est basée sur l'étude effectuée par [Tangtermsirikul et al, 1995]. En fait, ils ont repris l'approche d'évaluation du risque de blocage et l'ont intégrée dans le processus de formulation. Le rapport G/S final est celui qui donne le même volume de pâte pour avoir les propriétés recherchées. Les fines, l'eau et le superplastifiant sont ajustés par la suite pour obtenir une viscosité suffisante, un faible seuil de cisaillement et la résistance à la compression visée. Cette méthode propose une meilleure optimisation du squelette granulaire mais le critère de blocage n'est pas général pour tout type de granulat. **[37]**

I.1.8.3-*Méthode Française (LCPC)*

Proposée par [De Larrard et al, 1994] : Au LCPC, un modèle mathématique a été développé à partir d'un modèle de suspension solide (RENE LCPC). Ce modèle est basé sur les interactions granulaires entre les différents constituants du mélange. Il permet de prévoir la compacité d'un mélange granulaire avec une précision inférieure à 1% à partir des constituants ci-après :

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

La procédure à adopter pour déterminer les proportions des divers constituants est la suivante:

- La proportion de liant est fixée a priori (70% de ciment, 30% d'addition par exemple).

- Le dosage, à saturation, du superplastifiant est déterminé. Selon l'expérience du LCPC, ce dosage pourrait conférer au béton une viscosité élevée, la moitié de ce dosage serait plus pertinente.
- Le besoin en eau de ce mélange (en présence du superplastifiant) est déterminé
- Les calculs sont effectués avec le logiciel en tenant compte du confinement (Effets de paroi).
- La viscosité est fixée de manière arbitraire à 5.104 La teneur en eau est réduite en conséquence et la proportion liant/filler est maintenue constante.
- Les proportions granulats/ phase liante sont optimisées.

Une formulation de béton auto-plaçant est donc proposée basée sur les prévisions du modèle. La teneur en eau est ajustée pour obtenir la résistance ciblée. Le dosage en superplastifiant est ajusté également afin d'obtenir la valeur d'étalement et le seuil de cisaillement souhaités et par conséquent les propriétés requises pour le béton auto-plaçant sont atteintes.**[39]**

I.1.9-*Domaines d'utilisations privilégiées des BAP*

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, poutres, planchers, dalles, dallages, fondations, éléments de façade, mobiliers urbains, etc.).

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

- Des densités de ferraillage importantes.
- Des formes et des géométries complexes : voiles courbes, etc.
- Des voiles minces et de grande hauteur : piles de ponts, etc.
- Des voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Des exigences architecturales et de qualité des parements particulières.
- Des accès difficiles voire impossibles pour déverser le béton dans le coffrage et pour assurer la vibration. **[40]**

I.2- *Bétons fibrés*

I.2.1-*Les fibres*

I.2.1.1- *Définition des fibres*

Les fibres sont les renforts qui fournissent la résistance au matériau composite. Une fibre est Constituée de plusieurs filaments élémentaires dont les diamètres varient entre 5µm et 25µm suivant le type de fibres (métallique, verre, carbone, aramide, plastique…). Les exigences structurelles et fonctionnelles souhaitables des fibres dans les matériaux composites sont :

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

Les fibres apportent au béton de nombreux avantages, notamment sur le comportement mécanique sous sollicitation de traction. Leur utilisation nécessite néanmoins la connaissance des mécanismes d'action ainsi que les précautions de mise en œuvre. **[41]**

I.2.1.2- *Différents types de fibres*

Les fibres sont ajoutées aux matériaux cimentaires afin d'améliorer leurs caractéristiques à l'état durci. Les fibres utilisées dans la confection des bétons sont classées en deux catégories selon leurs caractéristiques chimiques, physiques et mécaniques :

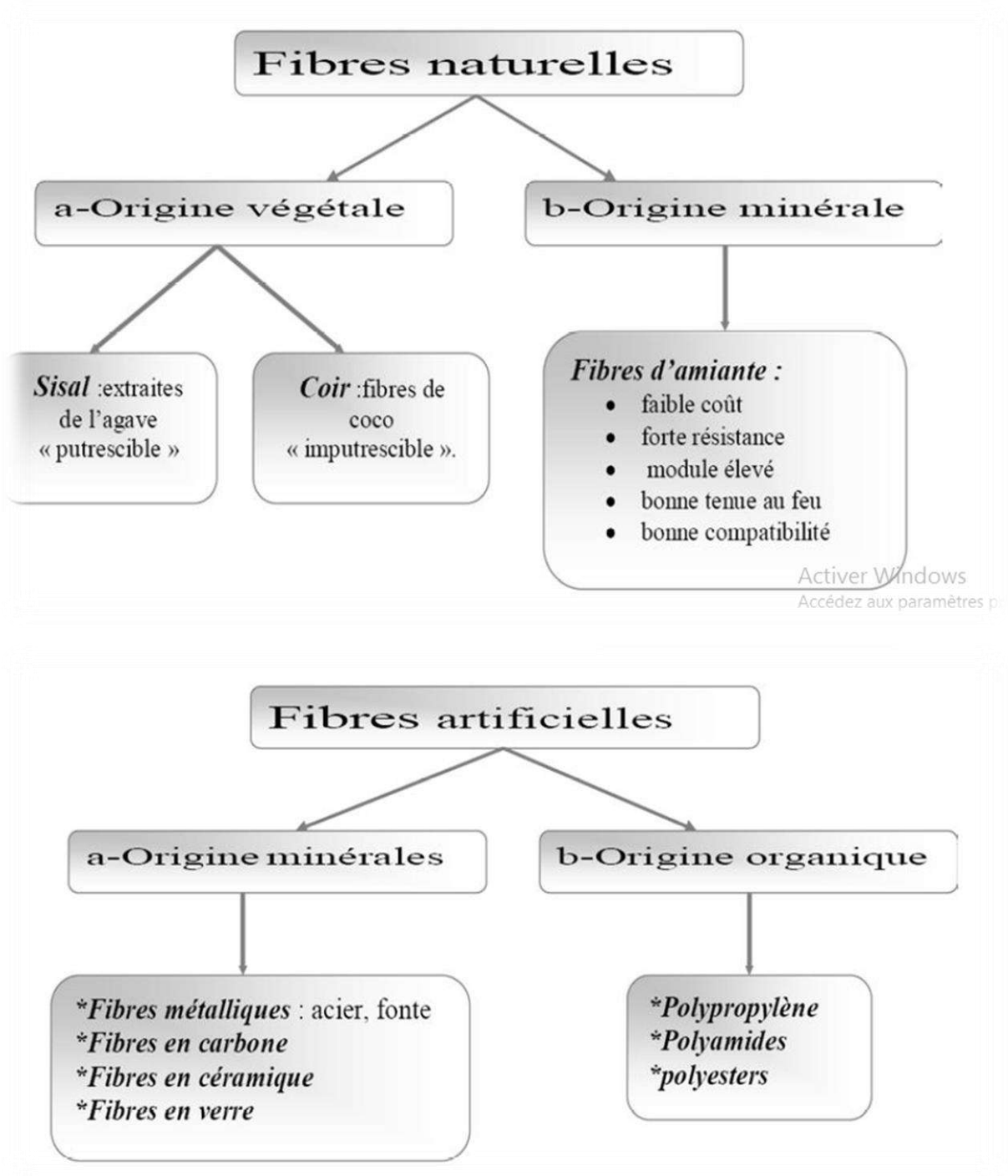


***Fig.* I.12 :** Illustration de l'apport du renfort par des fibres. **[42]**

Les fibres peuvent se classer en deux catégories : les fibres naturelles et les fibres artificielles

A- Fibres naturelles

Elles ont surtout 2 origines :

A.1- Végétale

On peut citer le Sisal (fibres extraites de l'agave) et le coir (fibres de Coco).ils ont été utilisées sur les chantiers expérimentaux dans certains pays en voie de développement. Le Sisal est très résistant mais putrescible, par contre le coir est imputrescible. **[42]**



Figure I.13: Fibres végétales.**[42]**

A.2- Minérale

Ce sont surtout les fibres d'amiante, ce matériau connu depuis de nombreuses années possède beaucoup d'avantages :

- Faible coût.
- Forte résistance.
- Module élevé.
- Bonne tenue au feu et bonne compatibilité avec ciment.

Toutefois, ces fibres ne conviennent pas pour les mortiers et les bétons à cause de leur longueur trop faible et de la quantité d'eau importante exigée. Elles ne sont donc utilisées qu'avec de la pâte pure. **[43]**

B- *Fibres artificielles*

On distingue deux types : les fibres minérales et organiques. Parmi la première catégorie, on trouve les fibres métalliques (acier, fonte) les fibres en carbone, en céramique et en verre. Parmi les fibres organiques les plus courantes ce sont les polypropylènes et plus rarement les polyamides et les polyesters, acryle, polyester.**[43]**

Tableau I.3 : Principales caractéristiques physiques et mécaniques des fibres les plus utilisées.**[42]**

fibres	**Diam (µm)**	**Longe (mm)**	**densité**	**Rt (Mpa)**	**E (10^3 MPa)**	**Allongement à la rupture en%**	**Coffe de délatation (µm)**	**RfeuTemp Max**
Acier	5-500	20-80	7.8	1000-3000	200	3-4	11	1500
verre	5-20	40-70	2.6	1500-3000	80	2-3.5	9	800
polypropylène	10-200	25-75	0.9	400-750	5-10	15-25	90	150
polyester	-	-	1.4	700-850	8	11-13	-	-
Amiante	0.02-20	5	2.5-3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbon	5-9	variable	1.7-2	2000-3000	250-400	0.5-1.5	-	400-1500
Sisal	10-50	1.5	1.5	-	130	3	-	-

Parmi les fibres les plus utilisées dans le domaine du béton, nous citons :

B.1-Les fibres minérales

B.1.1-Les fibres métalliques

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



***Fig*. I.14 :** Quelques formes de fibres d'acier. **[42]**

B.1.2- Fibres de fonte amorphe

Ces types de fibres sont obtenus par refroidissement brusque, d'un alliage métallique à base de fer, sont constituées de petits rubans de 1 à 3mm de largeur, contribuent à la limitation des fissures sous chocs.**[42]**

B.1.3- Fibres de verre

Sous leur forme habituelle, sont caractérisées par une très grande fragilité aux chocs, attribuée à une sensibilité élevée à la fissuration, sous la forme de fibres de faible diamètre, le verre perd ce caractère, acquière de bonnes caractéristiques mécaniques, et sont utilisées pour fabriquer des éléments de faibles épaisseurs, avec des matrices de pate ou mortier ou de micro béton. **[42]**

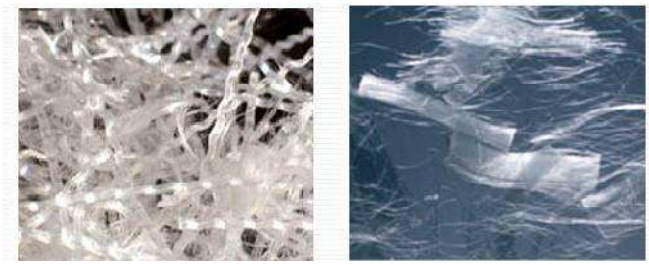


***Fig*. I.15 :** Fibres de verres. **[42]**

B.2-Les fibres organiques

B.2 .1- Les Fibres de polypropylènes (Les fibres synthétiques)

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

Les fibres polypropylène permettent en particulier de mieux contrôler le retrait plastique du béton frais mais n'améliorent pas son comportement post-fissuration (contrairement aux fibres métalliques). Elles améliorent la maniabilité et la cohésion du béton (en particulier dans le cas de béton projeté). Elles sont particulièrement souples et insensibles chimiquement mais peu résistantes au feu (température de fusion comprise entre 140 à 170 °C)**.**



***Fig*. I.16 :** Fibres de polypropylène. **[44]**

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 ou 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. **[44]**

I.2.1.3-*Rôles de fibres*

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

- ➢ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures (***Figure* I.17**).
- ➢ La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (***Figure* I.17**).

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

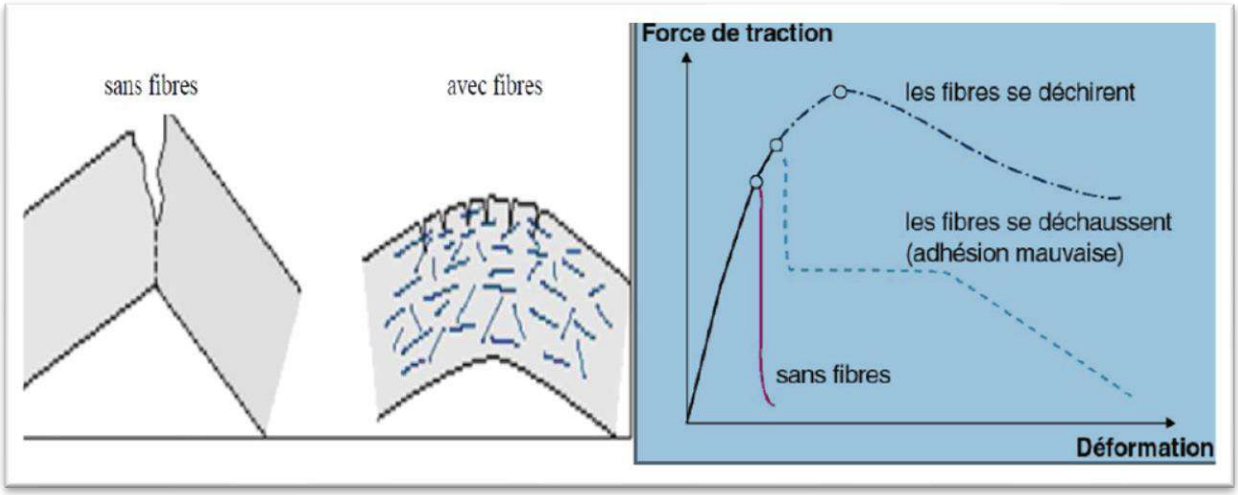


***Fig*. I.17 :** Illustration de l'apport du renfort par des fibres. **[42]**

Les fibres permettent

- L'amélioration de la cohésion du béton frais ; par exemple, les fibres rigides changent la structure du squelette granulaire.
- L'augmentation de la ductilité et le comportement post-fissuration.
- La réduction de la microfissuration due aux variations dimensionnelles notamment au jeune âge.
- La réduction de la fissuration d'origine mécanique (chargement extérieur).
- L'augmentation de la résistance à la traction par flexion.
- L'amélioration de la tenue au feu et de la résistance aux chocs, à la fatigue, à l'usure, et à l'abrasion. **[42]**

I.2.1.4-*Facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres*

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture. Les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres sont illustrés dans la (***Figure* I.18**).

On peut donc aisément comprendre qu'il est extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable.

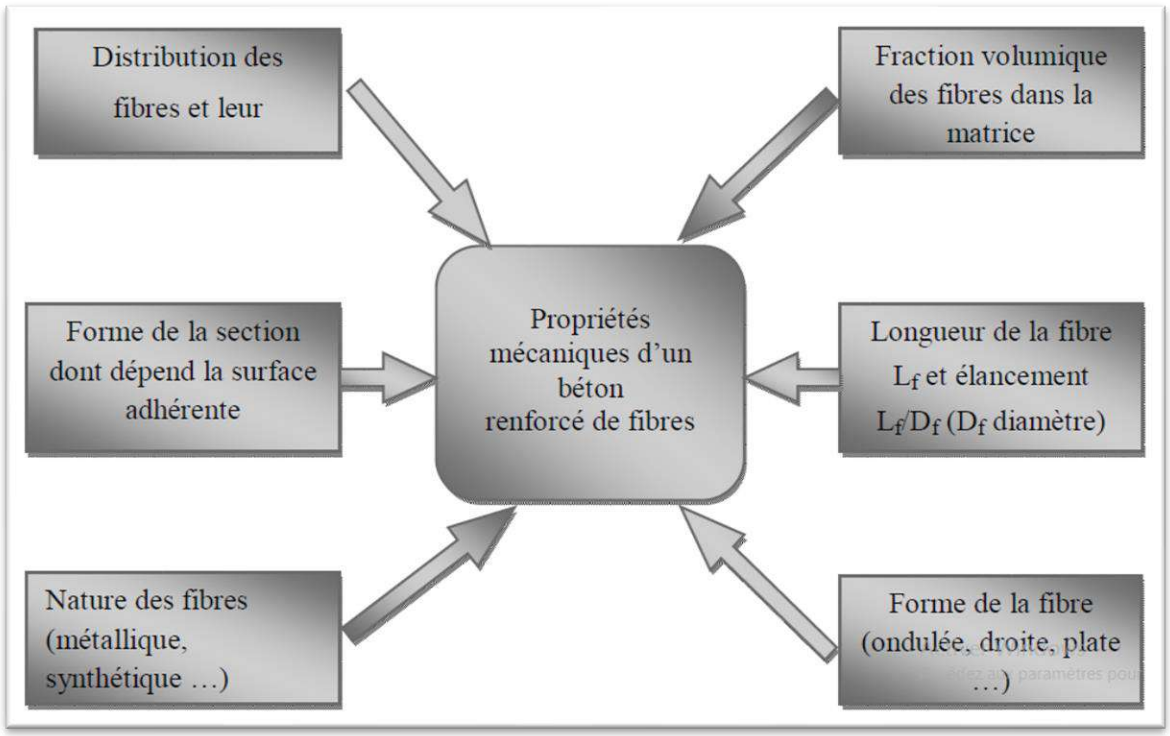


***Fig*. I.18:** Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé des fibres. **[42]**

I.2.1.5-*Utilisation des fibres dans la construction*

Les fibres de toute nature sont très employées dans différents ouvrages dans le but d'améliorer leurs performances mécaniques et physiques. A titre d'exemple le (***Tableau* I.4**) résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires. L'utilisation des fibres végétales dans le renforcement des ciments est relativement récente. En effet, beaucoup des recherches sont en cours dans le but d'arriver à substituer les fibres d'amiante par les fibres végétales. Actuellement, les fibres végétales sont de plus en plus utilisées dans les dalles et la production des tuiles et les dallages de parking ainsi que dans le renforcement du plâtre **[45]**.

Par ailleurs, l'utilisation des fibres de polymère, de carbone et d'acier est de plus en plus pratiquée dans plusieurs domaines et spécialement dans la fabrication des panneaux et dans la restauration et la réparation des ouvrages anciens endommagés.

***Tableau* I.4 :** *Application des divers renforcements de fibres* **[46], [47]**

Type de fibre	Application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en Voile mince, enduit
Acier	Elément de toitures en béton cellulaire, linteau, revêtement de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restauration bâtiments.
Polypropylène nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, élément flottant de débarquage et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous-marin, travaux de restauration bâtiments.
Amiante	Voiles, tuyau, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts plaques de toitures plates et ondulées, revêtement des murs.
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, plancher d'échafaudage.
Particules de mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration
Végétale	Dalles, tuiles.

I.2.2-*Bétons autoplaçants fibres*

I.2.2.1-*Introduction*

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

En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'absence de vibration de ces matériaux évite une distribution hétérogène des fibres dans la matrice. Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs sont 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 **[48]**.

L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. D'après **[49]**, cette influence est fonction du dosage en fibres et de leurs caractéristiques géométriques notamment l'élancement. Ces propriétés ont été mises en évidence par différents essais à l'état frais, par exemple l'essai d'étalement « Slump Flow » et l'essai d'étalement modifié dit « J-Ring » qui permet d'évaluer notamment le risque de blocage.

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

I.2.2.2-*Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais*

Grünewald **[50]** a réalisé un programme (2001, 2003, 2004, 2005) dédié aux propriétés des BAP fibrés en fonction de la teneur en fibres, du type de fibres (métallique et polypropylène avec différentes géométries) et du rapport massique sable/granulat.

Pour la composition de référence, le rapport S/G de 40% était utilisé car considéré comme optimal pour la compacité du béton. Après les différents essais d'ouvrabilité réalisés sur les différentes compositions des bétons à l'état frais, les conclusions ci-après ont été tirées :

A- Effet sur l'étalement

L'analyse de ces résultats montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente. Le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans la composition. On remarque aussi sur la (***Figure* I-19-a**) une ovalisation de la galette pour les compositions

renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface spécifique, ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions.

En outre, pour certaines compositions voir (**Figure I-19-b**) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. La (**Figure I-19-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.

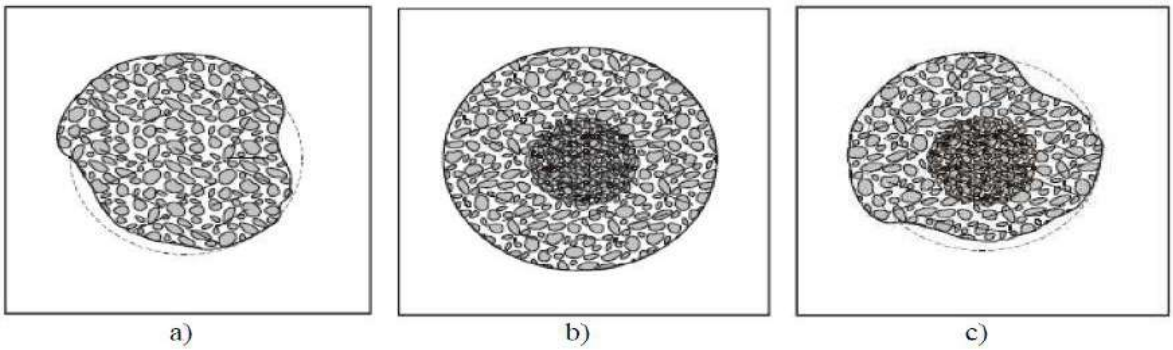


***Fig*. I.19 :** Effets des fibres sur l'étalement des BAP. **[50]**

Sachant que l'élancement (L_f/D_f) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, Grünewald et Walravens **[50]** se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme le produit entre la teneur volumique en fibres Vf et l'élancement. Aucune différence n'a été observée entre l'étalement mesuré directement après malaxage et 1 heure après malaxage. En revanche, une augmentation du facteur de fibre réduit sensiblement l'étalement.

B- Essai de V-Funnel

Les temps d'écoulement à travers l'entonnoir (V-Funnel) pour les différentes compositions directement après malaxage sont dans une gamme comprise entre 4,5s et 5,7s.
On note une augmentation linéaire du temps d'écoulement en fonction du facteur de fibres. Le comportement à l'écoulement des bétons évalué par l'intermédiaire de cet essai dépend essentiellement de la viscosité ainsi que de la taille du plus gros granulat par rapport aux dimensions de l'ouverture de l'entonnoir. Les temps de passage à travers l'entonnoir à t =1hsont nettement plus élevés qu'à t =0h.

C- Essai J-RING

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

L'espacement exigé des barres pour le non blocage augmente avec le dosage en fibre. **[51]** ont réalisé une étude sur le comportement à l'état frais des bétons autoplaçants renforcés de fibres métalliques et ont conclu que l'écoulement est obstrué par les barres, ce qui crée une différence de niveau entre le béton restant à l'intérieur de l'anneau et celui passé à travers. L'élancement de la fibre, la teneur des granulats (fins ou gros) et les caractéristiques rhéologiques de la pâte de ciment affectent également ce comportement.

D- Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique)

Grünewald et Walravens **[50]** ont constaté que lorsqu'on augmente le dosage en fibres, la porosité interne du squelette granulaire est plus importante et donc la viscosité plastique est plus élevée. C'est une conséquence du frottement dit « solide » qui favorise la résistance à l'écoulement.

Jusqu'à une concentration de fibres métalliques de 1 %, la viscosité plastique accroît avec une pente très faible. Au-delà de cette valeur, cette dernière devient nettement plus grande et l'écoulement du béton frais est quasi nul justifiant ainsi la consistance élevée du milieu. De plus, à taux de fibre donné, cette viscosité est plus importante lorsque les fibres sont longues.

E- 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. **[52]** 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 **[53]** a aussi conclu que l'écoulement oriente les fibres. Même sil'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 ense basant essentiellement sur les performances en flexion.

I.2.2.3-*Influence des fibres plastiques sur les propriétés des matériaux cimentaires*

I.2.2.3.1- *Etats frais*

a- ***L'ouvrabilité***

Plusieurs chercheurs ont étudié l'effet d'ajouts des fibres plastiques sur l'ouvrabilité du béton. Ils ont observé que l'ouvrabilité est diminuée considérablement en fonction d'augmentation du pourcentage de fibres plastiques. **[54-55]**

Soroushian et al. **[56]** ont étudié l'effet de plusieurs types de fibres plastiques sur l'affaissement du béton ordinaire. Ils ont constaté que l'addition de fibres plastiques influe négativement sur l'ouvrabilité du béton.

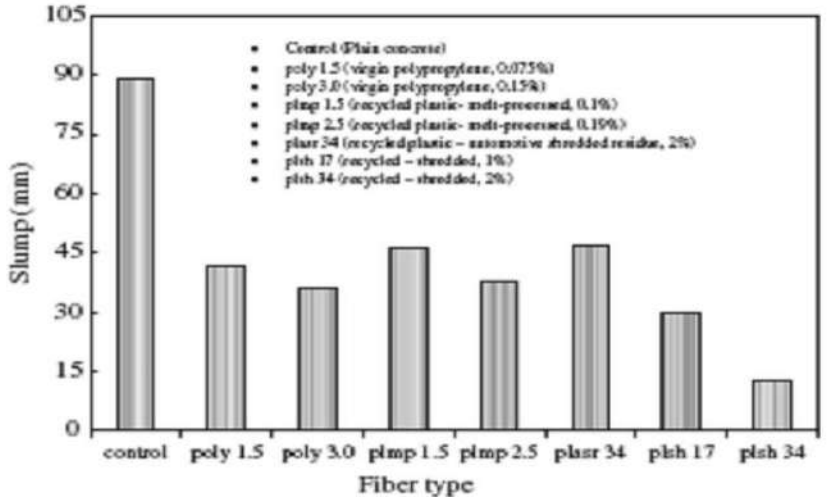


***Fig*. I.20 :** L'affaissement de bétons à base de différents types de fibres plastiques. **[56]**

Al-Hadithi et al. **[57]** ont étudiés l'influence d'ajout de fibres plastiques de type PET avec une longueur de 2cm et une fraction volumique de 0.25% à 2% avec un pas de 0.5 %) sur l'étalement du BAP. Ils ont constaté que l'étalement est diminué considérablement en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques (***Fig.*** I.21).

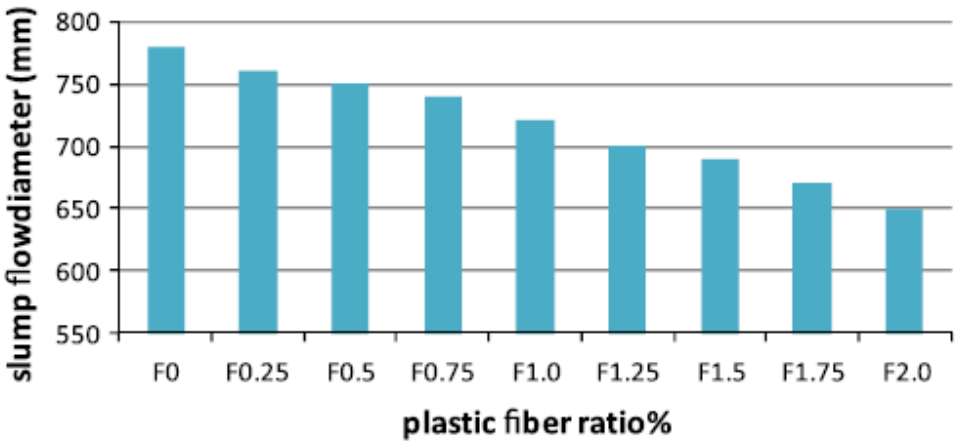


***Fig*. I.21 :** Etalement des BAP à base de fibres plastiques (PET). **[57]**

b-*La densité*

Al-Hadithi et al **[57]** ont trouvé aussi que la densité de BAP diminuée en fonction d'augmentation du pourcentage de fibres plastiques de types PET (***Fig.*** I.22).

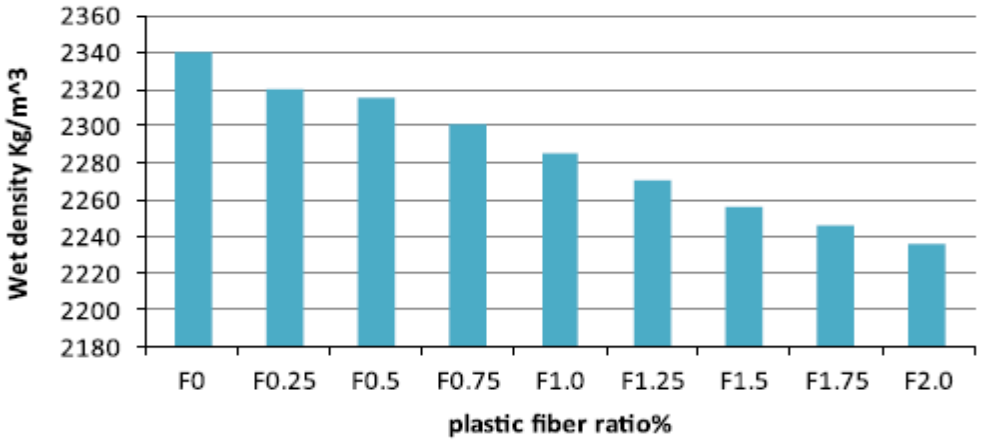


***Fig*. I.22 :** Densité des BAP à base de fibres plastiques en PET. **[57]**

I.2.2.3.2-*Etats durci*

a-*La résistance à la compression*

Al-Hadithi et al. **[57]** Ils ont trouvé une augmentation de la résistance à la compression en fonction du pourcentage de fibres plastiques (***Fig***. I.23).

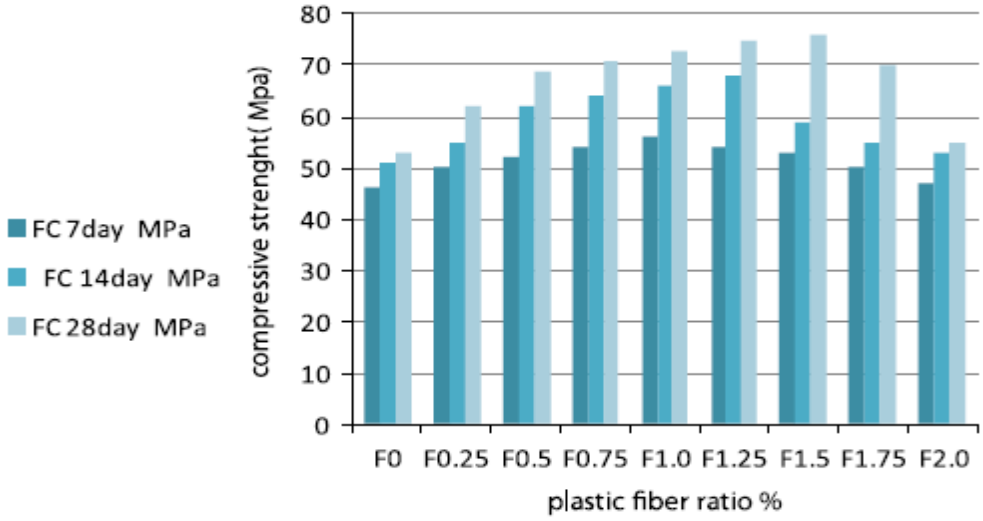


***Fig*. I.23 :** Résistance à la compression des BAP a base de fibres plastiques. **[57]**

Ghernouti et al. **[58]** ont étudié l'influence d'ajout de 1, 3, 5 et 7 kg/m3 de fibres de polypropylène et fibres issus de broyage de bouteilles plastiques avec trois longueurs (2, 4 et 6 cm) sur la résistance à la compression du BAP. Ils ont observé une légère augmentation de la résistance en fonction de l'augmentation des pourcentages de fibres pour toutes les longueurs (***Fig***. I.24).

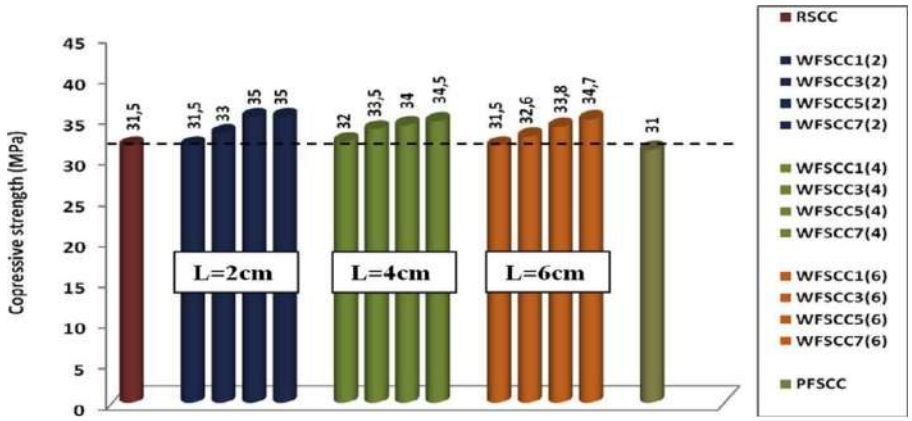


***Fig*. I.24 :** Résistance à la compression des BAP a base de fibres plastiques. **[58]**

b-*La résistance à la traction par flexion*

Al-Hadithi et al. **[57]** ont trouvé aussi une augmentation importante de la résistance à la traction par flexion des BAP en fonction de l'augmentation du pourcentage de fibres plastiques de type PET ajoutés (***Fig***. I.25).

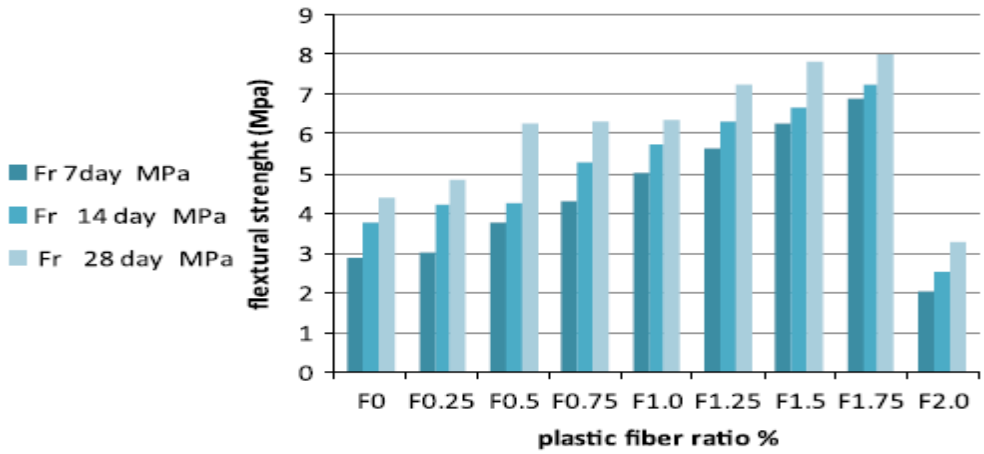


***Fig*. I.25 :** La résistance à la flexion des BAP à base de fibres plastiques **[57]**

Ghernouti et al. **[58]**. Ils n'ont trouvé aucune augmentation pour un élancement de 2cm de fibres. Pour un élancement de 4 cm et 6cm de fibres, la résistance à la traction est améliorée à 14 % et 11% respectivement pour un ajout de7 kg/m3 de ces dernières (***Fig***. I.26).

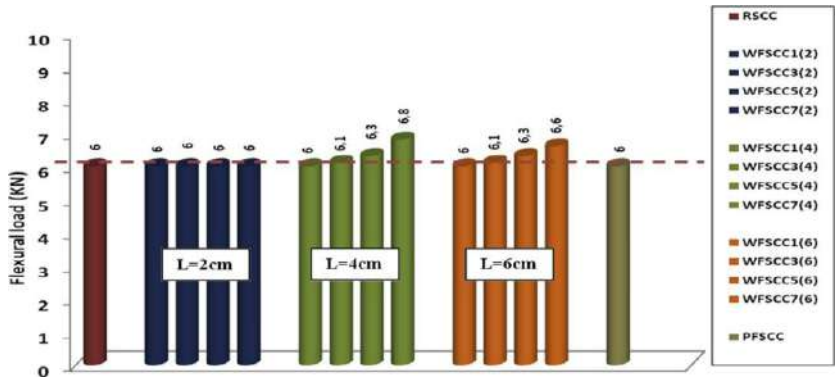


***Fig*. I.26 :** Résistance à la flexion des BAP a base de fibres plastiques. **[58]**

c- ***Le retrait***

Kim et al. **[59]** ont constaté d'après leurs études que tous les types de fibres en PET et quel que soit la forme de ces fibres, diminuent le retrait des matériaux cimentaires. LANDAU et al.**[60]** ont étudié l'influence d'ajout de fibres synthétiques (polypropylène) sur le retrait du béton ordinaire. Ils ont trouvé que les fibres de polypropylène contribuent à limiter le retrait du béton quand il passe de l'état plastique à une masse hydratée.

d-*Absorption capillaire*

Yin et al. **[61]** ont trouvé que l'absorption des bétons à base de 0.5%, 1% et 1,5% de macro fibres en PET et en Polypropylène est plus important que celle du béton sans fibres. Luiz et al.**[62]** ont étudié l'influence d'ajout de 0.5%, 1% et 1,5% de fibres plastiques PET sur l'absorption capillaire du mortier de ciment à 7, 28 et 63 jours. Ils n'ont trouvé pas des variations importantes du coefficient d'absorption entre les différents mortiers (***Fig***. I.27).

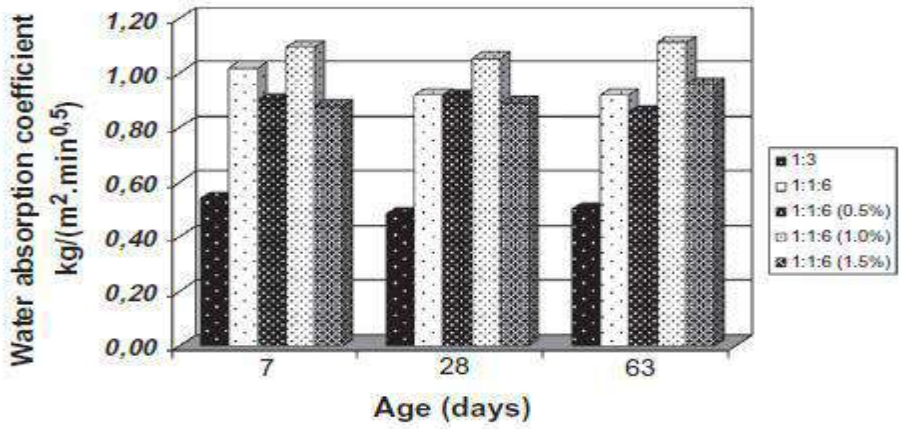


***Fig*. I.27 :** Coefficients d'absorption capillaire des mortiers à base de fibres plastiques. **[61]**

e- ***Porosité***

Luiz et al. **[62]** ont constaté que l'addition de fibres en PET au mortier, induit une légère diminution de la porosité. Beddar et al. **[63]** ont étudié l'influence de fibres de déchets métalliques sur la porosité du béton. Ils ont observé au début que la porosité est diminuée en fonction d'ajouts de fibres avec une longueur de flambement augmente en fonction d'augmentation de fibres lf =10mm. Mais avec lf = 20mm la porosité augmente avec l'augmentation de la teneur de fibres.

I.2.2.4-*Utilisation des BAP fibres dans les structures*

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

A-*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, (***Fig***. I.28). **[41]**

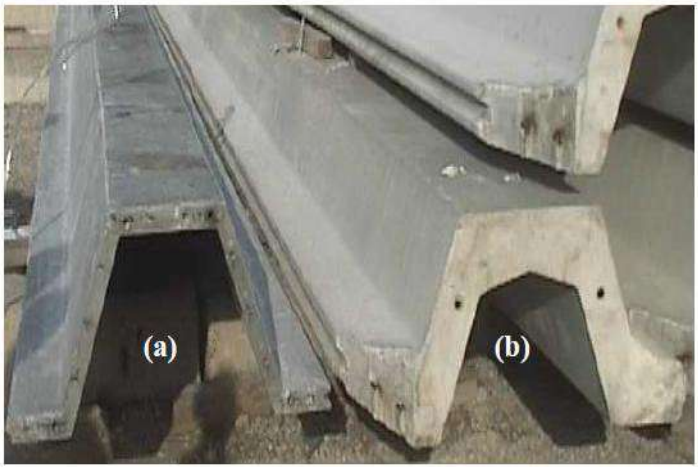


***Fig*. I.28 :** Deux types de palplanche. **[41]**

B-*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 (***Fig.*** I.29). **[41]**



***Fig*. I.29 :** Exemple d'un voussoir. **[41]**

I.3-*Bétons recyclés*

I.3.1- *Politique de recyclage en Algérie*

L'Algérie est entrain de connaître un développement économique et démographique sans précédent. Le taux élevé d'accroissement de la population a ainsi engendré une urbanisation accélérée, le plus souvent de manière anarchique qui a vu la prolifération de l'habitation précaire. Cela ne s'est pas fait sans conséquences sur l'environnement.

Face à la gravité des problèmes environnementaux, le gouvernement algérien a décidé en 2001 de consacrer une enveloppe financière importante, de près de 970 MDZ, pour atteindre les objectifs inscrits dans le Plan National d'Actions pour l'Environnement et le développement durable (PNAE-DD) **[64].** Le secteur de l'environnement connaît actuellement des mutations à travers notamment le renforcement du cadre institutionnel et juridique.

- Sur le plan législatif et réglementaire, plusieurs lois ont été promulguées :

- Loi n 01-19 du 12 décembre 2001 relative à la gestion, au contrôle et à l'élimination des déchets.
- Loi n°01-20 du 12 Décembre 2001 relative à l'aménagement du territoire dans le cadre du développement durable.
- Loi n°02-02 du 05 février 2002 relative à la protection et à la valorisation du littoral.
- Loi n°03-10 du 19 juillet 2003 relative à la protection de l'Environnement dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-03 du 23 Juin 2004 relative à la protection des zones de montagne dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-09 du 14 août 2004 relative à la promotion des énergies renouvelables dans le cadre du développement durable.
- Loi n°04-20 du 25 Décembre 2004 relative à la prévention des risques majeurs et à la gestion des catastrophes dans le cadre du développement durable
- Ratification par l'Algérie du Protocole de Kyoto
- Entrée en application de la fiscalité écologique en janvier 2005.

- Sur le plan institutionnel, création de plusieurs organismes :

- Le Centre National des Technologies de Production plus Propres (CNTPP) ;
- L'Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable ;
- L'Agence Nationale des Déchets.
- Le Conservatoire National des Formations à l'environnement
- Le Centre National de Développement des Ressources Biologiques

- Le Commissariat National du Littoral.
- Le Centre National des Technologies de Productions plus Propres.
- Le Haut Conseil de l'Environnement et du Développement Durable.

I.3.2- ***Origine de la production de déchets***

La production des déchets est inéluctable pour les raisons suivantes :

- Biologiques : tout cycle de vie produit des métabolites ;
- Chimiques : toute réaction chimique est régie par le principe de la conservation de la matière et dès que veut obtenir un produit à partir de deux autres on en produira un quatrième.
- Technologiques : tout procédé industriel conduit à la production de déchet.
- Economique : les produits en une durée de vie limitée ;
- Ecologique : les activités de la dépollution (eau, air) génèrent inévitablement d'autres déchets qui nécessiteront une gestion spécifique.
- Accidentelles : les inévitables dysfonctionnements des systèmes de production et de

Consommation sont, eux aussi, à l'origine de déchets. **[65]**

I.3.3-*Différents types de déchets*

Les utilisables en génie civil sont les déchets inertes, les déchets ménagers et sous-produit industriels. Les différents types de déchets sont :

I.3.3.1-*Les déchets inertes*

Les déchets inertes sont des déchets minéraux non pollués. Ils ne se décomposent pas, ne brûlent pas et ne produisent aucune réaction physique ou chimique. Ils ne sont pas biodégradables et ne se détériorent pas au contact d'autres matières d'une manière susceptible d'entraîner une pollution de l'environnement ou de nuire à la santé humaine. Ces déchets proviennent des activités de construction, de réhabilitation et de démolition liées au secteur du bâtiment, ainsi que des activités liées à la réalisation et à l'entretien d'ouvrages publics (routes, ponts, réseaux…). Parmi ces déchets, on trouve : le béton, le bitume, les briques, les tuiles, les céramiques, les carrelages et les matériaux à base de gypse.

I.3.3.2-*Les déchets industriels banals*

Ensemble des déchets non inertes et non dangereux générés par les entreprises, industriels, commerçants, artisans et prestataires de services ; ferrailles, métaux non ferreux, papiers cartons, verre, textiles, bois, plastiques,…

I.3.3.3-*Les déchets ménagers et assimilés*

Les déchets ménagers et assimilés sont les déchets solides produits par les ménages sur leur lieu d'habitation. Ils regroupent : les ordures ménagères, les déchets d'emballages recyclables en verre, les déchets encombrants issus des ménagers et les déchets végétaux.

I.3.3.4- *Les déchets dangereux*

Les déchets spéciaux sont des déchets qui, en raison de leur composition ou de leurs propriétés, présentent un danger pour la santé humaine ou pour l'environnement. Ce type de déchets doit donc subir un ensemble de traitements appropriés pour en réduire la toxicité et le risque de contamination. Ils nécessitent donc des filières spécifiques de collecte, transport, traitement, recyclage et élimination. **[65]**

I.3.4-*Gestion des déchets*

I.3.4.1- *Définition*

La gestion des déchets est la collecte, le transport, le traitement, la réutilisation ou l'élimination des déchets, habituellement ceux produits par l'activité humaine, afin de réduire leurs effets sur la santé humaine, l'environnement, l'esthétique. L'accent sur la nature et l'environnement et sur leur valorisation.

La gestion des déchets concerne tous les types de déchets, qu'ils soient solides, liquides ou gazeux, chacun possédant sa filière spécifique. Les manières de gérer les déchets diffèrent selon que l'on trouve dans un pays développé ou en voie de développement, dans une ville ou dans une zone rurale, que l'on ait affaire à un particulier, un industriel ou un commerçant. La gestion des déchets non toxiques pour les particuliers ou les institutions dans les agglomérations est habituellement sous la responsabilité des autorités locales, alors que la gestion des déchets des commerçants et industriels est sous leur propre responsabilité.

I.3.4.2-*Politique de la gestion des déchets*

S'il n'est pas possible de supprimer la production de déchets, sous-produits ou résidus industriels ou urbains, il convient alors de définir les meilleures conditions de valorisation.

C'est dans ce texte, que le monde s'est penché, il y a une cinquantaine d'années sur le problème de gestion des déchets. La quantité de déchets produite chaque année dans l'union européenne est estimée à 3 milliards de tonnes. Les déchets doivent être gérés dans les conditions nécessaires pour en limiter les effets négatifs sur l'air, le sol, la flore, la faune, éviter les incommodités par le bruit et les odeurs d'une façon générale, éviter de porter atteinte à l'environnement et à la santé de l'homme.

La gestion des déchets doit être effectuée prioritairement par la voie de valorisation ou, à défaut par la voie de l'élimination.

Dans ce contexte, la politique de gestion des déchets s'articule autour de trois axes fondamentaux :

- Réduire le flux des déchets à la source : Accroître la récupération et la valorisation en procédant de différentes manières ; Le recyclage, qui consiste à refaire le même que le produit initial ;
- La réutilisation, qui consiste à fabriquer un autre produit que celui qui a donné naissance au déchet : Le réemploi, qui consiste à prolonger la durée de vie d'un produit, la régénération, qui consiste à redonner au déchet les qualités et propriétés du produit initial par un ou plusieurs procédés adaptés ;
- La valorisation énergétique, par incinération : Eliminer et traiter proprement le déchet pour qu'il n'ait plus d'impact négatif sur l'environnement, cette troisième étape est l'étape ultime et n'intervient que si toutes les autres possibilités on tété envisagées.

Suivant les pays, les taux de recyclage et de valorisation atteints varient, en fonction des politiques qui sont menées auprès des citoyens et des industriels.

I.3.4.3-*Principe de gestion des déchets*

Il y a plusieurs principes de gestion des déchets dont l'usage varie selon les pays où les régions. La hiérarchie des stratégies.

I.3.4.4-*Techniques de gestion des déchets*

Traditionnellement, la gestion des déchets urbains, industriels et commerciaux consistait à les récupérer puis à les stocker. Une fois collectés, divers traitements peuvent être appliqués aux déchets. Le but de ces traitements peut être de réduire la dangerosité des déchets, de revaloriser les matériaux par le recyclage, de produire de l'énergie à partir des déchets, ou encore réduire leur volume, pour pouvoir en disposer plus facilement.

Les méthodes de récupération varient beaucoup entre les différents pays et régions et il serait impossible de les décrire tous. Beaucoup de régions, surtout dans les pays les moins développés, n'ont pas de systèmes structurés de récupération des déchets.

Dans les agglomérations canadiennes le tri sélectif est la méthode la plus répandue de récupération des déchets recyclables et des déchets organiques suivant un planning défini. Les méthodes de stockage varient aussi beaucoup. **[67]**

I.3.5-*Recyclage des déchets en Algérie*

I.3.5.1-*Introduction*

Les conclusions et recommandations de l'étude de BET allemand Kittelberger remise fin1996, qui a porté sur une aire de 53 communes, pratiquement celles constituants l'actuelle wilaya d'Alger (à l'exclusion des communes de Ouled Chebel, tessala el Merdja et Sidi Moussa), ont abouti à la proposition de quatre stratégies.

La quantification des déchets a donné les résultats suivants :

- Déchets de voirie : 40.000 t/an ;
- Déchets de marchés : 80.000 t/an ;
- Déchets de ménagers : 657.000 t/an ;
- Déchets de commerces : 80.000 t/an ;
- Déchets des administrations : 90.000 t/an . **[68]**

Les estimations des quantités de déchets au niveau de la wilaya d'Alger ont été présentées comme suit :

***Tableau* I.5 :** *Estimation de la quantité totale des déchets urbains*. **[69]**

Année	**1994**	**1995**	**2000**	**2005**
Quantité (t/j)	1.959,8	2.025,7	2.287,6	2.531,2

Au niveau national, la production des déchets spéciaux se présente comme suit :

- Production de déchets spéciaux : 325.100 t/an ;
- Déchets industriels spéciaux stockés (en 2001) : 2.000.000 tonnes.

I.3.5.2-*Les déchets de construction*

Selon les estimations effectuées par une étude du CNERIB, la zone du projet PAC produirait entre 3000 à 500.000 t/an de déchets inertes (dont près de 12% d'acier et 40% de béton), déversés dans des dépotoirs sauvages et des zones de gravats couvrant des dizaines d'hectares de terres agricoles. Le séisme de mai 2003 aurait engendré plus 2.5 millions de tonnes de déchets inertes. Mis à part le remblayage, la valorisation de déchets de construction est quasi inexistante (concassage de pierres, béton et bitume, recyclage des métaux, bois…etc.).

I.3.5.3- *La problématique des déchets*

A- Résultats des travaux du Centre de Recherche Intégrée du Bâtiment CNERIB

En complément à une enquête nationale menée à travers le questionnaire, une enquête de proximité a été menée, toujours dans le cadre de cette étude, au niveau des communes de Chéraga, Douéra, Beni Messous et Souidania de la wilaya d'Alger. Il a été constaté qu'au niveau de ces communes, les déchets de construction et de démolition ne semblent pas être la

préoccupation majeure des autorités locales, tout en reconnaissant l'enjeu que représentant ces déchets et la nécessité urgente d'agir pour leur prise en charge sur tous les plans : réglementation, gestion et valorisation.

B- Localisation des déchets

Dans le but d'établir une carte de localisation des déchets de construction dans une partie de l'ouest Algérois, il a été constaté que les déchets sont rejetés aux abords de routes et le plus souvent à la sortie des agglomérations. Alors que les déchets émanant du secteur public sont généralement déversés dans les zones de gravats autorisées, les particuliers et les entreprises privées rejettent leurs déchets de démolitions ou de réhabilitation de manière anarchique.

C- Décharges des déchets de construction dans la wilaya d'Alger

Il existe, dans la région d'Alger, deux décharges pour déchets de construction qui sont en exploitation depuis 2 ans. L'une est située à l'ouest, la décharge pour gravats de Staoueli, et l'autre à l'Est d'Alger, au Hamiz.

Ces sites transformés en décharges de gravats sont d'anciennes carrières désaffectées. Vu leur remplacement géographique, ces décharges sont censées recevoir tous les déchets déconstruction de la wilaya **[69]**.

Leur exploitation a été confiée à l'établissement public ASROUT (assainissement et routes), Établissement public sous la tutelle de wilaya d'Alger :

- La quantité de déchets mise dans ces décharges, depuis leur mise en service, représente environ, pour chaque décharge, 10% de leur capacité totale ;
- De nombreux opérateurs préfèrent économiser le cout du transport en se débarrassant de leurs déchets le plus près possible de leur production, au risque de payer une hypothétique amende, sans souci de l'environnement ;
- Les déchets réceptionnés ne sont pas triés à la source et ne le seront pas au niveau des décharges, qui servent de lieu stockage de déchets de construction ;
- Des projets d'installation de traitement par concassage de ces déchets sont à l'étude ; L'entreprise exploitante des deux décharges est actuellement à la recherche de solutions techno-économiques lui permettent de valoriser ces déchets et d'augmenter ainsi la durée d'exploitation des décharges par préservation de l'espace.

***Tableau*I.6 :** *Les pourcentages des déchets de construction* **[69]**.

Type des déchets	Poids en %
Béton armé ou non	2.70
Débris maçonnerie : parpaing-brique	20.00
Terre d'extraction+gravats	7.50
Pierre naturelle	29.50
Bois	17.30
Métal	8.00
Bitume, asphalte	7.30
Plâtre	0.5
Céramique, tuiles	3.00
Plastiques	3.60
Papier	0.60

I.3.6- *Granulats Recyclés*

I.3.6.1-*Exploitation des granulats recyclés*

Les matériaux recyclés sont utilisés de plus en plus dans la conception des routes et d'autres ouvrages et ce pour des raisons environnementales et économiques.

A-*Environnementales* : parce que les granulats conventionnels s'épuisent, que les piles de réserves de matériaux recyclés ne cessent d'augmenter dans les municipalités et que les dépotoirs de matériaux secs se font de plus en plus rares.

B-*Économiques* : parce qu'en utilisant des matériaux recyclés, les villes pourraient économiser sur les frais de transport des matériaux pour les nouvelles constructions. En les employant directement sur le terrain où en s'approvisionnant auprès des usines de concassage, les entrepreneurs feraient aussi des économies et les piles de réserve diminueraient. Pour ces deux raisons, il est important de trouver des utilisations pour ces matériaux.

Prenant l'exemple d'un pays grand consommateur de granulats comme La France. Selon l'UNPG (Union Nationale des Producteurs de Granulats) l'utilisation totale de granulats aatteint 413 millions de tonnes en 2000 (soit 7 tonnes par habitant et par an) dont 328 Mt pour les génies civils et 85 Mt pour le bâtiment. Ces matériaux naturels sont utilisés essentiellement pour les travaux routiers (283 M/t) ou les bétons hydrauliques (130 M/t).

D'une valeur moyenne de 7euros la tonne (prix qui double au-delà de 3okm), les113carrières franciliennes n'ont produit que 6o% de granulats consommés en2000.Le

recyclage des matériaux inertes du BTP est aujourd'hui considéré comme solution d'avenir afin de répondre au déficit entre production et consommation et de mieux protéger l'environnement. **[70]**

I.3.6.2-*Sources des granulats recyclés*

Ils excisent deux types de déchets sont concernés par le recyclage : ceux de la construction, dès la réhabilitation et de la démolition des bâtiments et ceux de la route.

I.3.6.2.1-*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. **[71]** 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 **[60]** 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.

Finalement, si on compare les granulats naturels (GN) et les granulats recyclés (GR), on peut conclure que les granulats de béton recyclé sont : moins denses ; moins propres ; plus exigeants en eau (plus absorbants) ; Plus poreux ; et Hétérogènes. **[60]**

I.3.6.2.2 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 **[71]**, 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.3.6.3-*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. **[72]** Parmi ces on distingue :

A- Débris de béton

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

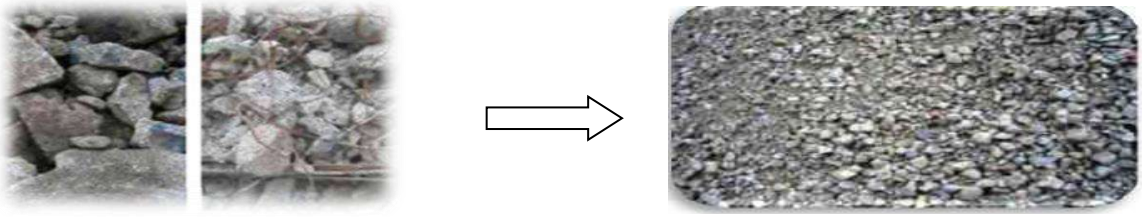


Fig. I.30 : Représentation de déchet de béton avant et après concassage.**[70]**

B- Débris de maçonnerie

Proviennent de la construction, de la rénovation et de la démolition des bâtiments :

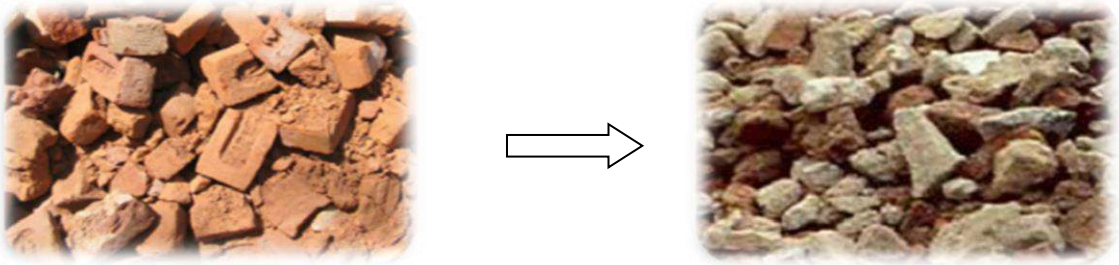


***Fig*. I.31 :** Représentation de déchet de maçonnerie avant et après concassage.**[70]**

C- Débris mixtes de béton et de maçonnerie

Proviennent de la construction/rénovation démolition de bâtiments (briques/blocs/tuiles)

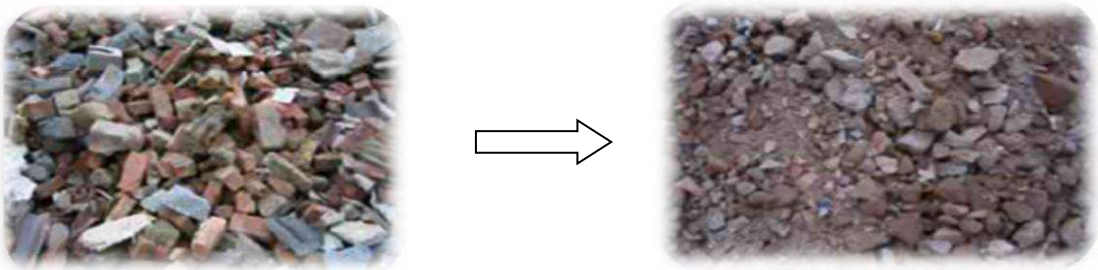


***Fig*. I.32 :** Représentation de déchet de béton et de maçonnerie avant et après concassage.**[70]**

D- Débris d'enrobés hydrocarbonés (bitumineux ou contenant des goudrons)

Proviennent de la démolition d'infrastructures de génie civil (routes…), de la démolition de parkings.

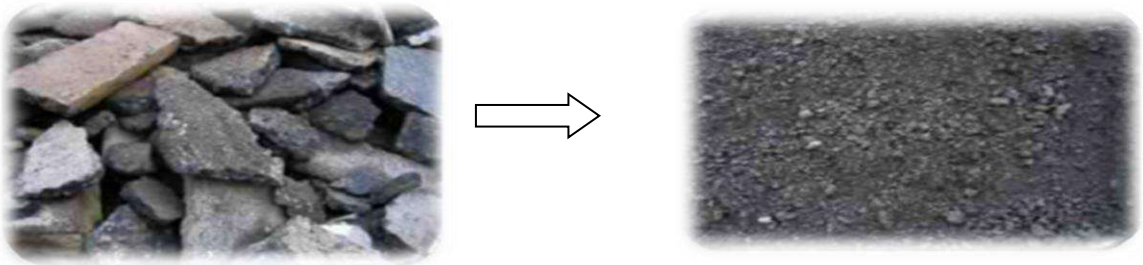


***Fig*. I.33 :** Représentation de déchet d'enrobés hydrocarbonés avant et après concassage. **[70]**

Les déchets de construction et de démolition se composent pour près de 95% de ces débris. La majeure partie peut être d'autant mieux valorisée qu'elle contient peu d'impuretés et

ne doit donc pas être mise en décharge. Les ‘débris’ deviennent ‘granulats recyclés’ après tri et concassage. **[70]**

I.3.6.4-*Utilisation des granulats issus de recyclage*

La *figure* I.35 ci-après présente, les différentes sources de granulats et leur utilisation sur le marché **[72]**.

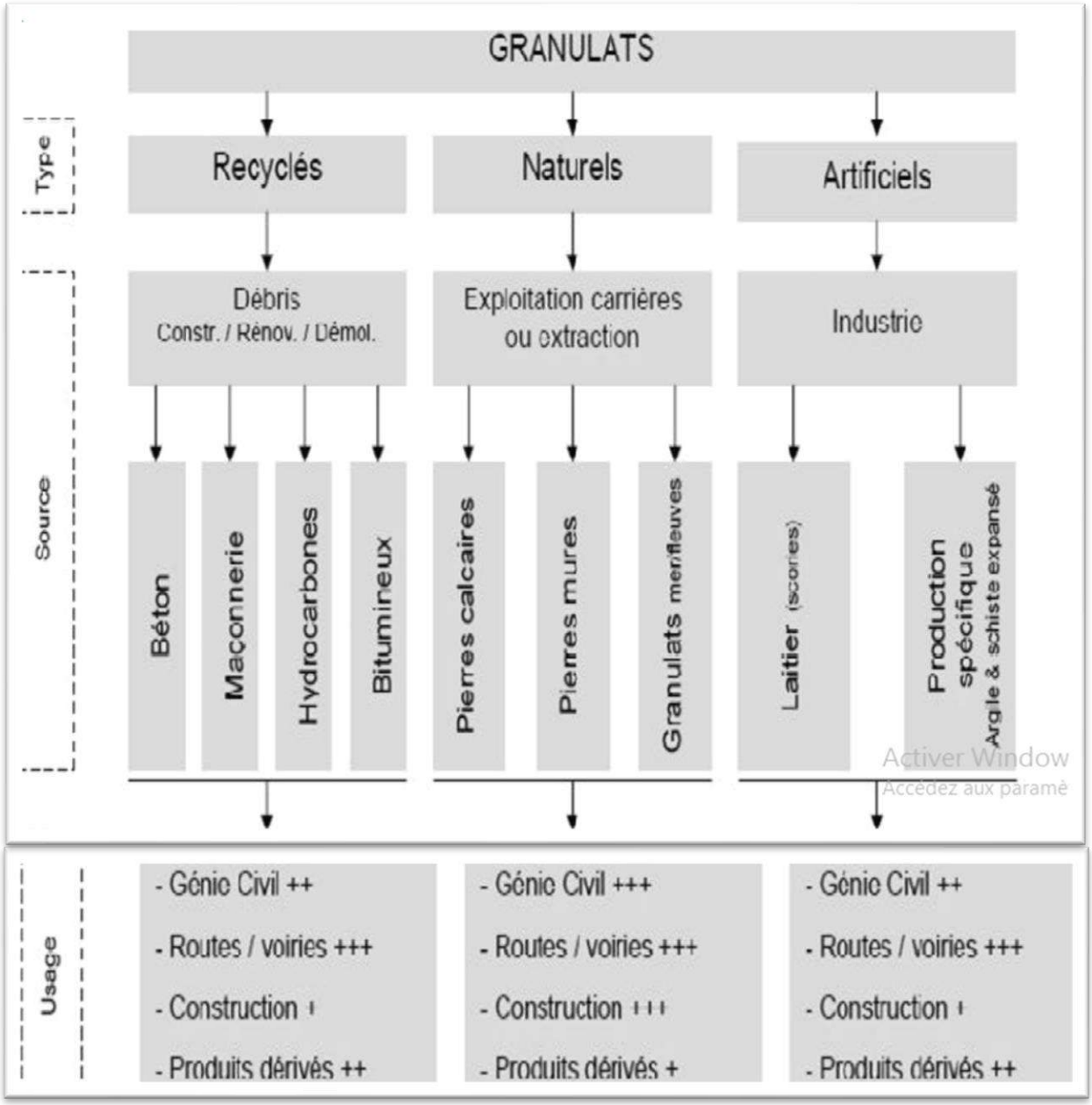


***Fig*. I.34 :** Synthèse des origines et définition des usages.**[72]**

I.3.6.5-*Les caractéristiques des granulats recyclés*

A- Densité et porosité

La masse volumique des granulats naturels varie généralement de 2100 à 2500kg/m^3 pour les gros granulats et de 1970 à 2200 kg/m3 pour les granulats fins. La densité des agrégats recyclés à base de béton démoli, est inférieure de l'ordre de 5 à 10% à celle des agrégats naturels. Cette baisse est due relativement à la densité faible de pâte de ciment d'ancien mortier attachée aux particules d'agrégats recyclés.

Hansen et Narud, reportaient que la densité des gros granulats recyclés dans les conditions SSS25, est de l'ordre de 2340 kg/m^3 pour les granulats 4/8 mm et de 2490kg/m3 pour les granulats 16/32 mm, indépendamment de la qualité du béton original dont les densités de gros et fins granulats étaient respectivement de 2500 kg/m^3 et 2610kg/m^3. Par contre, dans les mêmes conditions (SSS), pour une densité des gros et fins granulats naturels respectivement de 2700 kg/m3 et de 2500 kg/m^3, des valeurs de 2430kg/m^3 pour les gros granulats recyclés (5/25mm) et de 2310 kg/m^3 pour les granulats fins recyclés (<5mm) ont été reportées par Hasaba et al.

D'autres études menées sur le sujet, ont révélé des valeurs de masse volumique comprises entre 1800 et 2300 kg/m^3 pour les granulats fins recyclés et entre 2200 et2500 kg/m^3 pour les gros granulats recyclés. La majorité des granulats recyclés ont une masse volumique allant de 2000 à 3000 kg/m^3, correspondant aux granulats courant pour béton hydraulique.

La masse volumique des granulats recyclés est peu influencée par la masse volumique du béton primaire, à condition que ce dernier soit réalisé avec un rapport E/C inférieur à 0,7. La porosité des granulats recyclés varie en fonction de la granulométrie et elle est maximale pour la fraction fine. La proportion importante de la pâte de ciment d'ancien mortier attachée aux granulats recyclés, conduit à des teneurs eau plus importantes et par conséquent à une porosité élevée.

Selon Simmons, la porosité des granulats recyclés dépend du système de production utilisé ainsi que de la qualité des matériaux de démolition, ce qui explique la forte porosité mesurée par certains chercheurs : 13 à 20% (granulats lavés) ou 22,5% (granulats non lavés). Gómez-Sberón concluait que la corrélation entre les propriétés du béton recyclé et la porosité totale est difficile de déterminer. Cependant, il est faisable de l'exploiter si la distribution des pores radiaux est incluse.**[73]**

I.3.6.6- *Utilisation des granulats recyclés dans le béton*

I.3.6.6.1-*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 physique set mécaniques décroissent à mesure que le taux de remplacement des granulats naturels par des granulats de recyclage augmente.

Une étude en 2002 (Gomez-Soberon) **[74]** 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 **[75]** 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. **[71]**, 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 va 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. **[71]**, 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 **[75]**, 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 **[76]**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 montré qu'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.

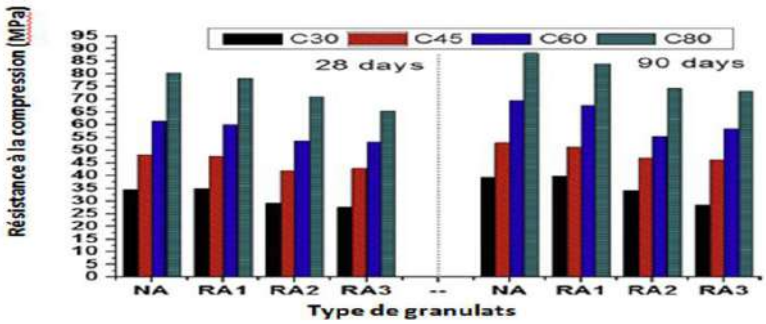


***Fig*. I.35 :** Effet de type de granulats recyclés sur la résistance à la compression d'un béton. **[76]**

Kenai S. et Debieb F.**[77]**, 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 à 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. et son équipe de recherche 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 granules 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.
L'addition de réducteurs d'eau et une teneur en ciment plus élevée augmentent la résistance du béton.

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**.**

Ouzadid.S et al. [**78]** Ont étudiée l'effet des déchets de brique cuite dans le mortier autoplacant. Sont utilisées dans le mortier de poudre (PB) par substitution respective avec le sable naturel (25, 50 et 75%) et le ciment (5, 10, 15 et 20%).

Ouzadid.S et al **[78]**a observé aussi que le temps d'écoulement augmente avec l'augmentation du dosage d'ajout de PBR.

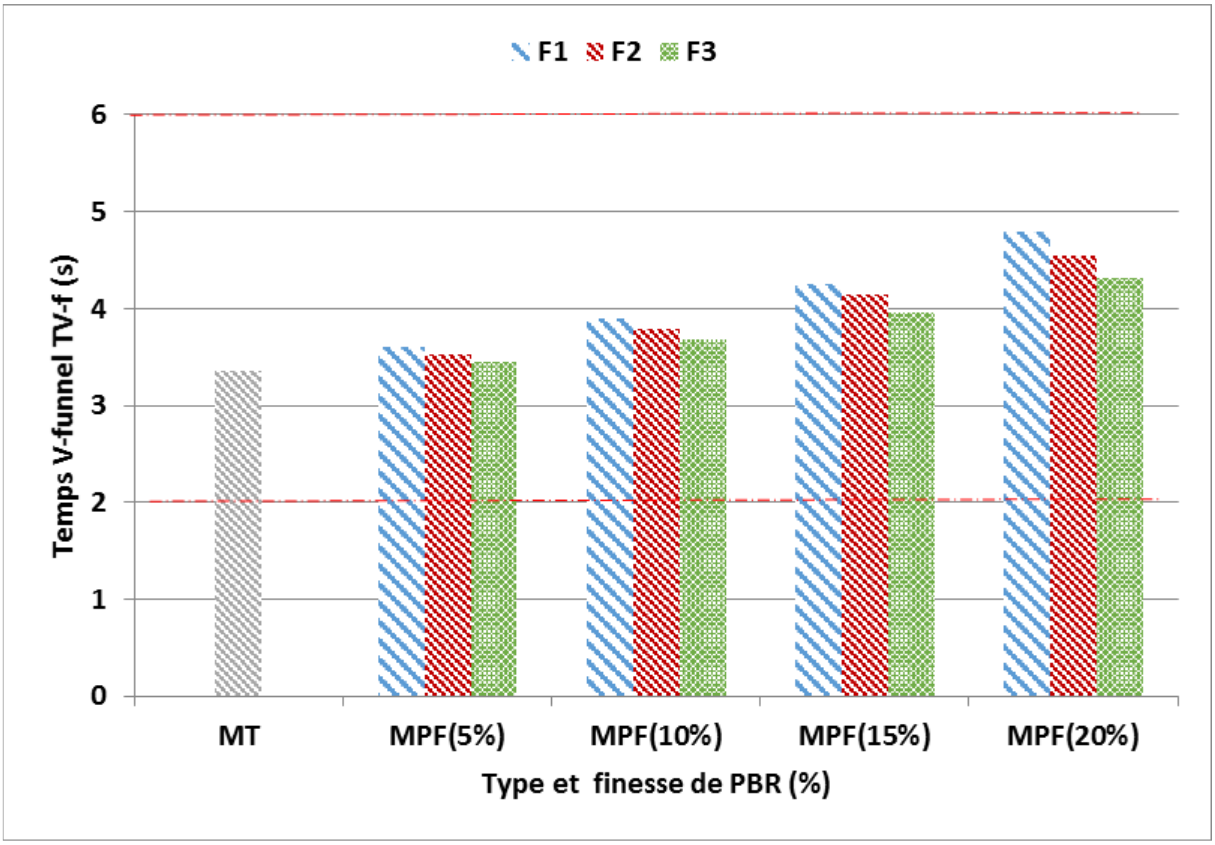


***Fig.* I.36 :** Le Temps d'écoulement en fonction de MPfX. **[78]**

SAADANI. S. **[89]** Ont étudiée et valoriser les déchets de marbre sur les performances mécaniques d'un béton ordinaire. Les résultats expérimentaux de cette étude, en termes de résistances mécaniques (compression et traction), ont montré l'ouvrabilité.

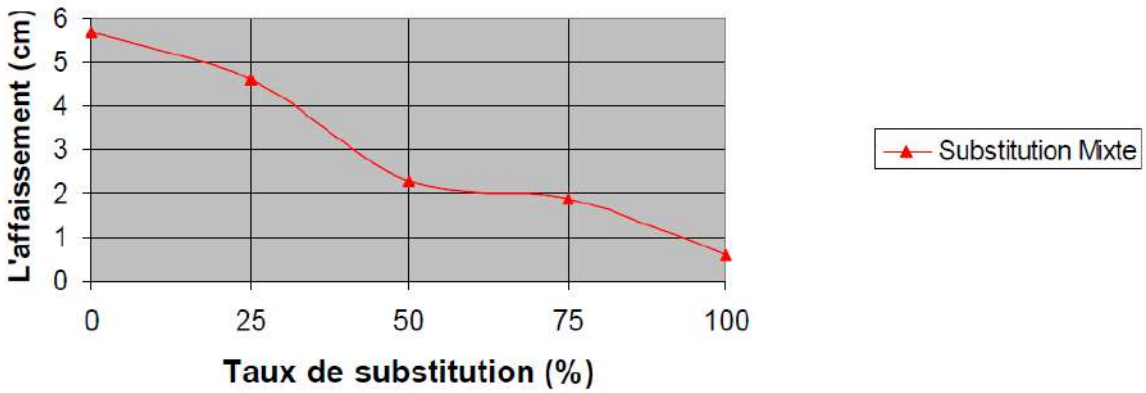


***Fig.* I.37 :** Variation de l'ouvrabilité en fonction du taux de substitution mixte. **[79]**

L'ouvrabilité décroît avec le taux de substitution de façon variable de 5,7cm à BGN jusqu'à atteindre 0,6cm à BGR.

***Tableau*I.7 :** *Résistances à la compression des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa*. **[79]**

Résistance / Béton	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa)28jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	14.4	24.3	28.0	28.1
BR25	12.6	33.8	35.1	35.6
BR50	18.0	28.1	32.7	32.8
BR75	11.8	23.3	32.6	32.6
BGR	13.4	21.1	28.2	30.8

A long terme, les résistances des mélanges à base de granulats recyclés sont supérieures au mélange à base de granulats naturels, ce qui confirme que la granularité des granulats recyclés offre une meilleure cohésion avec la matrice à base de granulats naturels.

Tableau I.8: Résistances à la traction par flexion des bétons (BSM25, BSM50, BSM75, BGR) en MPa.**[79]**

Résistance / Béton	Résistance (MPa) 2 jours	Résistance (MPa) 14 jours	Résistance (MPa)28jours	Résistance (MPa) 90 jours
BGN	1.31	2.67	3.11	3.45
BSM25	1.07	3.45	3.54	3.82
BSM50	1.49	2.93	3.76	3.95
BSM75	1.03	2.45	3.62	3.69
BGR	1.15	2.15	3.24	3.56

La substitution mixte n'obéit pas à la loi des mélanges, les deux substitutions partielles ne sont pas cumulatives. On remarque que l'interaction des différents effets s'accentue en fonction de l'âge de chargement et de la sollicitation.

La résistance en traction augmente de façon proportionnelle avec le temps, en ce qui concerne le béton BSM25 l'augmentation est accentuée entre 2 jours et 14 jours (69%).

La résistance croit légèrement entre 14 jours et 28 jours avec une variation remarquable pour les mélanges BSM75 et BGR.

I.3.-*Conclusion*

A travers les différents documents et exemples disponibles dans la littérature, nous nous sommes rendu compte que L'incorporation des fibres plastiques et les granulats recyclés aux matériaux cimentaires peut constituer une solution pour concevoir un composite cimentaire offrant de meilleures performances que ce soit au domaine technique (résistance et durabilité) ou bien au domaine écologique et économique (production des bétons économique avec faible impact environnemental).

Chapitre II

Matériaux et Essais



II.1-Introduction

Dans ce chapitre on va présenter d'une part les matériaux de construction utilisés pour la confection des BAP avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, d'autre part la détermination de la formulation doit être définie avec le plus grand soin possible à travers la détermination des différents paramètres agissant sur la formulation d'un BAP à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette.
- Les dosages en sable, gravée, ciment, eau et le superplastifiant.
- Le rapport Eau/Ciment (E/C) et Gravée /sable (G/S).

Pour répondre aux différentes questions de cette étude, trois familles de béton ont été réalisés. La nomenclature choisis est représentée dans le tableau suivant (Tableau II.1) :

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

Notation	Désignation
BAPT	BAP Témoin sans fibres.
BAPF	BAP à base de fibre plastique avec pourcentages (0.3et 0.5%).
BAPFR	BAP fibré à base des granulats recyclés avec quatre pourcentages (25%,50%,75% et 100%).

Cette étude permet la comparaison des résultats obtenus après la réalisation d'essais sur béton frais et sur béton durci. Les différents essais faits au cours de ce travail sont :

- ***Essais sur béton frais***

✓ Essai d'étalement (*Slump Flow*).
✓ Essai d'entonnoir (*V-Funnel*).
✓ Essai de la boite en L (*L-Box*).
✓ Essai de stabilité au tamis.

- ***Essais sur béton durci***

✓ Essai de compression sur éprouvettes cubiques 15x15x15 cm.
✓ Essai de traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm
✓ Absorption d'eau par capillarité
✓ Retrait 7x7x28 cm
✓ Gonflement 7x7x28 cm

II.2-*Caractérisation des matériaux utilisés*

Pour la confection du béton, des matériaux locaux de la wilaya de Médéa sont caractérisés expérimentalement au laboratoire de génie civil tout en assurant les recommandations des normes en vigueur.

II.2.1-*Ciment*

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Matine) (Figure II.1), est un ciment Portland artificiel 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 [NA442] **[80].**

Le tableau II.2 résume l'analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clinker, selon la fiche technique<Annexe A> du ciment**.**

***Tableau* II.2** : L'analyse chimique du ciment et composition du clinker**.**

Analyse chimique Du ciment	Perte au feu (%) (NA 5042) 7.00-9.50	7.00-9.50
	Résidus insolubles (%) (NA 5042)	1.50-3.00
	Teneur en sulfates SO3 (%) (NA 5042)	2.00-2.50
	Teneur en oxyde de magnésium MgO (%)	1.90-2.30
	Teneur en chlorures (%) (NA 5042)	0.01-0.03
Composition hypothétique du clinker	Silicates tricalciques C_3S (%)	58.00-64.00
	Aluminates tricalciques C_3A (%)	6.00-8.00



***Fig.* II.1 :** Le ciment utilisé (Annexe A)

II.2.2-*Granulats*

II.2.2.1-*Sable*

Pour cette étude nous avons utilisé un sable (Oued Souf) de module de finesse environ 2,36 dont leurs caractéristiques sont représentées dans le tableau II.3 La figure II.3 représente aussi la courbe granulométrique des granulats utilisés.



***Fig*. II.2:** Sable moyenne d'Oued Souf

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

Caractéristiques	**Sable**	**Normes**
Provenance	Oued Souf	
Classe granulaire	0/3	NF EN 933-1 **[81]**
Module de finesse	2.36	
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.65	NF EN 1097-6**[82]**
Masse volumique apparent (g/cm3)	1.58	NF EN459-2**[83]**
Equivalent de sable (%)	94	NF EN 933-8**[84]**
Taux d'absorption d'eau (%)	0.5	NF EN 1097-6**[82]**

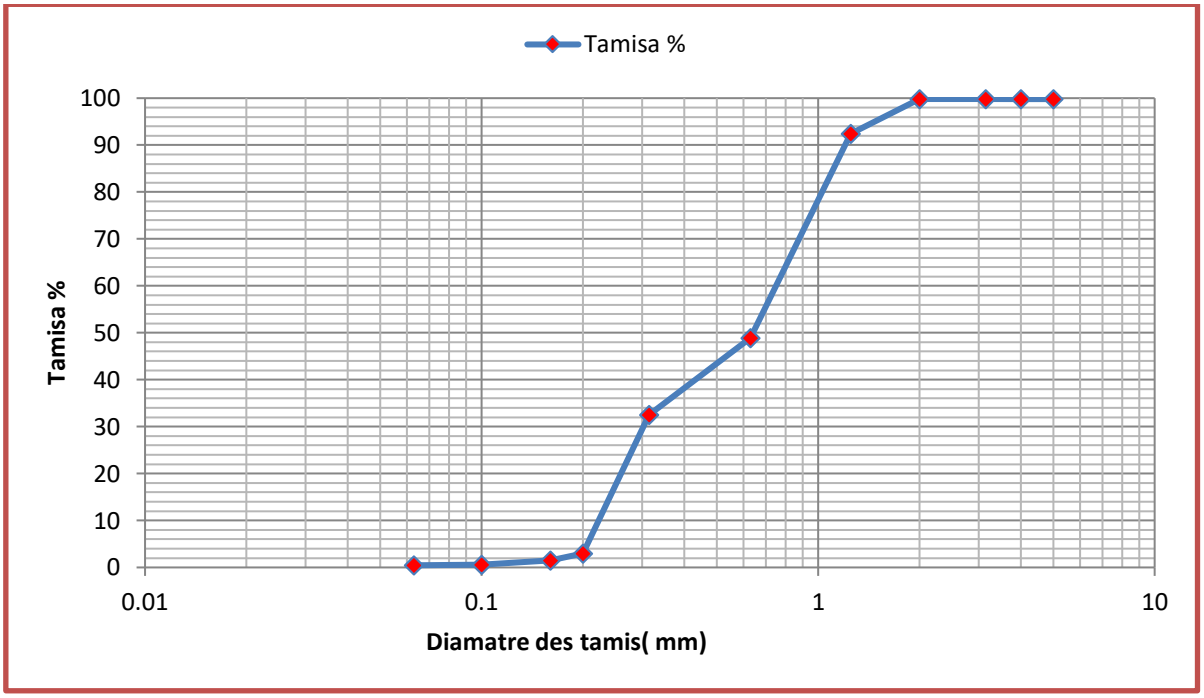


***Fig*. II.3 :** Courbe granulométrique de sable utilisées.

II.2.2.2-*Gravier*

Le gravier utilisé est un gravier concassé à deux classes granulaires (3/8 et 8/15) (***Fig***. II.4 et II.5) provenant de la carrière de *HANACHA* de la région de Médéa dont les propriétés physiques et mécaniques sont présentées au tableau II.4 ainsi l'analyse granulométrique est présentée dans la figure II.6**.**



***Fig*. II.4:** Gravier de Hanacha 3/8.



***Fig*. II.5:** Gravier de Hanacha 8/15.

***Tableau* II.4 :** Propriétés physiques et mécaniques des graviers utilisés.

Caractéristiques	Fraction 3/8	Fraction 8/15	Normes
Masse volumique absolue (g/cm3)	2.55	2.58	NF EN 1097-6**[82]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	1.42	1.40	NF EN459-2**[83]**
Taux d'absorption d'eau (%)	2.3	2.5	NF EN 1097-6**[82]**
Résistance aux chocs (Los-Angeles)	26.18	24.10	NF EN 1097-2**[85]**

D'après les résultats du tableau **II.4**, il parait que les gros granulats sont de bonne qualité et peuvent être utilisés pour un béton.

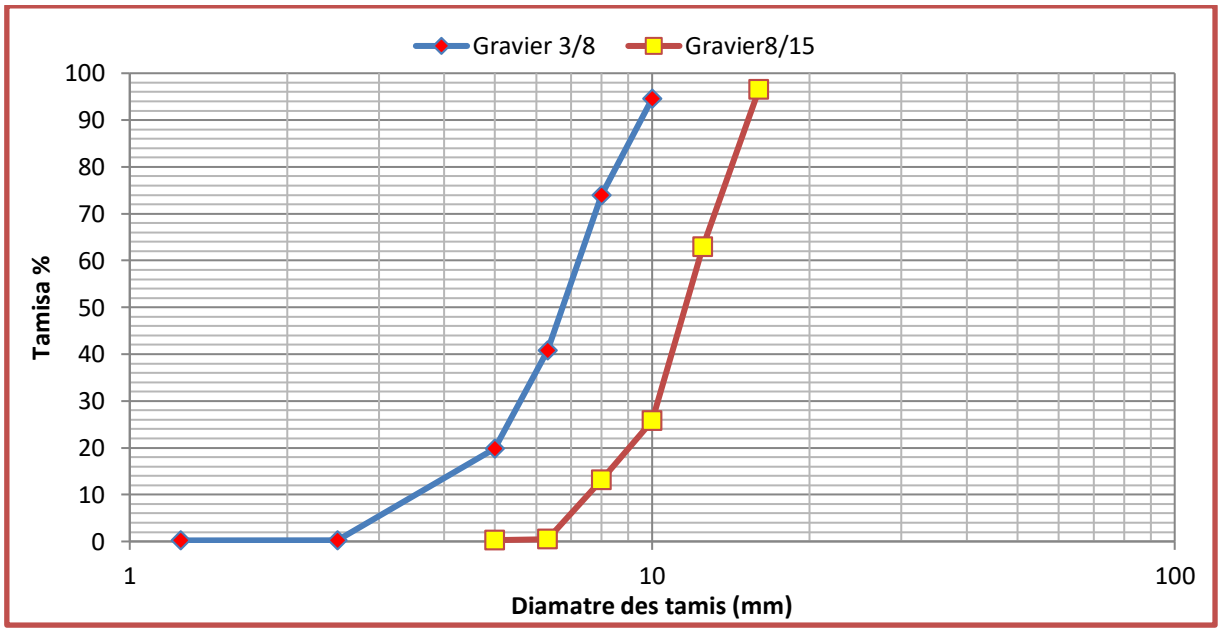


***Fig*. II.6:** Analyse granulométrie du gravier 3/8 et 8/15.

II.2.3-*Fibres de plastiques*

Les fibres utilisées ce sont des fibres de forme rectiligne, elles sont obtenues par le recyclage des déchets plastiques (*PET*). Dans notre cas, nous avons préparé les fibres pour obtenir une longueur de 4cm, et de diamètre de 4mm. L'incorporation de ce dernier est faite par rapport au volume du béton avec des pourcentages de 0.3% à 0.5%. (***Figure* II.7**).



***Fig*. II.7 :** Différentes formes de fibres utilisées.

Pour la déterminer la masse volumique des fibres utilisées, les étapes suffisantes sont à suivre (***Figure* II.8**) :

- On pèse une masse de fibres.
- On met une quantité d'eau dans un récipient gradué et on note la valeur lue.
- On met la masse de fibres mesurée dans le récipient puis on relit la valeur.

  La masse volumique obtenue est de 690 Kg/m^3.



***Fig*. II.8 :** Protocole de l'essai de la masse volumique pour les fibres plastiques.

II.2.4-*Les granulats recyclés*

Les déchets des granulats recyclés utilisée dans ce travail de recherche sous forme :

- Un sable de granulat recyclé concassé (SR).

II.2.4.1-*Recyclage et caractérisation des déchets de béton*

Notre travail consiste sur la méthode pour le recyclage des déchets de béton qui sont résumés comme suit :

a. Sable de béton recyclé (SR)

Les déchets une fois réceptionnés, ils ont fait l'objet d'un concassage par un concasseur à mâchoires de laboratoire, qui nous a permis d'obtenir un matériau dont les grains sont de dimensions 0-5 mm, comme le montre la figure suivant (figure II.9) :



***Fig*. II.9 :** Protocole de concassage des déchets des bétons.

b. Caractéristiques de SR

Le SR est caractérisé suivant les normes en vigueurs, les résultats des caractéristiques physiques et mécaniques sont représentés dans le tableau II.5.

***Tableau* II.5 :** les caractéristiques de SR

Caractéristiques	SR	Normes
Classe granulométrie	**0/5**	NF EN 933-1 **[81]**
Masse volumique absolue (g/cm3)	**2.43**	NF EN 1097-6**[82]**
Masse volumique apparente (g/cm3)	**1.29**	NF EN459-2 **[83]**

II.2.5-*Eau de gâchage*

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau de la distribution de notre laboratoire.

II.2.6-*Superplastifiant*

Pour assurer une ouvrabilité satisfaisante, on a employé un Superplastifiant – Haut réducteur d'eau à base de polycarboxylate d'éther formulé à base de polymère de synthèse combinée commercialisé par la société Granitexe, sous le nom « MEDAFLOW30 ». Voir la fiche technique en <Annexe B> pour avoir plus de détaille sur cet adjuvant. Les Propriétés physiques de ce type d'adjuvant sont présentées dans les tableaux II.6



***Fig*. II.10 :** MEDAFLOW 30.

***Tableau* II.6 :** Propriétés physiques de MEDAFLOW 30

Aspect	Liquide
Couleur	Brun clair
PH	6 – 6.5
Densité	1.07 ± 0.01
Teneur en chlore	< 0.1 g/L
Extrait sec	30%

II.3-*Formulation du béton adopté*

L'objectif de la formulation est de déterminer la quantité nécessaire pour chaque matériau 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. **[16]**

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 avons fixés des paramètres du rapport Eau/Liant et varié 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. **[16]**

II.3.1-*Formulation du Mortier autoplaçant*

Pour la formulation du mortier autoplaçant (MAP), comme mentionné précédemment, on s'est basé sur la méthode OKAMURA avec une amélioration au niveau de la teneur en sable, sur le rapport Eau/Liant (E/c) et le rapport Superplastifiant/Liant (Sp/L) pour s'adapter aux propriétés des matériaux locaux et en particulier le sable. La sélection du rapport sable/mortier et du rapport Sp/L est ajustée par l'essai d'étalement, dont le diamètre de la galette obtenue doit être compris entre 270mm ≤ d ≤330mm, et par l'essai de l'entonnoir en V (V-Funnel), dont le temps d'écoulement obtenu doit être compris entre 2 sec ≤ t ≤ 10 sec. **[16]**

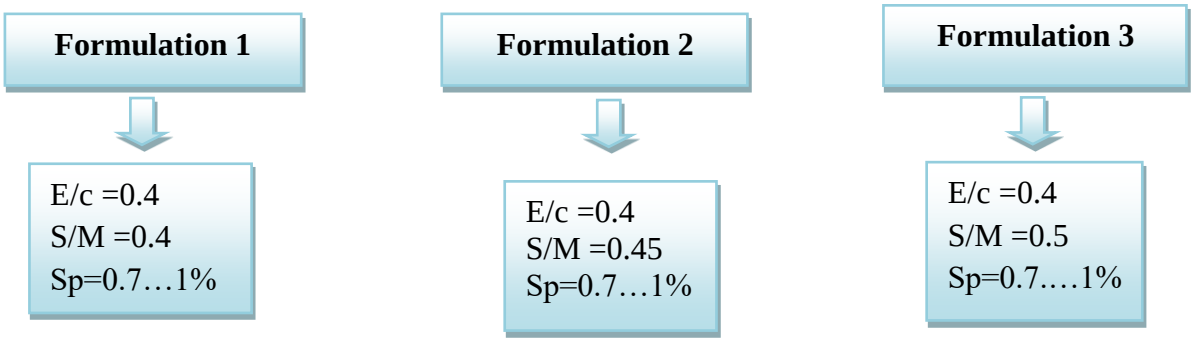


***Fig*. II.11:** formulation du mortier autoplaçant.

***Remarque* :** Le dosage de Superplastifiant Sp est varié avec un pas de 0.5%.

De notre étude on a proposé trois formulations optimales du mortier autoplaçant qui remplit les conditions d'OKAMURA.

***Tableau* II.7 :** formulation optimale du mortier autoplaçant.

Formulation 1	Formulation 2	Formulation 3
E/c =0.4 S/M =0.4 Sp=0.7 Dmoy =31.5 mm Tmoy = 2.42 s	E/c =0.4 S/M =0.45 Sp=0.75 Dmoy =30.7mm Tmoy = 2.54 s	E/c =0.4 S/M =0.5 Sp=0.9 Dmoy =30.6mm Tmoy = 5.82s

II.3.2-*Formulation du béton autoplaçant*

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

- On considère les résultats de MAP.
- L'optimisation de BAP doit être satisfaisante selon les recommandations d'EFNARC.
- Si les résultats obtenus dans les MAP ne sont pas satisfaisants on essaye d'ajuster le SP vers le seuil inférieur ou supérieur pour obtenir un bon BAP.

Pour notre cas deux formulations (formulation1 et 2) des MAP sont sélectionnées pour évaluer le BAP, la troisième formulation sera écartée par la forte utilisation de sable et de SP. Le tableau II.8 représente les différentes compositions utilisées pour le choix de BAP. Une fois le BAP satisfait aux recommandations d'ENFARC, on passe par la deuxième étape d'étude qui consiste à déterminer les compositions des BAPF et les BAPFGR. (Voir tableau II.9)

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



***Fig*. II.12:** Formulation du BAP choisi.

***Tableau* II.8:** Compositions de différentes formulations BAP étudiés dans un volume de $1m^3$

Les compositions	F1	F2	F3	F4
Ciment (Kg)	462.64	462.64	462.64	462.64
Sable (Kg)	704.85	704.85	704.85	792.96
Gravier 3/8 (Kg)	270.3	270.3	270.3	270.3
Gravier 8/15 (Kg)	539.5	539.5	539.5	539.5
Eau $_1$(Kg)	144.46	144.25	144	144.25
Eau $_2$(Kg)	61.92	61.81	61.73	61.81
Superplastifiant (Kg)	3.24	3.7	4.16	4.40
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4
S/M	0.4	0.4	0.4	0.45
Sp (%)	0.7	0.8	0.9	0.95

***Tableau* II.9:** Compositions de différentes formulations BAPF étudiées dans un volume de $1m^3$ de béton.

Les compositions	F1	F2	F3	F4
Ciment (Kg)	462.64	462.64	462.64	462.64
Sable (Kg)	704.85	704.85	704.85	792.96
Gravier 3/8 (Kg)	270.3	270.3	270.3	270.3
Gravier 8/15 (Kg)	539.5	539.5	539.5	539.5
Eau $_1$ (Kg)	144.46	144.25	144	144.25
Eau $_2$ (Kg)	61.92	61.81	61.73	61.81
Superplastifiant (Kg)	3.24	3.7	4.16	4.40
E/C	0.4	0.4	0.4	0.4
S/M	0.4	0.4	0.4	0.45
sp (%)	0.95	0.95	1.15	1.05
Fibre (%)	0.5	0.3	0.5	0.3

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

***Tableau* II.10 :** Composition de la formulation BAPF adoptée.

Les compositions	BAPF (0.3%)	BAPF (0.5%)
Ciment (kg)	462.64	462.64
Sable (kg)	792.96	704.85
Gravier 3/8 (kg)	270.3	270.3
Gravier 8/15 (kg)	539.5	539.5
Eau $_1$ (kg)	144.25	144
Eau $_2$ (kg)	61.81	61.73
Superplastifiant (kg)	4.40	4.16
E/C	0.4	0.4
S/M	0.45	0.4
Sp (%)	1.05	1.15
Fibre (%)	0.3	0.5

II.4-*Technique expérimentale*

Nous allons exposer la méthodologie des expériences menées sur les différents échantillons confectionnés. Ces techniques expérimentales seront menées conformément aux normes en vigueur.

II.4.1-*Séquence de malaxage du béton*

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.14**, elle suit les étapes suivantes :

- Calculer la quantité d'eau effective que l'on va mettre dans la bétonnière. Ce calcul permet de prendre en compte l'eau contenue dans les gros granulats et le sable tout en connaissant le coefficient d'absorption de chacun **(*Annexe D*)**.
- Calculer les proportions du ciment, sable, gravier 3/8, gravier 8/15 et superplastifiant (***Annexe D***).
- 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 degâchage (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.

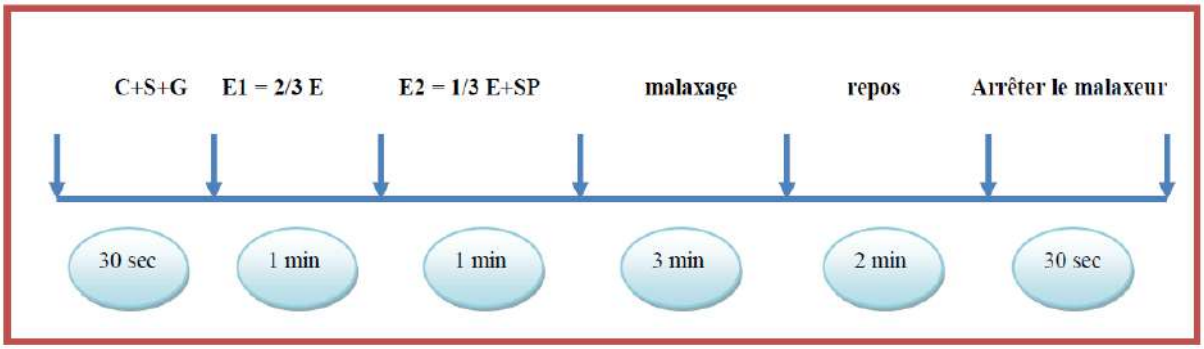


***Fig*. II.13 :** Séquence de malaxage du béton autoplaçant



***Fig*. II.14 :** Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré.

La séquence de malaxage suivie est la même pour tous les mélanges des BAP fibrés.

II.5-*Essai sur BAP*

II.5.1-*Etat frais*

Les essais de caractérisation sur béton frais sont résumés dans le tableau II.11 suivants :

***Tableau* II.11 :** Les essais de caractérisation sur le béton à l'état frais

Essai de caractérisation			
Etalement	V-funnel	L-Box	Stabilité au tamis

II.5.1.1-*Essais d'étalement et T_{50}*

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 selon la norme européenne (EN 12350-8). **[86]**

A. Matériel nécessaire

L'essai d'étalement nécessite les éléments suivants :

- Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90cm de côté et graduée à un diamètre de 50 cm (pour mesurer le T50).
- Slump Flow disposant d'un empattement à sa partie basse afin qu'il puisse être maintenu contre le plateau avec les pieds par l'opérateur.
- Chronomètre.
- Mètre ou règle de 90cm.

B. Mode opératoire

- Humidifier la surface de la plaque (éliminer l'eau en excès avec un chiffon).
- Placer et centrer le Slump Flow sur la plaque et équiper la partie supérieure du cône d'un entonnoir.
- Prélever un échantillon de béton représentatif.
- Remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône.
- Retirer l'entonnoir et araser si nécessaire à l'aide d'une truelle.
- Soulever le cône verticalement à l'aide des deux poignées
- Lancer le chronomètre dès le soulèvement du cône jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle de 50 cm gradué sue la plaque, cette mesure c'est le T_{50}.
- Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, mesurer le diamètre final sur deux côtés.
- Perpendiculaires, le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.

- Détecter 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).



***Fig*. II.15 :** Essais d'étalement.

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

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 à passé dans des orifices qui sont petites (capacité de passage/blocage).Cette essai est déterminées selon la norme européenne (EN 12350-9). **[87]**

A. Matériel nécessaire

Le matériel utilisé pour l'exécution de cet essai est le suivant :

- Un entonnoir en V (V-Funnel) dont les dimensions sont indiquées dans la figure II.16**.**
- Un chronomètre.
- Un seau de capacité de 12 litres.

B. Mode opératoire

- Placer le V-Funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé.
- Prélever dans un seau un échantillon de béton représentatif d'environ de 12 litres.
- Remplir l'entonnoir avec le béton.
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir et ouvrir le clapet.
- Remplir l'entonnoir une deuxième fois de béton.
- Mettre le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir.
- Après une attente de 10 secondes, ouvrir le clapet en laçant le chronomètre.
- Arrêter le chronomètre quand la première lumière apparait à travers l'orifice de l'entonnoir, cette mesure est le temps d'écoulement.
- Refaire l'essai 3 fois.
- Le résultat est exprimé en moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.



***Fig*. II.16 :** Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

II.5.1.3-*Essai de la boîte en L (L-Box)*

Cet essai est réalisé selon la norme européenne (EN 12350-10)**[88]**, 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 39mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H_1 et H_2 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 amoncellement 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 H_1. Cette mesure est plus précise que le rapport H_2/H_1 mais son utilisation est moins répandue.



***Fig*. II.17 :** Protocole de l'essai de la boîte de L-Box.

II.5.1.4-*Essai de la 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) **[89]**, qui est le rapport de la quantité de laitance sur la masse de l'échantillon **(**figure II.18**)**. Le calcule de pourcentage en poids de laitance est déterminée selon l'équation suivante :

$$P = \frac{\text{Masse de laitance}}{\text{Masse de l' échantillon}} \times 100$$

Avec :

$$\boldsymbol{P}_{\text{laitance}} = \boldsymbol{P}_{\text{fond}} + l_{\text{aitance}} - \boldsymbol{P}_{\text{fond}}$$



***Fig*. II.18 :** Protocole de l'essai de stabilité au tamis.

II.5.1.5-*Remplissage des moules*

Après les essais de béton à l'état frais on doit remplir les moules pour la conservation des éprouvettes pour les essais à l'état durci, pour ça on a besoin de :

- Moules 15x15x15 cm pour l'essai de compression.
- Moules 7x7x28 cm pour les essais de retrait, gonflement et traction par flexion.



***Fig*. II.19 :** Protocole de remplissage des moules.

II.5.1.6-*Démoulage et conservation des éprouvettes*

On prélever un échantillon du béton afin de remplir des éprouvettes cubiques de 15x15x15cm et des éprouvettes prismatiques 7x7x28 cm. On stocke les éprouvettes dans une salle en attendant de les démouler 24heures après. Après on démoule les éprouvettes et on les place dans un bac rempli d'eau à une température d'environ 20°C jusqu'à l'échéance de l'essai, pour maintenir l'humidité satisfaisante et la température favorable durant la période d'hydratation du ciment pour éviter l'évaporation rapide de l'eau de gâchage, afin d'assurer un bon mûrissement du béton.



***Fig*. II.20 :** Conservation des éprouvettes.

II.5.2-*Etat durci*

Les essais de caractérisation sur béton durci sont résumés dans le (tableau II.12) suivant :

***Tableau* II.12 :** Les essais de caractérisation sur le béton à l'état durci.

Essai de caractérisation			
Résistance à la Compression	Résistance à la Traction par flexion	Retrait et gonflement	Absorption d'eau par capillarité

***Remarque* :** Pour les essais de retrait, gonflement et absorption, les essais ne sont pas menés à cause de l'épidémie covid-19 qui a empêché le déroulement de travail, depuis mars 2020 pour des préventions sanitaire.

II.5.2.1-*Résistance à la compression*

La résistance à la compression a été mesurée selon la norme [EN 196-1]**[90]** par compression axiale pour des éprouvettes cubiques à l'âge de 7 et 28 jours, à l'aide d'une presse de capacité de 2000 KN. La résistance à la compression correspond à la contrainte moyenne d'écrasement de trois (3) éprouvettes cubiques (15x15x15) cm. La figure II.21montre les étapes de l'essai.



***Fig*. II.21 :** Protocole de l'essai de compression.

II.5.2.2-*Résistance à la traction par flexion*

À l´âge requis, les éprouvettes sont brisées par flexion en deux moitiés selon la norme [EN196-1] **[90]**. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion (Par trois points), une éprouvette prismatique (7x7x28) cm de côté **a** et de longueur **L**. La figure II.22 montre les étapes de l'essai.



***Fig*. II.22**: Protocole de l'essai de traction par flexion.

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

$$\sigma t=\frac{M}{I} v$$

Avec :

M : Moment de flexion entre les deux points d'application de la charge : $\mathbf{M}=\frac{\mathbf{Ff}L}{\mathbf{4}}$.

I : Moment d'inertie de la section transversale : $\mathbf{I}=\frac{\mathbf{d4}}{\mathbf{12}}$.

v: La distance de la fibre inférieure la plus éloignée : $\mathbf{v}=\frac{\mathbf{d}}{\mathbf{2}}$.

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

$$\sigma_t=\frac{M15FfL}{d3}$$

II.5.2.3-*Retrait et gonflement*

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

Les mesures du retrait ont été effectuées sur des éprouvettes prismatiques (7x7x28cm) conformément à la norme NF P 15-404. **[91]**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition sont, après démoulage à 24 heure, placées dans un réctractomètre (***Fig*. II.23**) muni d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court et moyen terme (de 1j jusqu'à 28 jours).

La conservation des éprouvettes est faite à l'air libre dans le laboratoire à une température de 25 à 30°C, et le gonflement, la conservation des éprouvettes est faite à un bac d'eau de température de 25à 30°C.



***Fig*. II.23 :** Le réctractomètre.

A. Mesure des variations de longueur

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

Avant chaque sérié de mesures, l'appareil est étalonné avec une tige de métal de 280 mm de longueur et dont les extrémités reproduisent la forme des plots de l'éprouvette (la tige est réalisée en métal Invar ou protégée contre les variations de température qu'elle est appelée à subir au cours des manipulations). Même métal que l'appareil.

B. Mesure des variations de masse

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

C. Expression des résultats

Pour chaque éprouvette ; sont calculés les rapports :

- **ΔL :** Variation de longueur par apport à la longueur origine.
- **L0** : Longueur de base, prise égale à 280mm.
- **ΔM :** Variation de masse par apport à la masse au moment du démoulage.
- **M** : Masse de l'éprouvette au moment du démoulage.

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

D. Conduite de l'essai

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

$$l = L + dl(t) \qquad \textbf{(II.2)}$$

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

$$\Delta l(t) = l(t) - l(t_0) = dl(t) - dl(t_0) \qquad \textbf{(II.2)}$$

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

$$\varepsilon(t) = \frac{\Delta l(t)}{L} = \frac{dl(t) - dl(t_0)}{L} \qquad \textbf{(II.2)}$$

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



***Fig*. II. 24 :** Protocole de l'essai retrait.

II.5.2.4- Absorption *d'eau par capillarité*

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà séché et on le pèse (m_0), après on l'introduit dans un bac rempli de 1 cm d'eau (***Figure* II.25**), pendant chaque intervalle de temps (15min, 30min ,1h, 2h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbée (m_i- m_0) (NE 13057) .**[92]**



***Fig*. II.25 :** Absorption d'eau par succion capillaire.

II.6-Variables étudiées

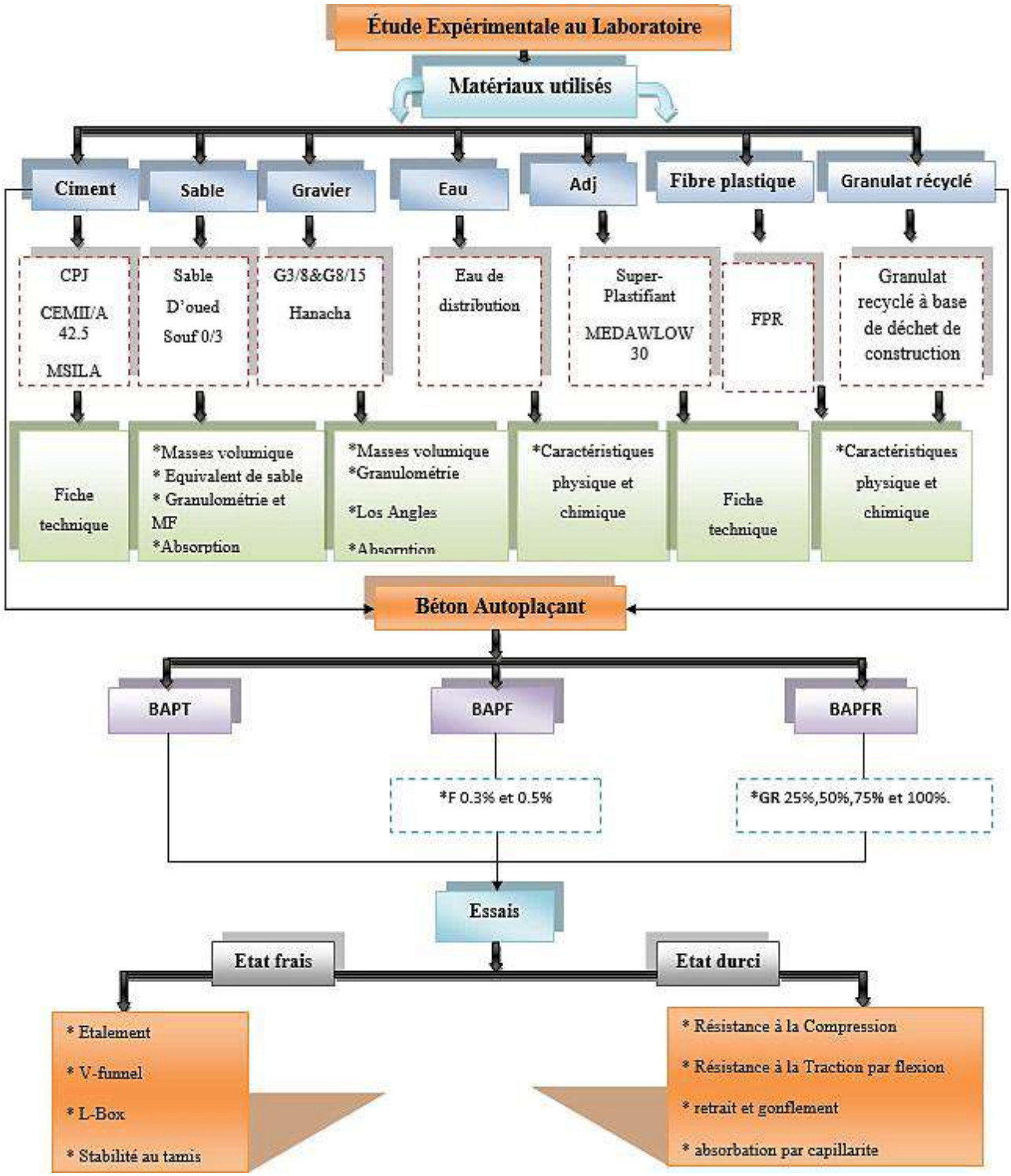


***Fig*. II.26 :** Variables étudiées

II.7-*Conclusion*

Dans notre recherche, nous avons utilisé les matériaux locaux, disponibles sur le marché Algérien (le ciment, les granulats, les superplastifiant).Les essais menés au cours de cette étude ont été effectués sur des bétons autoplaçant, pour déterminer leurs caractéristiques à l'état frais à savoir : (essais d'étalement T50 au cône, d'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel), la stabilité au tamis, L-Box). Ensuite, des essais sont été réalisés pour suivie le comportement mécanique et physique à savoir (résistance à la compression, traction, absorption d'eau, retrait, gonflement), pour reconnaitre l'effet des fibres plastiques et granulat recyclé sur le béton autoplaçant.

Chapitre III

Résultats et interprétation



III.1- Introduction

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

Suite à la crise de la pandémie COVID-19, le travail expérimentale n'a pas été terminé est s'est restreint juste au béton autoplaçant avec fibres plastiques. La deuxième partie on les granulats recyclés de varient être utilisés n'a pas en lieu et les résultats trouvés sont exposés et analyses comme suite :

Afin de mettre en évidence les caractéristiques à l'état frais et durci des mortiers et bétons autoplaçant fibré à base des granulats recycler étude est divisée en trois parties :

- La première étape consiste à effectuer des essais sur mortier afin d'optimiser le rapport sable sur mortier (S/M) et le rapport superplastifiant sur liant (SP/L).
- La deuxième étape est consacrée aux mesures des propriétés à l'état frais à l'échelle des BAP. On passera ensuite à la discussion des résultats issus des essais tels que l'étalement, le temps d'écoulement, L-box et la ségrégation.

La troisième étape est mettre en évidence à l'interprétation issus des essais à l'état durci tels que la résistance à la compression ainsi à la traction.

III.2- Etude des MAP

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

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

Dans cette étude, on a testé trois compositions contenant quatre pourcentages de SP, et on a varié le pourcentage du SP de 0.7% à 0.8 % avec un pas de 0.5% avec un rapport

E/C=0.4 pour tous les MAP. Les résultats des essais d'étalement au mini-cône et le temps d'écoulement au mini V- funnel pour le choix de SP et le S/M optimale sont illustrés dans le tableau III.1.

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

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

NB : le signe (/) exprime que l'essais n'est pas réaliser .

D'après le tableau ci-dessus, on a constaté que plus on augmente le pourcentage du SP plus la fluidité augmente, une augmentation du dosage de SP de 0.5% mène à une augmentation de 20 mm de diamètre du mortier. Pour un dosage de 0.75% avec un S/M=0.45 le mortier présente une bonne fluidité avec un étalement de 320 mm. Avec l'utilisation des matériaux locaux Algériens, un rapport S/M égal à 0,45 est le rapport adéquat pour obtenir des mortiers très fluides, homogènes et de grande capacité de passage dans les zones les plus encombrées, en revanche pour les formulation avec un rapport S/M 0.4 et 0.5 présente des MAP n'est pas conforment aux exigence pour la formulation des BAP. Dans notre cas la sélection de formulation pour passer au BAP on choisi la formulation 2 qui contient un rapport S/M= 0.45 et un dosage en SP égale 0.75 %.

III.3- Etude des BAP

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

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

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

Essai de résistance à la ségrégation par tamisage (Sieve segregation resistance test)

Cet essai est proposé dans les recommandations provisoires de l'Association Française de Génie Civil (AFGC) . Un échantillon de 10 l de béton est mis au repos pendant 15 min. Il s'agit ensuite de déverser 4,8 kg (tolérance ± 0,2 kg) de l'échantillon sur un tamis. Après 2 min d'attente, le pourcentage de laitance qui est passée au travers du tamis est calculé selon l'expression (Figure III.1).

$$\Pi = \frac{\mathbf{P}\ \text{laitance}.100}{\mathbf{P}\text{échantillon}}$$



Fig III.1 : Essai de résistance à la segrégation au tamis.

Le critère de stabilité de cet essai est :

- $0 \leq \Pi \leq 15\%$, alors la stabilité est satisfaisante
- $15 < \Pi \leq 30\%$, la stabilité est critique
- $\Pi > 30\%$, la stabilité est très mauvaise.

Lorsque $0 \leq \Pi \leq 5\%$, la résistance à la ségrégation est dite « trop importante ». La pâte ou le mortier est trop visqueux pour s'écouler à travers le tamis. Cela peut conduire à une qualité de parements assez mauvaise [158]. La conclusion de cet essai est qu'il est sensible aux variations de dosage en superplastifiant ou en eau.**[16]**

Selon les résultats trouvés un ajustement en SP est nécessaire pour obtenir des BAP selon les recommandations (EFNARC) des BAP. Cette ajustements avec 0.2% en SP peut due à d'une part à la l'introduction de gravier qui contient des particules fin autour de surface de gravier qui participent par conséquent à la demande en SP, d'autre part peut due est au volume de béton qui nécessite un dosage en SP élevé part rapport à son mortiers.

Plusieurs étude **[93-94]** ont formulé des BAP avec les matériaux locaux Algérienne .Il sont trouvée que la gamme en SP varié entre 0.85 à 1%. Dans notre cas on a choisi la formulation 4 comme une formulation témoin pour passer à la formulation des BAPF et BAPFR.

III.4- Etude des BAPF

III.4.1- à l'état frais

A. Etalement au cône d'Abrams

Les résultats de l'écoulement pour les différents mélanges des BAPF élaborés sont traduits en histogrammes dans la figure III.1. Les résultats montrent que les diamètres d'étalement des mélanges à base de fibre plastique sont situés entre 715 à 520mm, alors ce qui indique une faible déformabilité des BAP avec l'introduction de FP. Selon les limites et la classification des BAP on peut voire aussi à travers la figure que, les valeurs d'étalement ne sont pas acceptables par les recommandations EFNARC **[15]**, et sont classées hors la catégorie (SF1-SF3) pour le BAP avec 0.5% de FP, l'écoulement des BAPF est affecté par la fraction volumique et la longueur des fibres (40mm), plus qu'on augmente le pourcentage ,plus que l'écoulement diminue **[95-96]**, ce qui donnent un mélange n'est pas homogène, un étalement n'est pas circulaire, cela veut dire que l'écoulement est contracté selon une ou plusieurs directions.

Samana et Dahmani **[41]** ont étudié les propriétés à l'état frais du BAP à base de fibre plastique et ont noté que l'étalement diminuait à mesure que la quantité de fibre et la longueur augmentait, est convergé plus rapidement vers le seuil inférieur. Les meilleurs valeurs d'étalement se sont produits lorsque en ajoutant une fraction volumique faible avec petite longueur.

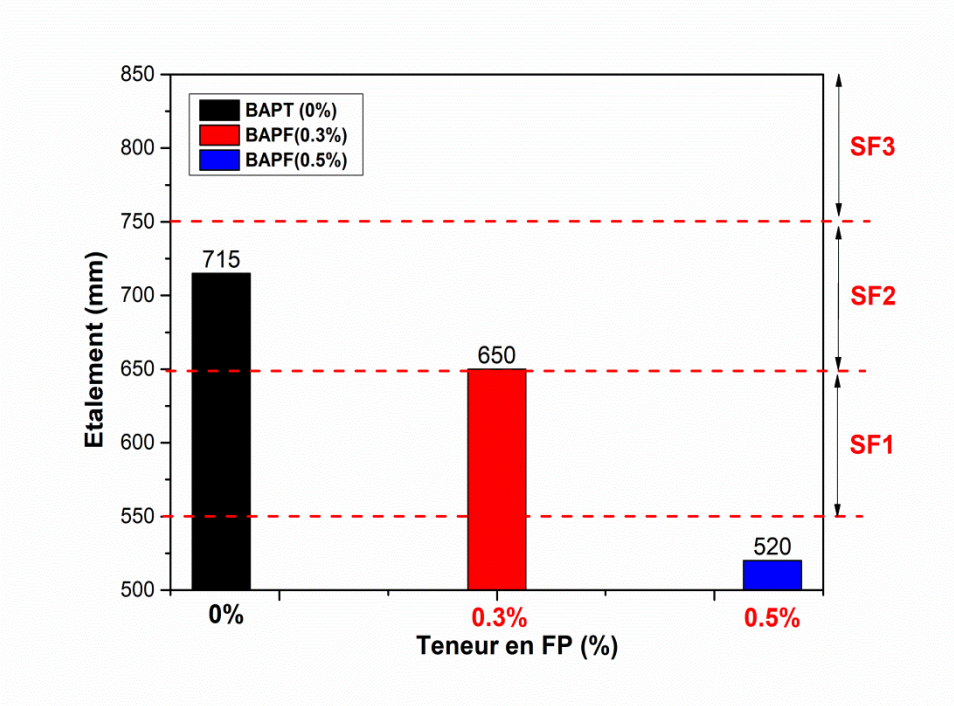


Fig. 0.2: *Etalement des BAPF avec SP constant.*

Tableau III.3 *: Classes des BAP selon l'étalement et le domaine d'utilisation* ***[16]***

classe	Etalement (en mm)	Domaine d'utilisation du BAP
SF1	550-650	• Structures non ou peu ferraillées. Béton coulé à partir du haut (ex. les Dalles) • Coulage par système de pompage du BAP (ex. tunnels) • Petites sections (ex. les piles et les fondations profondes)
SF2	660-750	• La majorité des applications
SF3	760-850	Applications verticales • Structures trop ferraillées • Coulage à partir du dessous du coffrage • Structures de forme complexe

Pour notre travail on à respecté les limites de EFNARC **[15]** (fluidité dans le domaine ciblé) pour toutes les familles des BAP pour faciliter la comparaison entre eux, Les figure III.2 III.3 représente la variation de dosage en SP pour avoir un étalement selon les critères des BAP.

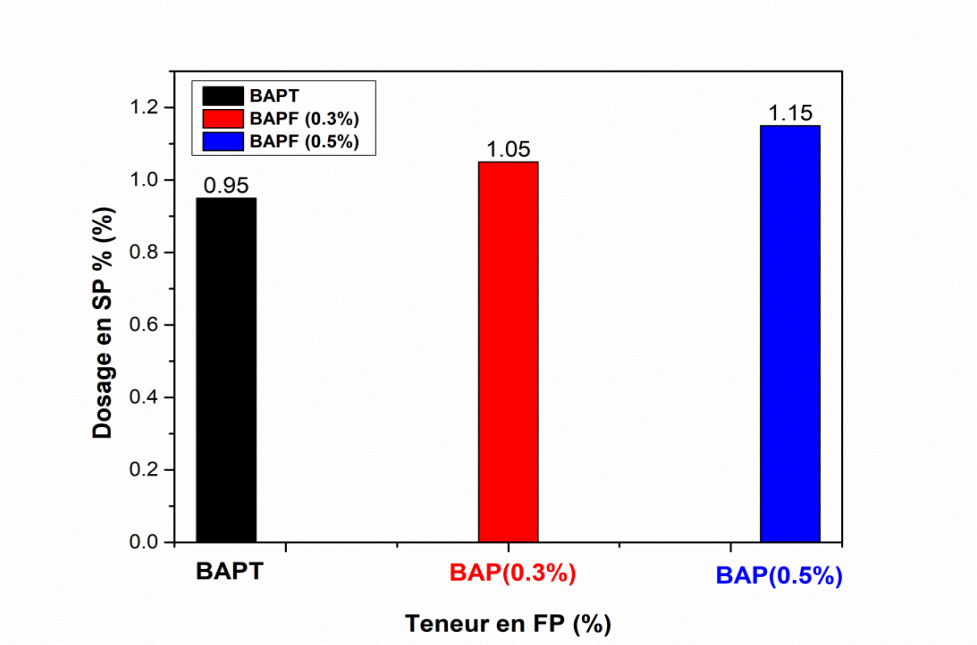


Fig. 0.3: *Dosage en SP en fonction de FP.*

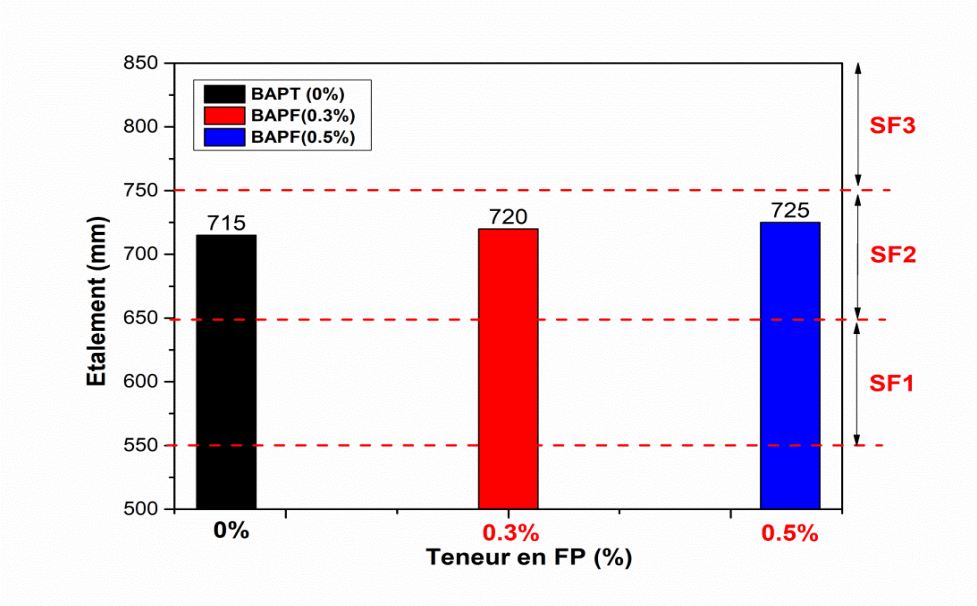


Fig. 0.4: *Etalement des BAPF avec SP variable.*

D'apprêt ces figures on remarque que plus on augmente le % de fibre plus le dosage en SP augmente, pour donner un bon BAPF avec des valeurs d'étalement situés entre 715 à

725 mm, ce qui conforme à la recommandation EFNARC (SF2), cette augmentation de dosage en SP est principalement du à la masse des fibres additionner au mélange. Plusieurs étude **[97-98]** ont montrent que l'augmentation de fraction volumique et la longueur des fibres engendre à l'augmentation de dosage en SP.

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

Bilodeau et al **[99]** et shafigh et al **[100]** ont trouvé une baisse de fluidité avec l'augmentation de la longueur des fibres, ce phénomène est dû aux perturbations causées par les fibres sur la compacité totale du système .

A. Temps d'écoulement à travers le V-funnel

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 **[15]** ,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 **[101]**, cette évolution perturbe l'écoulement et par conséquence augmente la viscosité qui provoque d'éventuelles une ségrégation et blocage au niveau des armatures **[102]**. Ces résultats seront confirmés par la suite à travers l'essai de la boite en (L-BOX). À titre d'exemple, le mélange témoin BAPT et le mélange avec 0.3% de fibre ont montré la valeur inférieure du temps d'écoulement par rapport à 0.5% qui est bien inférieure à 8 s, qui est indiquant la viscosité la plus faible avec un dosage en SP s'est avéré être le minimum.

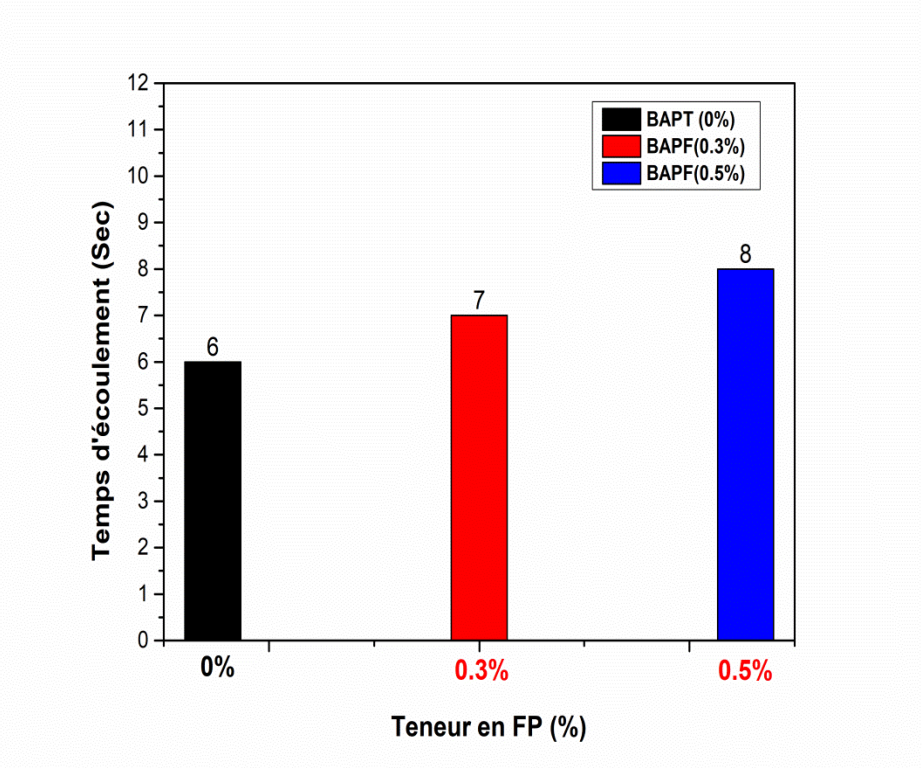


Fig. 0.5: *Temps d'écoulement des BAPF avec SP variable.*

C.Capacité de passage à travers L-BOX

La variation du rapport H_2/H_1 en fonction du pourcentage de FP est représentée sur les figures III.5 et III.6. En ce qui concerne la capacité de remplissage estimée par le rapport H_2/H_1 mesuré par le test de la boîte en L et d'apprêt la figure III.5 on remarque que l'ajout de fibre affecte négativement sur la capacité de remplissage. Le rapport du blocage est situé entre 94%,64% et 45%, dont le plus faible rapport était 45% pour le BAPF avec 0.3% de FP, donc la valeur la plus important est correspond au BAPT. Cela est principalement affecter par la préséance des fibres qui crée un blocage au niveau des armature de L-box, ces valeurs n'est pas satisfaire à la valeur recommandé par le EFNARC **[15]** une augmentation de dosage de SP est nécessaire .

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

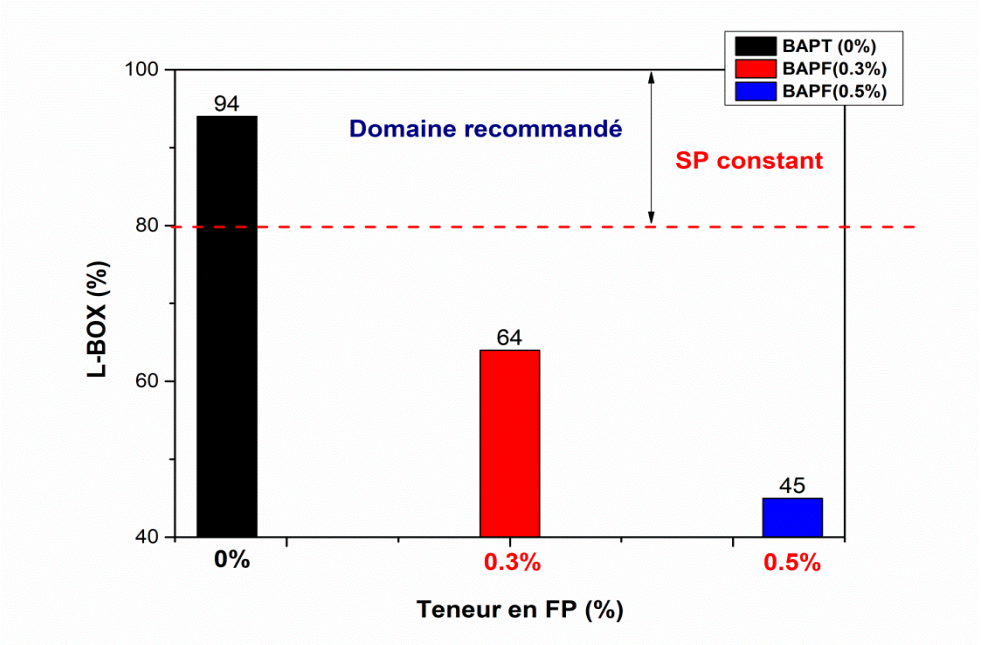


Fig. 0.6: *L-BOX des BAPF avec SP constant.*

Corinaldesi et Moriconi,**[103]** ont montré l'existence d'une concentration critique de fibres au-delà de laquelle le matériau ne s'écoule plus quelles que soient ses caractéristiques rhéologiques sans fibre.

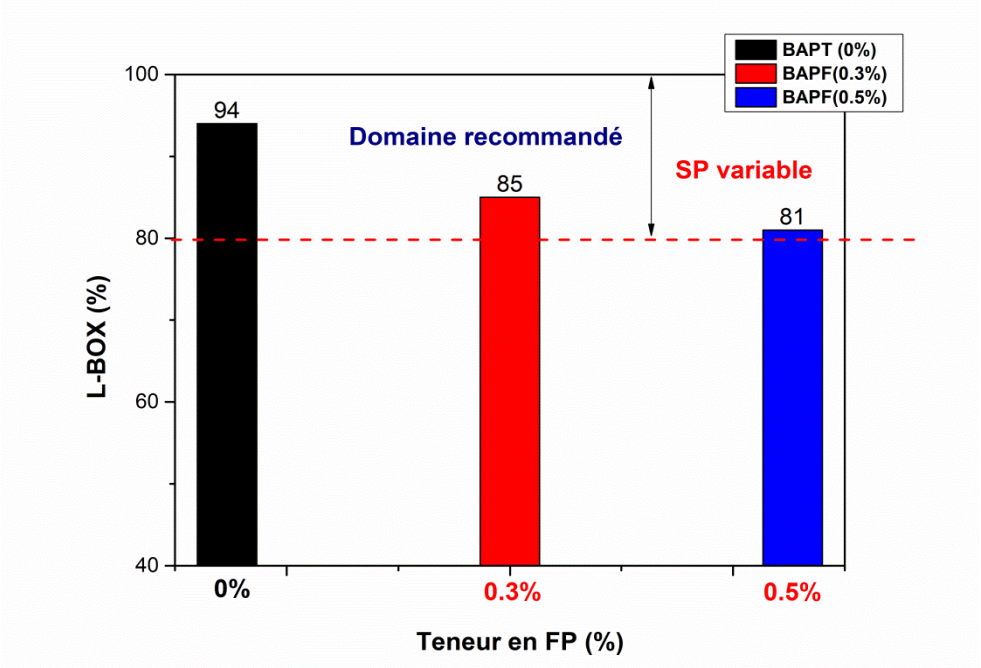


Fig. 0.7: *L-BOX des BAPF avec SP variable.*

D.Stabilité au tamis

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

Cette augmentation de risque de ségrégation est peut liée à la déférence de dosage en SP, en outre en signalant que les résultats restent des comparables et au-dessous des valeurs recommandées par EFNERC **[15]**.

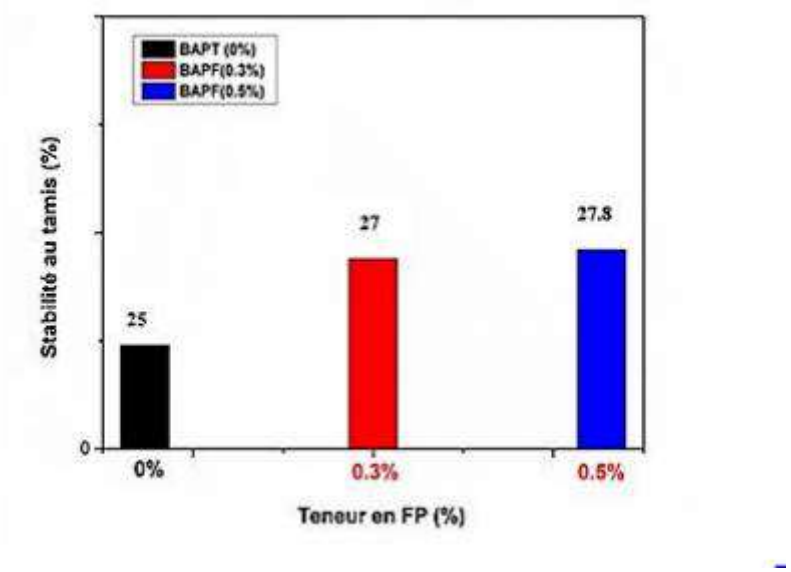


Fig. III.8 : *Stabilité au tamis des BAPF***.**

III.4.2- à l'êtas durci

A. Résistance à la traction

Les résultats de la résistance à traction par flexion à différents âges (3, et 7 jour) pour les différentes BAP confectionnés sont représentés dans les figures III.8. Les résultats ont révélé que la préséance des fibres dans les mélanges des BAP, donnent une amélioration de la résistance à la traction par flexion, si on compare ces bétons, on trouve que plus on augmente la fraction volumique des fibres, plus la résistance à la traction par flexion augmente. Une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et améliore la propagation des fissure ce qui améliore la résistance à la traction **[104, 105, 106]** .

Kawamata et al **[107]** ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliore le comportement à la flexion des bétons. Dans cette étude, les conclusions doivent être entendues dans ces limites, l'auteur ayant utilisé des fibres métalliques de longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un dosage volumique maximal en fibres de 1%.

Zemir et al. **[108]** ont renforcé le béton vibré par un BAP fibré. Les résultats montrent que le renforcement du béton ordinaire (BO) par chemisage de BAP fibré améliore les caractéristiques mécaniques et donne une bonne rigidité de béton endommagé.

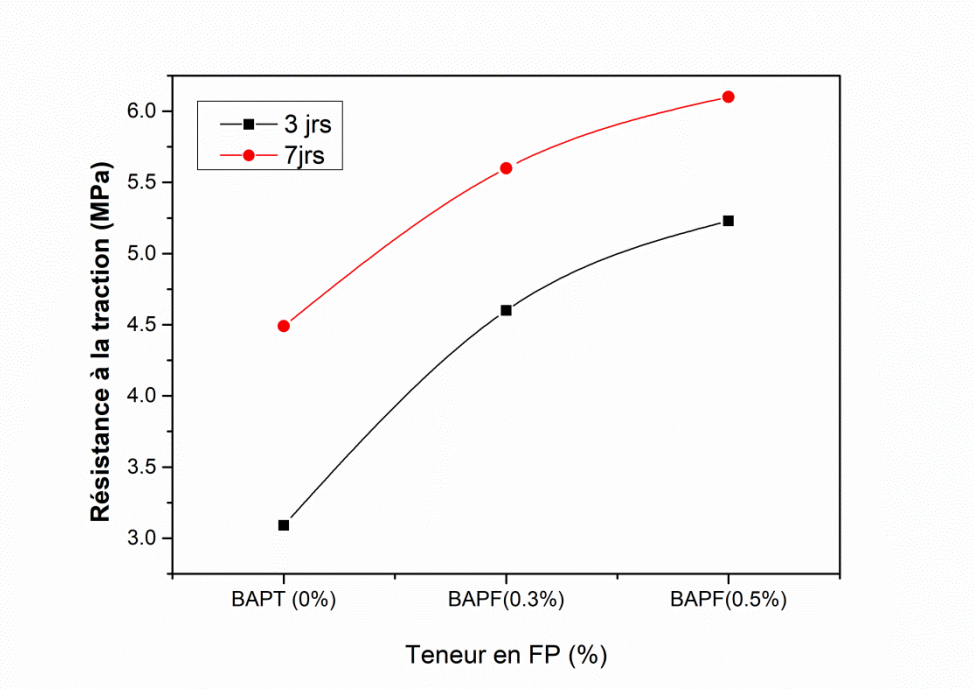


Fig. III.9: *Résistance à la traction des BAPF.*

B. Résistance à la compression

Les résultats obtenus à 7, et 3 jours des BAPF sont donnée aux figures III.9. On a constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des fibres. on enregistre une amélioration de 6,98 % correspondant au respectivement .Cette légère amélioration est engendrée par le phénomène de confinement provoqué par la formation des oursins à l'intérieur des matrices cimentaires permettant l'augmentation de la charge ultime **[109, 110]**.

Plusieurs études confirment ces résultats à savoir pierre rossi **[111]**, qui a montré que les fibres courtes ont toujours donnent des résistances à la compression supérieures à celles du

béton non fibré. Par contre les fibres longues n'apportent pas d'amélioration en compression. Cependant confirment que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression.

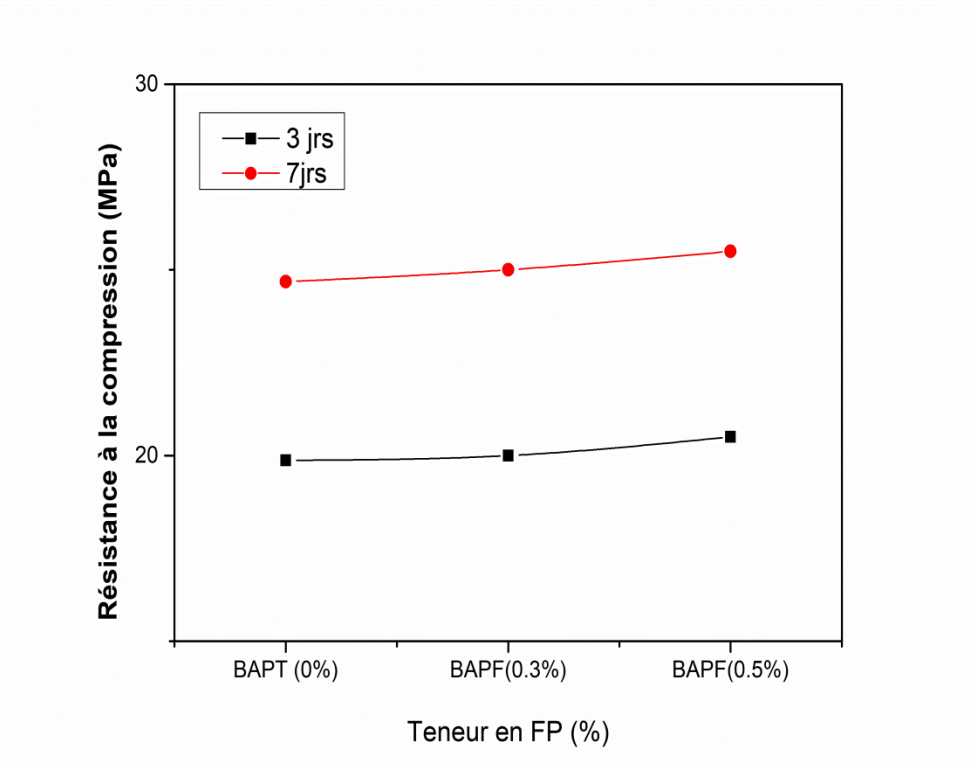
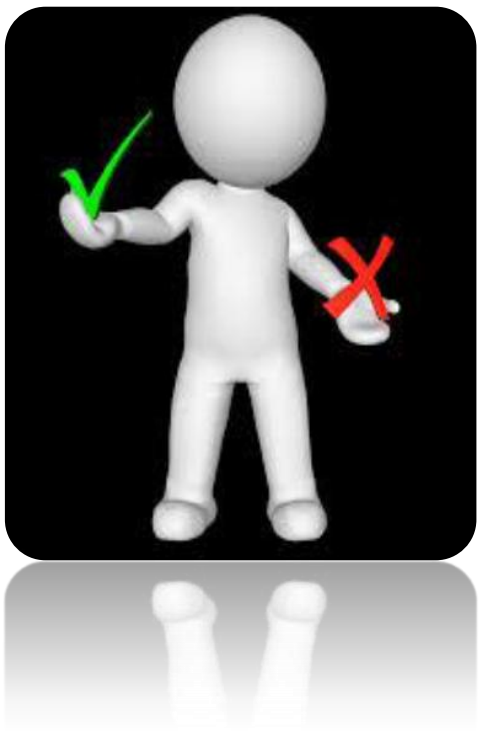


Fig. III.10: *Résistance à la compression des BAPF.*

III.5- Etude des BAPFR à base des granulats recyclés de béton

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

Conclusion générale et recommendation



CONCLUSION GENERALE

L'objectif principal de cette étude est d'étudier l'effet des fibres plastiques avec granulats recyclés sur le comportement du béton autoplaçant. Vu la crise de la pandémie COVID-19 et comme déjà annoncé, le travail expérimentale n'a pas être achevé. À la lumière des résultats obtenus, on peut conclure que :

- Pour la formulation des BAPT adopté on a conclue à travers les résultats des MAP que les matériaux locaux dans cette étude nécessitent et sélectionne un rapport E/C égale 0.4 et S/M égale 0.45 avec un dosage de 0.75% en SP pour obtenir les caractéristiques désirées.
- A travers les teste des BAP un ajustement de 0.2% en SP pour qualifier le BAP selon les recommandations de EFNARC sans risque de ressuage ou de ségrégation.

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

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

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

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

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

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

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

RECOMMANDATION

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

- La continuité de la derniers partie de sujet pour prévoir l'effet des bétons autoplaçants fibrés à base différent 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.

Références

Bibliographiques



[1] Guide d‟utilisation du béton en site maritime Benoit THAUVIN & Michel MENGUY (centre d‟étude techniques maritimes et fluvial).
[2] OKAMURA.H.OZAWA, compacting concrete journal of advanced concrete technology, 1994.

[3] YAMMINE JOUMANA., rhéologie des bétons fluides à hautes performances relations entre formulations, propriétés rhéologiques, physico-chimie et propriétés mécaniques, thèse de doctorat, l‟Ecole Normale Supérieure de Cachan, 262 p, 2007.
[4] Okamura. H , Ozawa. K., Ouchi. M., "Self-compacting concrete". Structural Concrete, 17, March 2000

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

[6] **BENKECHKACHE Ghofrane** ,«Etude de comportement diffère des bétons autoplaçant Influence des paramètres de composition et de chargement», thèse de mentouri Constantine, magister novembre 2007 .

[7] **Khélifa R** , «Influence des ciments à base d‟ajouts minéraux sur les propriétés mécaniques des mortiers et des bétons, mémoire de Magistère en Génie Civil, Université Mentouri de Constantine, le 11 Juillet 2001.

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

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

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

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

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

[13] Comparet C, Thèse de Doctorat en Chimie - Physique, «Etude des interactions entre les phases modèles représentatives d‟un ciment Portland et des superplastifians du béton», Université de Bourgogne – UFR des Sciences et Techniques, Ecole doctorale Carnot, le 8 Octobre 2004.

[14] Flatt R.J, « Polymeric dispersants in concrete. In Polymers in particulate systems - Properties and applications » Marcel Dekker, Inc., 2002, 249 pages

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

[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]- « R.Dupain/ R.Lanchon/ J.C.Saint-Arroman » Granulats, Sols, Ciments et Bétons Edition 2000.

[18]YAMMINE Joumana ,Rapport annuel 2005 - Etat d‘avancement de la thèse

[19] BENKECHKACHE Ghofrane ,Etude de comportement diffère des bétons autoplaçants Influence des paramétres de composition et de chargement thèse de magister novembre 2007 université Mentouri Constantine.

[20] Berkouk Kahina et Ameur Tassadit, « Etude de l'efficacité des superplastifiant sur les propriétés rhéologique de BAP». Mémoire de fin d'étude de l'Université de Boumerdes 2006-2007.

[21] ACI, ‟Processes, Self-Compacting Concrete, Advanced Concrete Technology III, 203.9/3, 2003

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

[23] JC. **Gibbs and W. Zhu**, Strength of hardened self-compacting concrete. Proceedings of First international RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Suède :199{209, 1999.

[24] M. Sonebi and PJM. Bartos, Hardened scc and its bond with reinforcement. Proceeding of First International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (PRO 7), Stockholm, Sweden :275-289, 1999.

[25] J. Pera, S. Husson, and B. Guilhot, Influence of finely ground limestone on cement hydration. Cement and Concrete Composites, Vol. 21 N 2 :99-105, 1999.

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

[27] 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-Compacting Concrete, Tokyo, Japan :277-284, 2001.

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

[29] 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.

[30] 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.

[31] 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.

[32] F. De Larrard and R. Le Roy, Relation entre formulation et quelques propriétés mécaniques des bétons à hautes performances. Materials and Structures, Vol. 25 :464-475, 1992.

[33] 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.

[34] B. Persson, A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the coresponding properties of normal concrete. Cement and Concrete Research, Vol. 31, no 2 :193-198, 2001.

[35] 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.

[**36] B. Felekoglu, M. Yardimci, and B. Baradan**. A comparative study on the use of mineral and chemical types of viscosity enhancers in self-compacting concrete. Proceeding of 3nd International RILEM Symposium on Self-Compacting Concrete (Pro 33), Reykjavik, Iceland :446-456, 2003.

[37] Turcry P. « Retrait et fissuration des bétons autoplaçants- influence de la formulation » Thèse de doctorat de l‟Ecole centrale de Nantes, 213 pages. 2004

[38] KHAYAT, K.H. Workability, testing, and performance of self-consolidating concrete, ACI Materials Journal, 96, 346–353, (1999).

[**39] Didier LOOTENS,** l‟Université Pierre et Marie Curie, Ciments et suspensions concentrées modèles. Écoulement, encombrement et floculation. Thèse de Doctorat .

[**40] Fiche Techniques «**Les bétons : formulation, fabrication et mise en oeuvre».

[41] O.Semmana,H.Dahmani, « Comportement des bétons autoplaçants A BASE DES FIBRES PLASTIQUES »mémoire de master 2014 de université médea.

[42] M.GUENDOUZ, «Valorisation et recyclage des déchets plastiques dans le béton» mémoire de master 2012 de université médea.

[43] ShaHh S.P., Batson G.B, " Fiber reinforced concrete: properties and Application" Detroit, American Concrete Institute, 1987, 597p., SP –105.

[44] 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.

[45] Khenfer, M. M, Caractérisation structurale et rhéologique des ciments et des plâtres renforcés de fibres cellulosiques. Thèse de docteur, université de Bordeaux, Juin 1990.

[46] Kriker. A, Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibres en climat chaud et sec . Thèse de doctorat d'état, ENP, Alger, 2005.

[47] Lacroix, R., Fuentes, A. et Thonier, H, Traité de béton armé, Édition Eyrolles Paris, 1982.

[48] Dhonde H.B., Mo Y.L., Hsu T.T.C., (2005) ,"Fiber Reinforcement in Prestressed Concrete Beams", Technical Report 0-4819-1. Performed in Cooperation with the Texas Department of Transportation and the Federal Highway Administration Project 0-4819 Department of Civil & Environmental Engineering University of Houston, Texas December 2005.

[49] Groth P., (2000a), "Fibre reinforced concrete - Fracture mechanics methods applied on selfcompacting concrete and energetically modified binders, PhD-thesis, Department of Civil and Mining Engineering, Luleå University of Technology

[50] Grunewald S, (2004) "Performance-based design of self-compacting fibre reinforced concrete", Diplom-Ingenieur Delft University of Technology**.**

[51] 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.

[52] Pons G., Mouret M., Alcantara M., Granju J.L, (2007) "Mechanical behaviour of selfcompacting concrete with hybrid fibre reinforcement", Materials and structures, vol. 40, no2, pp. 201-210.

[53] Groth P., Nemegeer D, (1999) "The use of steel fibres in self-compacting concrete", First Int. Symposium on SCC, Stockholm, Edited by Skarendahl and Petersson, RILEM publications PRO 7, Cachan, pp. 497-508.

[54] Soroushian P., Plasencia J., Revanbakhsh S., Assessment of reinforcing effects of recycled plastic and paper in concrete. ACI Mater J, 100(3), 2003, 203–7

[55] Hasan M, Afroz M, Mahmud H. An experimental investigation on mechanical behavior of macro synthetic fibre reinforced concrete. Int J Civil Environ Eng IJCEE-IJENS, 11(03), 2011, 18–23.

[56] Soroushian, P., Mirza, F., Alhozaimy, A., "Permeability characteristics of polypropylene fiber reinforced concrete". ACI Materials Journal, 92 (3), 1995, 291–295.

[57] Abdulkader Ismail Al-Hadithi , Nahla Naji Hilal, The possibility of enhancing some properties of self-compacting concrete by adding waste plastic fibers. Journal of Building Engineering 8, 2016, 20–28.

[58] Youcef Ghernouti., Bahia Rabehi., Tayeb Bouziani., Hicham Ghezraoui., Abdelhadi Makhloufi., Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing plastic bag waste fibers (WFSCC), Construction and Building Materials ,82 ,2015, 89–100.

[59] Kim JJ, Park CG, Lee SiW, Lee SaW, Won JP. Effects of the geometry of recycled PET fiber reinforcement on shrinkage cracking of cement-based composites. Composites Part B: Eng, 39, 2007, 442–50.

[60] LANDAU et al. "A practical approach to the use of synthetic fibres in concrete." RILEM Symp, Edited by R.N. Swamy, et al Sheffield 13/17 – 07, 1986, 6p.

[61] Shi Yin, Rabin Tuladhar, Feng Shi, Mark Combe, Tony Collister, Nagaratnam Sivakugan, Use of macro plastic fibres in concrete: A review, Construction and Building Materials, 93, 2015, 180–188.

[62] Soroushian, P., Mirza, F., Alhozaimy, A., "Permeability characteristics of polypropylene fiber reinforced concrete". ACI Materials Journal, 92 (3), 1995, 291–295.

[63] Miloud BEDDAR, Etude de la faisabilité d'utiliser un béton Renforcé de fibres à base de déchets métalliques, 10.01.2007, Université de El Hadj Lakhdar de Batna.

[64]. Plan National d'actions pour l'Environnement et le Développement Durable (PNAE-DD), Ministère de l'Aménagement du territoire et de l'environnement. Janvier 2002.

[65] Saadani S, « Comportement des bétons à base de granulats recyclés » mémoire magister, Université Mentouri Constantine, Algérie pp.132.

[66] Husson B., Escadeillas G., Carles-Gibergues, A. et Vaquir, A, « Stratégie d'étude des déchets et sous produit : valorisation ou mise en décharge », Revue française de génie civil, vol.2 n° 8, pp.985- 997.

[67] Munck-Kampmann B, « Europeen trends in waste generation and waste management», in 'recycling and reuse of waste materiels' proceeding of an international symposium, edited by R. K. Dir, M. D. Newlands and J.E Halliday, published by T.Thelford . London,septembre 2003. pp.1-22.

[68] Programme d'Actions Prioritaires centre d'Activité Régionales, Juin 2004.

[69] Mr. TIRECHE Tayeb et all, RAPPORT PAYS ALGERIE, Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement, « Observatoire National de l'Environnement et du Développement Durable », Mars 2012.

[70] Settari .Ch, «caracterisation et comportement du beton a base de Dechets de routes (beton bitumineux) : Application dans le domaine routier. » mémoire de doctorat, Université de médea ,algérie pp 254.

[71] Bruno Marquis, Guy Bergeron, Frédéric Pellerin Frédéric, Marc-André Bérubé et Annick Décréon, « État d'avancement de l'étude sur l'utilisation des matériaux recyclés dans les chaussées »,Recueil des communications, 33e Congrès annuel de l'Association québécoise des transports et des routes (AQTR) ,1998.

[72] Rapport technique - Bâtiments exemplaires, « L'utilisation de granulats issus du recyclage », France décembre 2010.

[73] F. Debieb «livre du Béton au Béton » https://www.amazon.fr/Du-b%C3%A9ton-au-Farid .

[74] Etat d'avancement de l'étude sur l'utilisation des matériaux recyclés dans les chaussées, 1998.

[75] Quebaud M., Courtial M. et Buyle-Bodin F, « le recyclage des matériaux de démolition », matériaux et structure, travaux, N° 721, France, juin 1996.

[76] Duan, Z.H. and C.S. Poon, Properties of recycled aggregate concrete made with recycled aggregates with different amounts of old adhered mortars. Materials & Design, 2014. 58: p. 19-29.

[77] Kenai, S. and 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, 2011. 44(4): p. 815-824.

[78] OUZADID.S et LAROUCI DILMI.H, «Etude des propriéters physico-mécaniques et la durabilité du mortier autoplaçant à base des granulats de brique cuite» mémoire de master 2016 de université médea.

[79] SAADANI Sabrina, «comportement des betons a base de Granulats recycles» mémoire de magister, Université de constantine .

[80] NA 442, Normes Algérienne : "Ciment - Composition, spécifications et critères de conformité des ciments courants", 1994, 2000.
[81] NF EN 933-1, 1997. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1:Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.
[82] NF EN 1097-6, 2001. « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 6: Détermination de la masse volumique réelle et du coefficient d'absorption d'eau », AFNOR.
[83] NF EN 1097-3, 1998, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 3: Méthode pour la détermination de la masse volumique en vrac et de la porosité inter granulaire », AFNOR.
[84] NF EN 933-8, 1999, « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des granulats. Partie 8: Evaluation des fines. Equivalent de sable », AFNOR.

[85] NF EN 1097-2, 2001, « Essais pour déterminer les caractéristiques mécaniques et physiques des granulats. Partie 2: Méthode pour la détermination de la résistance à

la fragmentation », [86] B. EN, 12350-8, 2010 Testing fresh concrete, Part 8: Selfcompacting concrete, Slump-flow test, British Standards Publication (2010).

[87] B. EN, 12350-9. Testing fresh concrete, self-compacting concrete; Technical committee, British Standards Institution: London, UK (2010).

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

[89] B. EN, 12350-11.(2010). Testing Self Compacting Concrete: Sieve Segregation Test, British Standard Int.
[90]CEN EN 196-1, **Normes AFNOR** : « Méthodes d'essais des ciments – Partie 1 : détermination des résistances mécaniques (indice de classement P15- 471) », Aout 1995.

[91] NF P 15-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.
[92] NF 13057 NBN NE 13057, Normes Belge, « Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton-Méthodes d'essai-détermination de l'absorption capillaire », Octobre 1997, Mai 2002.

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

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

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

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

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

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

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

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

[101] 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.

[102] 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.

[103] 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.

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

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

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

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

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

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

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

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

Annexes



Fiche technique du ciment MATINE



Ciment

MATINE

Ciment pour bétons rapides

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression fc 28= 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments élevés, tunnels, ouvrages et pieux



Remarque : Ces dosages ne sont donnés qu'à titre indicatif. Les résultats de ces formulations peuvent varier selon la nature des matériaux utilisés et les conditions de mise en œuvre.

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CIM LFA 42,5 R NA 442

FICHE TECHNIQUE

MATINE est un ciment gris de hautes résistances initiales et finales, résultat de la mouture du clinker obtenu par cuisson jusqu'à la fusion partielle (clinkérisation) d'un mélange convenablement dosé et homogénéisé de calcaire et d'argile.

Ce ciment est constitué d'oxydes minéraux dont les principaux sont la chaux (CaO) à fonction basique et la silice (SiO_2) à caractère acide. On trouve également l'alumine (Al_2O_3) et le fer (Fe_2O_3), ils sont rendus aptes à réagir entre eux et avec l'eau par traitement thermique à des températures comprises entre 1300 et 1500°c. En présence d'eau a lieu la réaction d'hydratation consistant en la formation d'un réseau résistant (propriété hydraulique) constitué principalement de microcristaux de silicates de calcium hydratés.

MATINE présente des performances mécaniques et des caractéristiques physico-chimiques conforment à la norme NA 442, EN 197-1 et à la norme NF P 15-301/94 .

Domaine d'utilisation :

MATINE est utilisé pour tous les projets courants qui nécessitent des hautes résistances mécaniques mais ne présentent pas un besoin spécifique dans les ouvrages en béton qui ne sont pas exposés à des conditions sévères comme l'attaque des sulfates du sol ou de l'eau, ainsi que dans les ouvrages dans lesquels le béton n'est pas affecté par le taux de chaleur d'hydratation du ciment.

Les principales applications de ce ciment sont :

- Secteur habitat (logements et d'autres constructions civiles) :
- Secteur travaux publics (tunnels, ponts, port, aéroport .ect) :
- Secteur hydraulique (barrages, châteaux d'eau, stations d'épuration, stations de désallement,..ect) ;
- Secteur industriel.

Algerian Cement Company (SPA)
33, Rue des Pins. Hydra. Alger, Algérie
Tél.: +213 (0) 21 48 16 65
Fax : +213 (0) 21 48 16 71

Fiche technique du MEDAFLOW 30

MEDAFLOW 30

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

Super plastifiant

Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

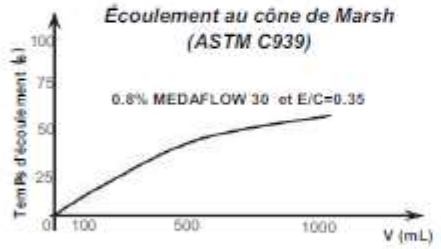
Le **MEDAFLOW 30** est un super plastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération. Il est conçu à base de polycarboxylates d'Ether qui améliorent considérablement les propriétés des bétons.
Le **MEDAFLOW 30** permet d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.
En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer la teneur en eau du béton d'une façon remarquable.
Le **MEDAFLOW 30** ne présente pas d'effet retardateur.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons auto - plaçants
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux.

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFLOW 30** permet :
Sur béton frais :
- Obtention d'un rapport E/C très faible
- Amélioration considérable de la fluidité
- Une très bonne maniabilité
- Éviter la ségrégation
- Faciliter la mise en œuvre du béton



Sur béton durci :
- Augmenter les résistances mécaniques à jeune âge et à long terme (voir tableau).
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait et le risque de fissuration

Désignation	Rc (MPa)		
	3J	7J	28J
MEDAFLOW 30 (1.4%)	39.2	54.7	62.2

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect ..... Liquide
- Couleur ..... Brun clair
- pH ..... 6 – 6,5
- Densité ..... 1,07 ± 0,01
- Teneur en chlore ..... < 0,1 g/l
- Extrait sec 30%

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAFLOW 30** est introduit dans l'eau de gâchage.
Il est recommandé d'ajouter l'adjuvant dans le béton après que 50 à 70% de l'eau de gâchage ait déjà été introduite.

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :
0,5 à 2,0 % du poids de ciment soit 0,46 à 1,85 litre pour 100 Kg de ciment.

Le dosage optimal doit être déterminé sur chantier en fonction du type de béton et des effets recherchés.

Les renseignements donnés dans cette notice sont basés sur notre connaissance et notre expérience à ce jour. Il est recommandé de procéder à des essais de convenance pour déterminer la fourchette d'utilisation tenant compte des conditions réelles de chantier.

Zone industrielle Oued Smar – BP85 Oued Smar – 16270 Alger
Tél : (213) 021 51 66 81 & 82

Essai sur le sable

- **Masse volumique absolue**

Pour la déterminer de la masse volumique absolue des sables utilisé, les étapes Suffisantes sont à suivre :

-On pesé une masse des sables

- On met une quantité d'eau dans un récipient gradue et on note la valeur lit

- On met la masse des sables mesurée dans le récipient puis on relit la valeur



Protocole de l'essai de La masse volumique absolue pour les sables utilisé

- **Masse volumique apparent**

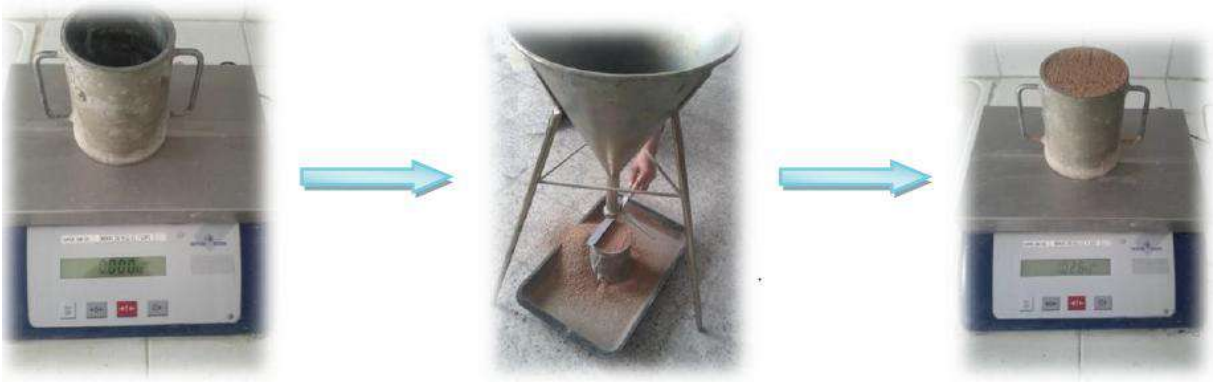
Pour la déterminer de la masse volumique apparente de sable utilisé, les étapes suffisantes sont à suivre :

- mettre un échantillon de sable dans l'entonnoir

- verser le sable dans la mesure en ouvrant l'entonnoir jusqu' a ce qu'il déborde formant un cône

- araser à l'aide d'une règle

- peser le contenu soit M (en kg).



Protocole de l'essai de La masse volumique apparent pour les les sables utilisé

PROGRAMME DE CALCULE LES FORMILATIONS

Formulation de MAP :

Feuille Excel donnant composition et résultats des essais sur mortier

Essais sur Mortier — Entrer data dans cellules en rouge

Valeurs calculées dans cellules en noir

Référence du mélange	Essai N°	CEM II42,5	Date	15/02/2020
		0 % de Mg		
		0 % de Poudre de marbre		
volume de mortier (litres)		1000,00		
sable/mortier vol		0,40		
E/P par vol.	1,24	poudre vol l	26,786	Eau volume 33,214

composition Poudre(vol %)	type
ciment portland	100
Mg	0
Poudre de Marbre	0

superplast – MEDAFLOW30	0,7	% (Sp/P)
Densité relative de la poudre	3,1	

teneur en eau du sable

	humidité (%ab)		absorption	correction (%)
poids humide (g)	200	0,00	0,79	-0,79
poids sec (g)	200			

Materiaux	Volume litres	Densité kg/m³	Masse kg	Contenance d'eau %	Contenance d'eau kg	poids mélange kg			
poudre	267,857	3100	830,357			**830,357**			
Ciment	267,857	3100	830,357			**830,357**			
Mg	0,000	2350	0,000			**0,000**			
Poudre de marbre	0,000	2700	0,000			**0,000**			
Eau	332,143	1000	332,1			**336,46**	W1	235,523	70% W
							W2	100,938	30% W
superplastifiant MEDAFLOW 30		1070	5,81	70	4,069	**5,813**			
Sable	400,000	2654	1061,600	-0,79	-8,387	**1061,600**			
Total	*******					2234,230			

E/P poids = 0,400

100%C					
Volume	1,3	**poids mélange** g			
poudre		**1079,464**			T
Ciment	0,348	**1079,46**			
Mg	0,000	**0,00**			
Poudre de	0,000	**0,00**			
Eau	0,432	**437,40**	W1	306,2	
	E théorique	431,79	W2	131,2	
superplastifiant MEDAFLOW 30		**7,56**			
Sable	0,5200	**1380,1**			
Total	1,3000	2904,5			

Formulation de BAP :

Inputs

Constituants	Densités relatives	Coefficients d'absoptions	Teneur en eau	Poids humide	Poids sec
Sable	2,65	0,5	0,00	200	200
Gravier 8/15	2,58	2,5	0,00	200	200
Gravier 3/8	2,55	2,3	0,00	200	200
Ciment	3,1	/	/	/	/
Ajout 1: bentonite	2,44	/	/	/	/
Ajout 2 : poudre de marbre	2,6	/	/	/	/
Ajout 3 : X	2,75	/	/	/	/
Ajout 4 : Y	2,8	/	/	/	/
Ajout 5 : Z	2,65	/	/	/	/
Superplastifiant	1,07	/	70	/	/

Pourcentage de l'air (%)	1
Compacité du gravier	50
S/M	0,45
SP/P	0,35

Composition de la poudre	
Ciment Portland	100
Ajout 1: bentonite	0
Ajout 2: poudre de marbre	0
Ajout 3: X	0
Ajout 4: Y	0
Ajout 5: Z	0

E/P volume	1,239

Outputs

		V(l)	30,00		
Constituants	Poids en Kg pour 1m³	Poids en g pour un volume donné			
Sable	792,96	23788,7			
Gravier 8/15	539,50	16185,0			
Gravier 3/8	270,30	8109,1			
Ciment	462,64	13879,3			
Ajout 1: bentonite	0,00	0,0	70% d'eau en g	4326,3	
Ajout 2 : poudre de marbre	0,00	0,0	30% d'eau en g	1854,1	
Ajout 3 : X	0,00	0,0			
Ajout 4 : Y	0,00	0,0			
Ajout 5 : Z	0,00	0,0			
Eau	206,01	6180,4			
Superplastifiant	4,40	131,9			