République Algérienne Démocratique et Populaire

Ministère De L'enseignement Supérieur et De La Recherche Scientifique

Université Dr YAHIA FARES de MEDEA



Faculté des Sciences et de la Technologie

Département de Génie de la Matière

Filière Génie Civil

Mémoire de Fin d'Etudes pour l'obtention du diplôme de

Mastère « LMD » en **Génie Civil**

Option : Construction et Matériaux

THÈME

Renforcement du béton ordinaire Par un béton autoplacant fibré

Réalisé par :

- **M. OULD KHAOUA Younes**
- **M. ALOUAOUI Djamal eddine**

Encadré par :

- **Pr. DEBIEB F.**

Co-encadré par :

- **M. Irki I.**
- **M. ZEMIR I.**

Mai 2016

REMERCIEMENTS

Le présent travail

A été réalisé au sein du laboratoire du béton

De Hall de Technologie de Médéa.

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

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

On adresse nos remerciements à notre promoteur le professeur

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

On remercie également Mr. IRKI Ilyes, à la fois présent et disponible,

Nos sincères remerciements pour sa patience,

Sa disponibilité et surtout ses judicieux conseils.

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

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

On voudrait remercier nos familles

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

Finalement, merci pour toutes personnes qui

Nous ont aidées de près ou de loin.

Younes
&
Djamal

DEDICACE

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

Je dédiée ce modeste travail :

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

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

A toutes mes chères sœurs.

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

OULDKHAOUA MUSTAPHA, ACHORI MOHAMED,

BENCHOHRA RIAD, Abed rahim halilali BENKHLIFA Abdelhafed,

A mes chères amis : BILEL, OTHMEN, RABAHI, HAMZA, BRAHIME, Walide awsm, Walid Kc et BENRKIA… et tous mes amis sans exception qui j'ai passée des bonnes moments avec-ils.

A mon chère ami et mon binôme : DJAMEL

A Toute ma promotion.

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

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

Younes

DEDICACE

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

Je dédiée ce modeste travail :

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

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

A toutes mes chères sœurs.

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

Amine hmidia, Hichem lahouazi,Lyes , Abed rahim halilali mouslim,

A mes chèrs amis : BILEL, OTHMEN, RABAHI, HAMZA, BRAHIME, Walide awsm, Walid Kc et BENRKIA… et tous mes amis sans exception qui j'ai passée des bonnes moments avec-ils.

A mon chère ami et mon binôme : younes

A Toute ma promotion.

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

Toutes ces personnes que j'ai senties redoutable de leur dédier ce

Djamel

RESUME

La présente étude, s'intéresse au renforcement du béton ordinaire (BO) par du béton autoplaçant fibré de copeaux métalliques (BAPF).Trois types de fibres métalliques ont été utilisées avec différents fractions volumétriques de 0.3% à 0 .8%. L'étude expérimentale a été menée sur deux volets afin d'analyser l'effet des fibres métalliques sur le béton autoplaçant ainsi que l'effet du renforcement du béton ordinaire par le béton autoplaçant fibré. Les résultats montrent que les fibres métalliques contribuent à l'amélioration des propriétés mécaniques des deux bétons en compression (+7% pour BAP et +70% pour Béton renforcé) et en traction (+67% pour BAP et +178% pour Béton renforcé) ainsi que la réduction du retrait. Pour le BTP, une fraction volumétrique de 0.5% de fibres métalliques de 50 mm de longueur est recommandée pour le renforcement optimal du BO par le BAP fibré.

Mot clé :

Béton ordinaire - béton autoplaçant fibré - fractions volumétriques - compression - traction

ABSTRACT

The present study focuses on the reinforcement of the ordinary concrete (OC) by a steel fiber reinforced self-compacting concrete (RSCC).Three types of steel fiber have been used with different volumetric fraction of 0.3% to 0.8%.The experimental study was conducted in order to analyze the effect of steel fiber inclusion on the behavior of RSCC and the reinforced OC by RSCC. The results show that the inclusion of steel fiber help to improve the mechanical properties of both concrete in compression (+7% for RSCC and 70% for ROC) and tension (+67% for RSCC and 178% for ROC) and the reduction of shrinkage. For user of BTP domain, a volumetric fraction of 0.5% of steel fibers with 50 of length is recommended for the optimal reinforcement of OC by a RSCC.

Key word:

ordinary concrete - reinforced self-compacting concrete - volumetric fraction - compression – tension

ملخص

تهتم الدراسة الحالية على تقوية الخرسانة العادية من خلال الخرسانة المرصوصة ذاتية التسوية "خ م ذ ت" ، فقد استخدمت لذلك ثلاثة أنواع من ألياف المعدنية مختلفة في الأجزاء الحجمية من 0.3 % إلى 0,8 %. لهذا الصدد أجريت الدراسة التجريبية على عنصرين لتحليل تأثير الألياف المعدنية على الخرسانة المرصوصة ذاتيا و على تقوية الخرسانة الضعيفة من خلال خرسانة المرصوصة ذاتية التسوية المليفة. بينت هده النتائج أن الألياف المعدنية تساعد على تحسين الخصائص الميكانيكية للخرساوات المستعملة بالنسبة للضغط (+7 % بالنسبة لخرسانة مرصوصة ذاتية التسوية و + 70 % بالنسبة للخرسانة المدعمة) أما فيما يخص للشد (+67 % خرسانة المرصوصة ذاتية التسوية بالنسبة و + 178 % "خرسانة مدعمة ") و كذلك أيضا الحد من الانسحاب. فيما يتعلق بـ : خ م ذ ت فإنه يحبذ الجزء الحجمي 0.5 % من الألياف المعدنية 50 ملم في الطول بغية التعزيز الأمثل للخرسانة العادية بواسطة خرسانة المرصوصة ذاتية التسوية و المليفة .

الكلمات الجوهرية :

الخرسانة العادية ؛ الخرسانة المرصوصة ذاتية التسوية ؛ الأجزاء الحجمية ؛ الضغط ؛ الشد

TABLE DES MATIERES

Résumé
Remerciements & Dédicace
Table des matières
Liste des figures
Liste des figures tableaux
Liste des symboles et des abréviations

INTRODUCTION GENERALE 1-3

REVUE BIBLIOGRAPHIQUE

CHAPITRE I

Processus des réparations des ouvrages dégradés en béton armé

I.1. INTRODUCTION 06
I.2. PATHOLOGIE DE BÉTON 06
I.2.1. Dégradation De Béton 06
I.2.2. Origine de Dégradation Du Béton 07
I.2.2.1. Mécanique 07
A. Abrasion / Erosion 07
B. Chocs 07
C. Surcharge 08
D. Le feu 08
E. Cycle gel/ dégel 08
I.2.2.2. Chimique 08
A. La carbonatation 08
B. Réaction d'alcalis-granulats 09
C. Réactions sulfatiques 09
D. La corrosion des armatures 09
I.2.2.3. Symptômes et manifestations de dégradation 10
A. Les fissures 10

B. Les épaufrures 10
C. L'écaillage 10
I.3. REPARATION DES OUVRAGES 12
I.3.1. Adhérence entre les deux matériaux 14
I.3.2. Réparation Par Béton Fibré 17
I.3.3. Procédé De Réparation 20
I.3.3.1. Démolition du béton détérioré 20
I.3.3.2. Préparation de la surface 20
I.3.4. Caractéristique Des Réparations 21
I.3.4.1. Essais pour caractériser des réparations 21
I.3.4.2. Mesure des déformations d'une poutre réparée sans chargement externe 21
I.3.4.3. Mesure de la rugosité 22
I.3.4.4. Essai d'adhérence 22
I.3.4.5. Essai de flexion statique et cyclique 23
I.4. CONCLUSION 24

CHAPITRE II
Béton Autoplaçant

II.1.INTRODUCTION 26
II.2.AVANTAGE DES BÉTON AUTOPLAÇANT 27
II.2.1.Avantages techniques 27
II.2.2.Avantages socio-économiques 27
II.3.CONSTITUANT D'UN BAP 28
II.3.1.Ciment 29
II.3.2.Granulats 30
II.3.3.Additions minérales 30
II.3.4.Adjuvants 31
II.3.4.1.Les Superplastifiants 32
II.3.4.2.Lesagents de viscosité 34
II.3.5.Eau 36
II.4.CARACTERISATION D'UN BAP 37
II.4.1.Etat Frais 37
II.4.1.1.Capacité au remplissage 38

II.4.1.2. Capacité de passage 38
II.4.1.3. Résistance à la ségrégation 39
II.4.1.4. Rhéologie des BAP 39
II.4.2.Essais sur béton frais 39
II.4.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow) 40
II.4.2.2. Essai de la couronne J (J-Ring) 41
II.4.2.3. Essai d'entonnoir (V-Funnel) 42
II.4.2.4. Essai de la boite en L (L-Box) 43
II.4.2.5. Essai de la boite en U (U-Box) 44
II.4.2.6. Essai de stabilité au tamis 44
II.4.3.Etat Durci 45
II.4.3.1. Résistance à la compression 46
II.4.3.2. Resistance à la traction par flexion 47
II.4.3.3. Module de Déformation Longitudinal 47
II.4.3.4. Le retrait 48
A. Le Retrait Thermique (plastique) 49
B. Le Retrait Endogène ou d'Autodessiccation 49
C. Le Retrait de Séchage ou de Dessiccation 50
D. Fluage 50
II.5.FORMULATIONS ET COMPOSITIONS DES BAP 50
II.5.1.Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon) 51
II.5.2.Formulation LCPC (France) 53
II.5.3.Formulation CBI modifiée 54
II.5.4.Formulation JSCE 54
II.6.CONCLUSION 55

CHAPITRE III
Béton de fibres

III.1. INTRODUCTION 57
III.2. RÔLES DE FIBRES 57
III.3. FACTEUR INFLUANT SUR LE COMPORETEMENT D'UN BÉTON RENFORCÉ DE FIBRES 58
III.4.DIFFERENTS TYPES DE FIBRES UTILISEES 59

III.4.1.Les fibres métalliques 59
III.4.2. Les fibres minérales 60
III.4.2.1. Les fibres de verre 60
III.4.2.2. Les fibres de carbone 61
III.4.3. Les fibres organiques 62
III.4.3.1. Les fibres d'Aramide 62
III.4.3.2. Les fibres de polypropylène 63
III.4.4. Les fibres végétales 64
III.4.4.1. Classification des fibres végétales 65
A. Les Fibres de Feuilles 65
B. Les Fibres de Tiges 65
C. Les Fibres de Bois 66
D. Les Fibres de Surface 66
III.4.5. Les fibres animales 66
III.5. PROPRIETES MECANIQUES DE BETON DE FIBRE 66
III.5.1. Résistance à la compression 66
III.5.2. Resistance a la traction par flexion 67
III.5.3. Résistance au choc 67
III.5.4. Résistance à l'usure 67
III.5.5. Résistance aux agents extérieurs 67
III.5.6. Module de Young 68
III.5.7. Ténacité de la matrice 68
III.6. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES FIBRES 70
III.7. BETONS AUTOPLAÇANTS FIBRÉS 70
III.7.1. Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais 71
III.7.1.1. Effet sur l'étalement 71
III.7.1.2. Essai de V-Funnel 72
III.7.1.3. Essai J-Ring 73
III.7.1.4. Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique) 73
III.7.2. Orientation et distribution des fibres 73
III.7.3. Utilisation des BAP fibres dans les structures 74
III.7.3.1. Palplanches 74
III.7.3.2. Voussoirs 75

III.7.4. Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés 75
III.7.4.2. Comportement à la flexion 75
III.7.4.2. Comportement à la compression et à la traction 77
III.8. CONCLUSION 77

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV
Matériaux et Essais

IV.1. INTRODUCTION 80
IV.1.1. Essais sur béton frais 81
IV.1.2. Essais sur béton durci 81
IV.2. VARIABLE ET ETUDE 82
IV.2.1. Béton ordinaire (cas de chantiers) 82
IV.2.2. Béton Autoplaçant Fibré (béton de réparation) 82
IV.3. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS 82
IV.3.1. Ciment 82
IV.3.2. Granulat 83
IV.3.3. Superplastifiant 85
IV.3.4. Eau de gâchage 86
IV.3.5. Fibres métalliques 86
IV.4. LA FORMULATION DU BÉTON 87
IV.4.1. Béton Ordinaire 87
IV.4.2. Béton Autoplaçant 88
IV.5. TECHNIQUES EXPENTALES 91
IV.5.1. Séquence de malaxage du béton 91
IV.5.2. Essais sur béton frais 92
IV.5.2.1. L'ouvrabilité 92
IV.5.2.2. Essais d'étalement et T50 93
A. Matériel nécessaire 93
B. Mode opératoire 93
IV.5.2.3. Essai d'entonnoir en V (V-Funnel) 94
A. Matériel nécessaire 94

B. Mode opératoire 94
IV.5.2.4. Essai de stabilité au tamis 95
A. Matériel nécessaire 95
B. Mode opératoire 95
IV.5.2.5. Essai de La Boîte En L (L-Box) 96
IV.5.3. Essais sur Béton durci 97
IV.5.3.1. Résistance à la compression 97
IV.5.3.2. Résistance à la traction par flexion 99
A. Résistance à 3 point 99
B. Résistance à 4 point 100
IV.5.3.3. Retrait et gonflement 100
A. Mesure des variations de longueur 101
B. Mesure des variations de masse 102
C. Expression des résultats 102
D. Conduite de l'essai 102
IV.5.3.4. Absorption d'eau par capillarité 104
IV.5.3.5. Le module d'élasticité 104
A. Installation de l'étrier 104
B. Mode opératoire d'un essai 105
IV.6. PROCEDURE DE REPARATION 106
IV.6.1. Préparation Des Surfaces 106
IV.6.2. Techniques De Réparation 107
IV.7. CONSERVATION DES EPROUVETTES 108
IV.7.1. Conservation sou l'eau 108
IV.7.2. Conservation à l'air libre 108
IV.8. CONCLUSION 109

CHAPITRE V
Analyses et Interprétations

V.1. INTRODUCTION 111
V.2. ESSAIS SUR UN BÉTON FRAIS 111
V.2.1. Effet des fibres Métalliques sur la valeur de T50 et l'étalement 112
V.2.2. Effet des fibres sur Le temps d'écoulement à travers le V-funnel 114

V.2.3. Capacité de Remplissage à travers le L –Box 115
V.2.4. Stabilité au tamis 117
V.3. ESSAIS SUR BETON DURCI 118
V.3.1. Résistances mécaniques 118
V.3.2. Résistance à la compression 119
V.3.2.1. Effet des fibres Métalliques sur La résistance à la compression des bétons autoplaçant 119
V.3.2.2. Effet des fibres sur la résistance à la compression des bétons réparés 119
V.3.3. Résistance à la traction 121
V.3.3.1. Effet des fibres Métalliques sur La résistance à la traction des bétons autoplaçant 121
V.3.3.2. Effet des fibres sur la résistance à la traction des bétons réparés: 121
V.3.4. Module d'élasticité 123
V.3.5. L'absorption d'eau 125
V.3.6. Variation dimensionnelle 127
V.3.6.1. Retrait 127
V.3.6.2. Gonflement 130
V.4. CONCLUSION 131

CONCLUSION GENERALE ET RECOMMANDATION 133

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES 136

ANNEXES 148

LISTE DES FIGURES

CHAPITRE I
Processus des réparations des ouvrages dégradés en béton armé

Figure I.1	Intrados Des Ponts Dégradés	7
Figure I.2	Barrières De Retenue Dégradée	7
Figure I.3	Stratégie d'intervention à réparer Stratégie d'intervention à réparer	13
Figure I.4	Les Trois Principales Étapes D'une Bonne Réparation	13
Figure I.5	Types De Dégradation	15
Figure I.6	Fissuration de réparations avec et sans renforcement	16
Figure I.7	Facteurs influençant la compatibilité d'un matériau de réparation	18
Figure I.8	Influence de la rigidité relative sur la répartition des contraintes	19
Figure I.9	Méthodologie des essais de traction Avec et sans claquage thermique	23
Figure I.10	Type de chargement	24

CHAPITRE II
Béton Autoplaçant

Figure II.1	Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP. Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP	28
Figure II.2	Exemples de motifs (R représente H ou un groupe alkyle)	33
Figure II.03	Essai d'étalement (Slump flow)	40
Figure II.04	Essai J-Ring	41
Figure II.05	Essai d'entonnoir (V- Funnel)	42
Figure II.06	Essai de la boite en L (L-Box)	43
Figure II.07	Essai du tube en U (U-Box)	44
Figure II.08	Essai de stabilité au tamis	45
Figure II.09	Evolution de la résistance mécanique d'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)	46
Figure II.10	Phénomène de ressuage	48
Figure II.11	Retrait plastique de BAP et de béton vibré de structure(T=20°C, 50% HR)	49

CHAPITRE III
Béton de fibres

Figure III.1	Illustration de l'apport du renfort par des fibres	58
Figure III.2	Différents Facteurs Influant sur Le Comportement Mécanique D'un Béton Renforcé De Fibres	59
Figure III.3	Quelques formes de fibres d'acier	60
Figure III.4	Fibres de verres	60
Figure III.5	Fibres de carbones	61
Figure III.6	Fibres d'Aramide hachées et en files	62
Figure III.7	Fibres de polypropylène	63
Figure II1.8	Fibres végétales	64
Figure II1.9	Indices de ténacité du diagramme Charge-déflexion en flexion	69
Figure III.10	Indices de ténacité I30 des bétons renforcés de fibres de polypropylène	70
Figure III.11	Effet des fibres sur l'étalement des BAP	72
Figure III.12	Deux types de palplanche	74
Figure III.13	Exemple d'un voussoir	75
Figure III.14	Courbe effort-flèche pour différentes compositions	76

CHAPITRE IV
Matériaux et Essais

Figure IV.1	Type de ciment utilisé	82
Figure IV.2	Analyse granulométrique des sables	84
Figure IV.3	Analyse granulométrique des graviers	85
Figure IV.4	Type de superplastifiant utilisé « MEDAFLOW 145 »	85
Figure IV.5	Différentes formes de fibres utilisées	86
Figure IV.6	Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré	92
Figure IV.7	Essai d'affaissement au cône d'Abrams	92
Figure IV.8	Protocole de l'essai d'étalement	94
Figure IV.9	Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel)	95
Figure IV.10	Protocole de l'essai de stabilité au tamis.	96
Figure IV.11	Protocole de l'essai de la boîte de L-Box	97

Figure IV.12	Presse hydraulique (2000 KN)	98
Figure IV.13	Protocole de l'essai de compression	98
Figure IV.14	Essai de traction par flexion	99
Figure IV.15	Essai de traction par flexion	100
Figure IV.16	Le réctractomètre	101
Figure IV.17	Protocole de l'essai retrait	103
Figure IV.18	Absorption d'eau par succion capillaire	104
Figure IV.19	Essai du module d'élasticité	106
Figure IV.20	Surfaces préparés	106
Figure IV.21	Schématisation de technique de réparation	107
Figure IV.22	Protocole de Techniques de réparation	107
Figure IV.23	Conservation d'éprouvettes sou l'eau	108
Figure IV.24	Conservation d'éprouvettes à l'air libre	108

CHAPITRE V
Analyses et Interprétations

Figure V. 1	L'étalement en fonction de facteur de fibre	113
Figure V. 2	T_{50} en fonction de facteur de fibre	113
Figure V. 3	L'étalement des BAP fibrés homogène et contracté	114
Figure V.4	T (V-funnel) en fonction de facteur de fibre	115
Figure V. 5	H_2/H_1 en fonction du facteur fibres	116
Figure V. 6	Cas de blocage	116
Figure V. 7	Stabilité au tamis en fonction de facteur de fibre	117
Figure V. 8	La résistance à la compression	120
Figure V. 9	La résistance à la compression	120
Figure V. 10	La résistance à la traction	122
Figure V. 11	La résistance à la traction	123
Figure V. 12	Module d'élasticité en fonction de facteur de fibre	124
Figure V. 13	Résistance en compression en fonction module d'élasticité	124
Figure V. 14	Influence de la rigidité relative sur la répartition des contraintes	125
Figure V. 15	Absorption d'eau en fonction de racine du temps $BAPF_1$ 50 mm	126
Figure V. 16	Absorption d'eau en fonction de racine du temps $BAPF_2$ 50 mm	126
Figure V. 17	Absorption d'eau en fonction de racine du temps $BAPF_3$ 25 mm	127

Table des Figures

Figure V. 18	Absorption d'eau des déférents types des bétons autoplaçant Après 24h	127
Figure V. 19	Retrait en fonction de l'âge du $BAPF_1$ 50 mm	128
Figure V. 20	Retrait en fonction de l'âge du $BAPF_2$ 50 mm	129
Figure V. 21	Retrait en fonction de l'âge du $BAPF_3$ 25 mm	129
Figure V. 22	Gonflement en fonction de l'âge du $BAPF_1$ 50 mm	130
Figure V. 23	Gonflement en fonction de l'âge du $BAPF_2$ 50 mm	131
Figure V. 24	Gonflement en fonction de l'âge du $BAPF_3$ 25 mm	131

LISTE DES TABLEAUX

CHAPITRE I
Processus des réparations des ouvrages dégradés en béton armé

Tableau I.1 Principaux Symptômes De La Dégradation Du Béton **11**

CHAPITRE II
Béton Autoplaçant

Tableau II.1 Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage **38**

Tableau II.2 Critères de stabilité **45**

CHAPITRE IV
Matériaux et Essais

Tableau IV.1 Types de béton réalisé 80

Tableau IV.2 L'analyse chimique du ciment et composition du clinker 83

Tableau IV.3 Propriétés physiques d'identification des sables utilisés 83

Tableau IV.4 Propriétés physiques d'identification des graviers utilisés 84

Tableau IV.5 Les caractéristiques des fibres utilisées 87

Tableau IV.6 Les caractéristiques des granulats 87

Tableau IV.7 Composition de béton pour $1m^3$ 88

Tableau IV.8 Composition de béton pour $1m^3$ 88

Tableau IV.9 Compositions des différents BAPFM étudiés dans 1 m3 du béton. 90

CHAPITRE IV
Analyses et Interprétations

Tableau V. 1 Caractéristiques à l'état frais..... 111

Tableau V. 2 Caractéristiques à l'état durcis 118

LISTE DES ABREVIATIONS

BAP : bétons autoplaçants

BAPF : bétons autoplaçants fibrés

BOF : bétons ordinaires fibrés

BO : bétons ordinaires

BF : bétons de fibres

BRF : béton renforcé de fibres

BFM : bétons de fibres métalliques

FS : fibre synthétiques

FM : fibres métalliques

K : clinker

S : laitier de haut fourneau

Z : pouzzolane naturelle

V : cendres volantes siliceuses

W : cendres volantes calciques

D : fumée de silice

L : calcaire

T : schistes calcinés

E/C : le rapport eau sur ciment

E/F : le rapport eau sur fines

L/D : le rapport longueur sur diamètre

S/G : le rapport sable sur granulats

BAPT : BETON AUTOPLAÇANT TEMOIN SANS FIBRES.

Liste Des Abréviations

BAPFMI 1 : BETON AUTOPLAÇANT DE FIBRES METALLIQUES INDUSTRIELLES MEDAFAC

BAPFMI 2 : BETON AUTOPLAÇANT DE FIBRES METALLIQUES INDUSTRIELLES FIBRETAKA

BAPFMI 3 : BETON AUTOPLAÇANT DE FIBRES METALLIQUES INDUSTRIELLES RC-80/50.

BOR : BETON ORDINAIRES REPARE.

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

La seconde moitié du vingtième siècle est marquée par une intense activité de construction d'infrastructures en béton et par un développement sans cesse croissant du parc immobilier. Ces ouvrages ont une durée de vie limitée, plusieurs d'entre aux nécessitent aujourd'hui des réparations, d'entretien, ou des reconstructions partielles, à cause des différentes dégradations signalées, d'où la nature et l'origine des défauts sont multiples. Ainsi le domaine des réparations en béton connaît, depuis une dizaine d'années, un essor important dans le secteur du bâtiment et des travaux publics.

Deux types de réparations peuvent être exécutés: une reconstruction partielle ou une réparation mince. Dans le premier cas, l'état de la structure est tel que ses capacités sont réduites et elle n'est plus sécuritaire. La reconstruction partielle peut exiger l'utilisation d'étaiements afin de pouvoir enlever le béton de façon sécuritaire et des barres d'armatures sont ajoutées dans la partie reconstruite.

Dans le second cas, la réfection se limite à enlever le béton détérioré sur une profondeur de quelques millimètres, soit inférieur à100mm d'épaisseur, et à le remplacer par un nouveau béton, avec ou sans ajout d'armature, afin de retrouver l'aspect esthétique et structurale de la structure d'origine **[1]**.

La réparation d'un élément en béton fait généralement intervenir deux matériaux très différents. La mise en place d'un béton jeune sur un support de béton plus ancien provoque différents types de problèmes, tant physico-chimiques que mécaniques, liés à la compatibilité au sens large des deux matériaux en contact.

La compatibilité déformationnelle n'étant jamais parfaitement assurée, notamment en ce qui concerne les variations volumiques, la capacité d'adaptation du matériau sera un paramètre important pour la durabilité de la réparation Plusieurs études récentes ont montré que le retrait de séchage a un effet préjudiciable pour les réparations.

Dans nos chantiers ; plusieurs entreprise néglige les compositions des bétons fournit par les laboratoires concernées, à savoir le lavage des granulats ; l'utilisation d'un rapport E/C élevé pour obtenir un béton maniable……etc.

Ces défauts de gâchage mènent à des résistances faibles par rapport à celle recommandé par le règlement parasismique algérien RPA99 version 2003 **[2]**, qui est égale à 20 MPa. Dans le but de renforcer ce béton on a pensé à utiliser un béton autoplaçant fibré comme un matériau de réparation,

On a découvert que le béton autoplaçant désigne des bétons très fluides, homogènes et stables, mis en place sans vibrations. Leur compaction s'effectue par le seul effet gravitaire et ils confèrent à la structure une qualité au moins équivalente à celle correspondant aux bétons classiques mis en œuvre par vibration d'où le qualificatif d'autoplaçant.

Trois types de fibre sont introduits dans le béton autoplaçant avec différente fraction volumique pour étudier l'effet de ces derniers sur les caractéristiques rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçant.

Outre l'introduction générale, le présent mémoire s'articule en deux parties :

❖ La première partie, comporte trois chapitres, est consacrée à la recherche bibliographique.

➢ **Chapitre I** : donne une définition détaillée sur les dégradations (causes et origines), comment réparer, avoir une réparation durable, ensuite présenter les phénomènes agissant sur le comportement des réparations, d'où on présente une revue approfondie sur les recherches relatives aux réparations minces et la compatibilité dimensionnelle.

➢ **Chapitre II** : donne un aperçu général sur les principaux constituant du béton autoplaçant ; comment formuler un BAP ; les propriétés des BAP à l'état frais et l'état durcis.

➢ **Chapitre III** : donne une généralité sur le béton de fibre ; déférent type de fibre ; l'effet des fibres sure les propriétés mécaniques de béton et leur effet sur le comportement des BAP.

❖ La deuxième partie, contenant les deux chapitres IV et V, est consacrée à l'étude expérimentale.

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

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

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

PARTIE 1

REVUES *BIBLIOGRAPHIQUES*

Chapitre I :

Processus des réparations

Des ouvrages dégradés en béton armé

I.1. INTRODUCTION :

Nombreux d'ouvrages en béton armé nécessitent l'entretien, des réparations ou des reconstructions. La nature et l'origine des défauts sont multiples. Ainsi des erreurs peuvent être commises dès la conception ou la construction de l'ouvrage. D'autres dommages peuvent apparaître lors de chargement accidentel.

Sur les structures à réparer, on pourra alors relever un endommagement allant du défaut local (fissures, épaufrures...), à des délaminages importants et des attaques chimiques en profondeur. Dans notre étude, on s'intéresse à la réparation mince, ce terme fait référence au travail de réfection superficiel qui consiste à restaurer la surface d'un ouvrage en ajoutant une couche de béton non armée après en avoir dégagé la partie endommagée. L'épaisseur d'une réparation mince est inférieure à 100mm **[1]**.

I.2. PATHOLOGIE DE BÉTON :

I.2.1. Dégradation De Béton :

La plupart des structures de génie civil en service sont en béton. Le béton de ciment constitue certainement un des matériaux de construction Les plus durables, qui vieillissent généralement lentement et bien Parfois, il peut arriver que son vieillissement soit accéléré selon les conditions environnementales. La longévité du béton va alors dépendre des attaques d'ordre climatique, chimique ou mécanique. Elle est aussi fortement tributaire de la qualité de l'exécution et de la conception de l'ouvrage lors de la mise en œuvre. Ces ouvrages dégradés sont une durée de vie limitée et plusieurs d'entre eux nécessitent des réparations, voire une reconstruction partielle.

Le domaine des réparations en béton connaît, depuis une dizaine d'années, un essor important dans le secteur du bâtiment et des travaux publics. L'entretien et la réhabilitation des ouvrages ont pris une part grandissante dans le secteur de la construction.

La nature et l'origine des défauts sont multiples, l'identification des causes de dégradation est une des étapes les plus importantes dans le processus de réparation. Cette étape est aussi l'une des plus difficiles et délicates de tout le processus. En général, il est impossible d'évaluer la pertinence de réparer une structure ou de choisir les méthodes de réhabilitation sans avoir, au préalable, identifier la cause ou l'origine de la détérioration **[1]**.

I.2.2. Origine de Dégradation Du Béton :

Avant de commencer à citer les origines de dégradation du béton, on doit définir la dégradation, C'est quoi dégradation du béton ?

La dégradation du béton est sa perte de performance elle se manifeste par détérioration, déformation ou changement de ces propriétés. La fissure constitue le signe d'une première manifestation apparente de dégradation possible, comme elle peut prendre l'aspect des éclats ou couleurs de rouille **[3]**.

I.2.2.1. Mécanique :

A. Abrasion / Erosion :

Les phénomènes d'abrasion et d'érosion se rencontrent essentiellement dans des structures de génie civil en contact avec des circulations intenses d'eau comme les barrages (érosion des évacuateurs de crue) ou les galeries d'amenée d'eau, et dans les structures soumises a des charges mécaniques répétées comme les chaussés en béton **[3]**.

B. Chocs :

Les désordres de ce genre concernant beaucoup plus les ponts. Les chocs les plus fréquents sont ceux du poids lourds hors gabarit contre l'intrados des ponts (figure I.1) ; les chocs des bateaux ou d'objets flottants contre les piles en rivière, ainsi que les chocs de véhicules contre les barrières de retenue (figure I.2), ils peuvent créer des épaufrures, des éclats importants de béton, voir même des ruptures d'acier **[3]**.



Figure I.1 : Intrados Des Ponts Dégradés **Figure 1.2 :** Barrières De Retenue Dégradée

C. Surcharge :

Il s'agit d'ouvrages ayant supporté des charges trop importantes qui ont entraîné des fissurations et des éclatements du béton.

D. Le feu :

Les très fortes élévations de température lors d'un incendie par exemple, entraînent un éclatement du béton.

E. Cycle gel/ dégel :

Après un nombre important de cycles gel / dégel, certains bétons peuvent se déliter en surface et se désagréger. C'est le cas des ouvrages de montagne, des chambres froides **[4]**.

I.2.2.2. Chimique :

A. La carbonatation

La carbonatation est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. C'est l'ensemble des processus engagés par l'action du gaz carbonique sur les composés hydratés du ciment.

Le béton qui est presque toujours en contact avec l'air ambiant, est donc soumis à l'action du gaz carbonique (CO^2) car, l'air contient 0.03% en volume de ce gaz, et peut atteindre jusqu'au 0.10%, cette teneur en dioxyde dépend de la pression et de la température. Ce gaz ne réagit pas directement avec le béton, il doit d'abord se dissoudre dans l'eau pour se transformer en un acide faible de forme H_2CO^3.

La carbonatation a pour effet d'abaisser le pH (le pH d'un béton carbonaté est d'environ 9, d'où le béton sain a un pH d'environ 13 ce qui constitue un milieu protecteur pour les armatures en acier et permet la formation d'une couche d'oxydes passifs). A ces valeurs de pH, le film passif est détruit et la corrosion peut se développer **[3]-[5]**.

Une des conséquences principales de la carbonatation est de favoriser la corrosion des armatures, lorsque le front de carbonatation les atteint. Elle se traduit la plupart du temps par l'apparition d'épaufrures laissant apparaître des armatures oxydées.

B. Réaction d'alcalis–granulats :

Réaction qui se produit entre la solution interstitielle du béton, riche en alcalin, et certains granulats lorsqu'ils sont placés dans un environnement humide .Des gels gonflants apparaissent en développant des micro-faïençages et un éclatement du béton **[6]**.

C. Réactions sulfatiques :

Les sulfates proviennent essentiellement du milieu extérieur. Ces ions ne sont pas passifs vis-à-vis de la matrice cimentaire et conduisent à la formation de certains composés chimiques expansifs tels que :

L'éttringite, le gypse et la thaumasite. Ces composés provoquent le gonflement du béton créant en son sein des tensions qui engendrent des fissurations **[6]**.

D. La corrosion des armatures :

Les armatures sont généralement placées quelque de centimètres de la surface. Si les armatures entrent en contact avec l'air ou l'eau, différentes réactions chimiques se produisent au voisinage de ces armatures.

Le volume d'oxyde produit par la corrosion est, environ, huit fois celui du métal duquel il est issu, ce qui provoque des fissures et des épaufrures **[7]**.

Les dommages dus à la corrosion se manifestent par **[5]-[8]** :

- Des expansions qui conduisent à la formation des fissures qui provoquent éventuellement du couvert du béton ;
- Perte de l'adhérence des barres et la diminution de leur diamètre effectif, qui engendrent une perte de capacité en traction ;
- Un éclatement de béton, car la rouille résulte de la formation de produits fortement gonflants qui dépendent de l'état de l'oxydation dont le volume peut être jusqu'à six fois supérieures au volume initial ;
- Perte de section des barres d'acier.

I.2.2.3. Symptômes et manifestations de dégradation :

La pathologie des ouvrages en béton nous enseigne qu'il existe une multitude de symptômes de dégradation de béton. Les quatre symptômes principaux sont **[5]** :

A. Les fissures :

Ce sont des ouvertures linéaires au tracé régulier dont la largeur est comprise entre 0.2 et 2 mm. Une fissure est une rupture entre deux parties du matériau qui ne sont plus liées et qui deviennent séparable.

La nature des fissures varie en fonction des causes qui leur ont donné naissance, on distingue deux types de fissures **[7]** :

- **Fissures mortes** :

Ce sont les fissures qui n'évoluent pas et tendent à se stabiliser dans le temps, elles sont généralement dues à un retrait au séchage ou un tassement localisé. Ces fissures ne présentent pas un grand danger pour la structure si elles restent inactives. Leur réparation est nécessaire si ces fissures constituent un problème pour l'étanchéité de l'ouvrage ou dans le cas où elles peuvent être le foyer d'autres types de fissures.

- **Fissures actives :**

Ces fissures représentent un danger pour la structure. Elles sont en évolution progressive (étendue et ouverture). La réparation de ces fissures est plus complexe, elle doit se faire à partir des causes qui leur ont donné lieu.

Ces deux types de fissures peuvent exister sous forme d'un réseau de fissures ou en fissures individuelles et isolées.

B. Les épaufrures :

Fragment de béton détaché de la masse de l'ouvrage.

C. L'écaillage :

Décollement de la couche de mortier laissant les granulats à nu et pouvant se poursuivre par un délitage de la surface sous forme d'écaille.

Le diagnostic doit donc, en premier lieu, identifier la ou les causes des dégradations ; mais il doit aussi évaluer l'étendue des désordres de façon à choisir la technique de réparation adéquate et de bien limiter les zones à réparer.

Le tableau (I.1) résume les différents symptômes de dégradation selon leurs causes. La connaissance de la nature physico chimique des réactions en cause dans les dégradations est primordiale.

Il faut en effet juger si ce sont des réactions de dégradation internes ou externes au béton, c'est-à-dire si la réaction affecte la masse entière du béton ou simplement sa peau.

Tableau I.1

Principaux Symptômes De La Dégradation Du Béton **[5]**

	Fissures	***Epaufrures***	***Ecaillage***	***<désagrégation***	***En activité ou en évolution***
Carbonatation					
Corrosion des armatures	**X**	**X**			**OUI**
Dégradation interne (alcali- réaction)	**X**				**OUI**
Attaque bactériologique	**X**			**X**	**OUI**
Attaque sulfatique (externe)	**X**		**X**	**X**	**OUI**
Retrait, tassement	**X**				**NON**
Gel- dégel	**X**		**X**	**X**	**OUI**
Chocs	**X**	**X**			**NON**
Abrasion, érosion				**X**	**OUI**
Défaut d'exécution	**X**	**X**			**NON**
Incendie	**X**		**X**	**X**	**NON**

I.3. REPARATION DES OUVRAGES :

La réparation d'un élément en béton fait généralement intervenir deux matériaux très différents. D'une part, il y a le substrat, qui date normalement de plusieurs années et qui est considéré stable du point de vue volumétrique. D'autre part, il y a le matériau d'apport ou de réparation qui subira d'importants changements volumétriques au cours de ses premières années d'exposition à l'air libre. Deux types de réparation peuvent être effectués: une reconstruction partielle ou une réparation mince.

Dans le premier cas, l'état de la structure est tel que ses capacités sont réduites et elle n'est plus sécuritaire. Une partie importante de béton, qui est détérioré, doit alors être enlevée. La reconstruction partielle peut exiger l'utilisation d'étaiements afin de pouvoir enlever le béton de façon sécuritaire et des barres d'armatures sont ajoutées dans la partie reconstruite. Dans le second cas, la réfection se limite à enlever le béton détérioré sur une profondeur de quelques millimètres, soit entre 25 et 100 mm, et à le remplacer par un nouveau béton, avec ou sans ajout d'armature, afin de retrouver l'aspect esthétique de la structure d'origine. **[9]**

La stratégie de réparation doit faire apparaître trois étapes principales indissociables (figure I. 3). Une analyse des causes de la détérioration précède nécessairement les suivantes. Il faut bien comprendre l'origine des dégradations afin d'éviter qu'elles ne réapparaissent une fois l'ouvrage réparé.

Le système de réparation peut alors être étudie : technique de mise en place, choix des matériaux, dimensionnement, ensuite la préparation de la zone à réparer doit être effectuée consciencieusement : suppression du béton endommagé avec un soin particulier aux bords de la réparation, nettoyage et protection si nécessaire des aciers de renforcement, ajout de barres d'armature si besoin, préparation de la surface du substrat et enfin application du produit de réparation. La (figure I.4) donne un rapide aperçu de ces trois principales étapes.

Lors de la conception de la réparation, il faut évaluer les sollicitations que l'élément réparé subira, mais aussi la couche de réparation. Ces sollicitations dépendront de la configuration de la réparation, ainsi que de sa fonction (protection de surface, transfert de charge...).

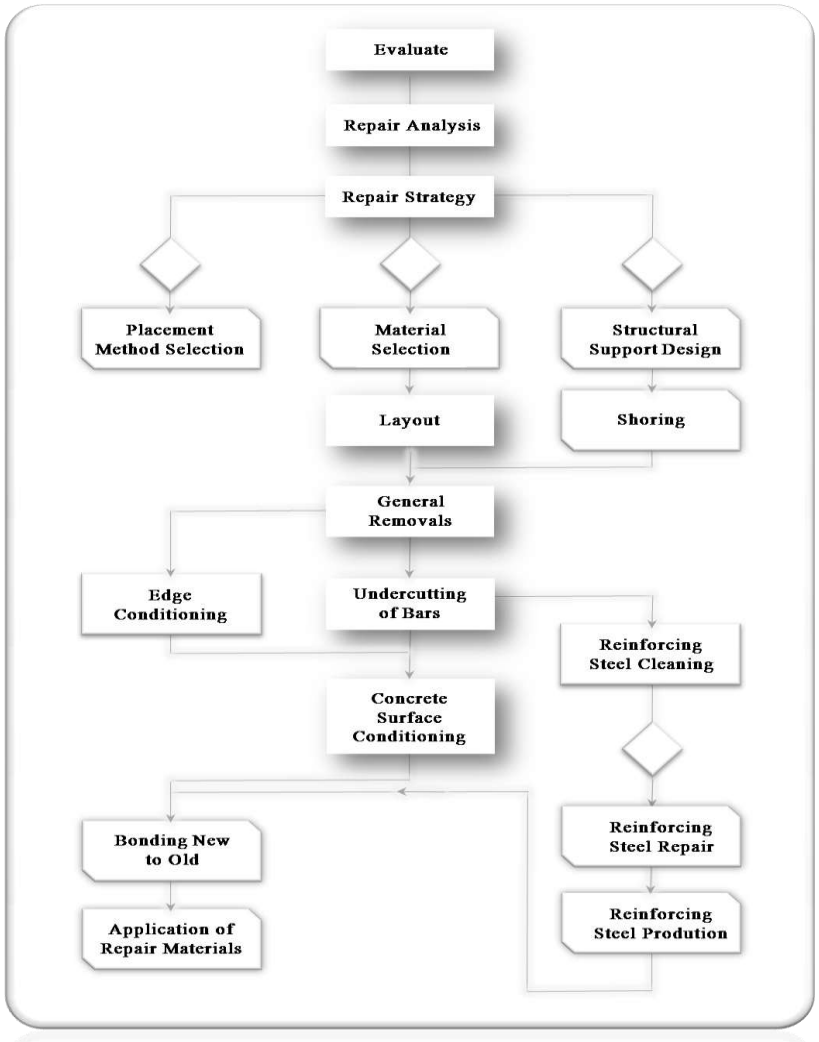


Figure I.3 : Stratégie d'intervention à réparer **[10]**

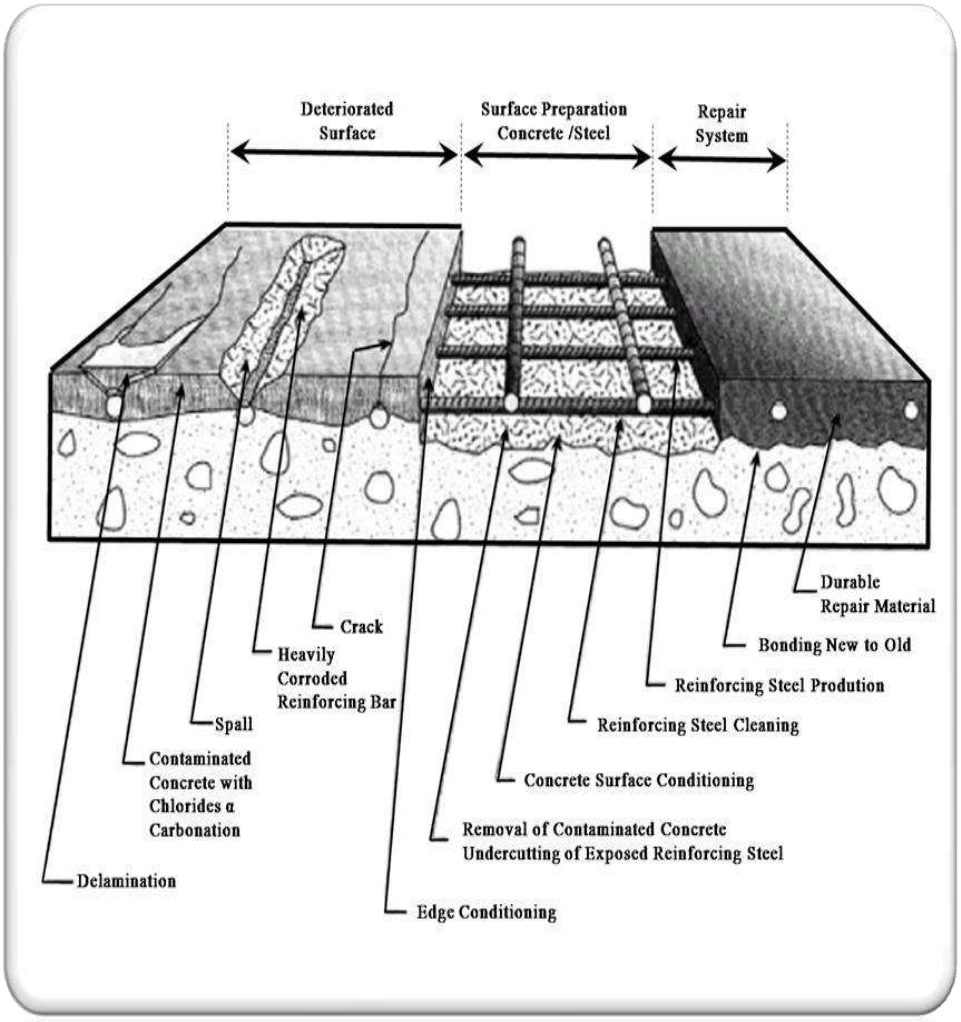


Figure I.4:Les Trois Principales Étapes D'une Bonne Réparation **[10]**

Après avoir identifié les causes de dégradation, on doit choisir la méthode et le matériau convenable pour réparer. Le choix du système de réparation (méthode et matériaux de réparation) à mettre en œuvre est défini en fonction de la nature et l'importance des désordres constatés en tenant compte des critères économiques des matériaux de construction. Des sujétions de chantier et des contraintes de site (condition d'exploitation d'ouvrages).

I.3.1. Adhérence entre les deux matériaux :

Comme il a été mentionné précédemment, le système de réparation est un modèle en trois phases : substrat, interface et réparation (voir figure I.4). L'adhérence entre les deux matériaux se situe au niveau de la zone de transition, endroit généralement plus poreux et, par conséquent, de résistance mécanique plus faible. Cette augmentation de la porosité au niveau de l'interface est explicable par un double effet, similaire à ce qui est observé à l'échelle du matériau entre la pâte et le granulat.

L'effet de paroi (wall effect) entre le support stable et la réparation fraîche amène la création de vides à l'interface puisque le tassement entre les particules de ciment ne se fait pas aussi bien près du support que dans un espace libre. De plus, l'hydratation est limitée au joint puisque les pores capillaires ne peuvent être comblés dans toutes les directions à cause du substrat {one-side dgrowth effect) **[11].** Ainsi, voyant l'interface comme une zone de faiblesse, plusieurs recherches ont été réalisées afin de mieux comprendre son influence sur la durabilité d'une réparation. **[11]**

Typiquement, deux types d'adhérence peuvent être différenciés : une adhérence mécanique et une adhérence spécifique. L'adhérence mécanique est liée à l'interpénétration des matériaux l'un dans l'autre ce qui offre un ancrage mécanique par butée du matériau de réparation sur le substrat. L'importance de cet ancrage est en lien avec la rugosité du matériau de base avant la mise en place du matériau de réparation, la porosité et l'humidité de la surface.

Concernant la rugosité, différentes techniques de réparation (marteau-piqueur, jet de sable, hydrodémolition) peuvent également influencer le niveau de rugosité de la surface avant réparation. L'adhérence spécifique par contre est plus complexe **[12]**. Elle est qualifiée de spécifique car elle dépend de la surface spécifique ou, plus particulièrement, de la surface effective (la somme des contacts individuels) entre les deux matériaux.

Ce type d'adhérence regroupe généralement trois volets soit les interactions moléculaires, l'aspect thermodynamique et les liaisons chimiques. Brièvement, l'aspect thermodynamique de l'adhésion traite de l'importance de l'attraction entre deux bétons à l'interface (adhésivité entre deux bétons).

Les liaisons intermoléculaires représentent des échanges au niveau atomique d'électrons (liaisons physiques faibles) contrairement aux liaisons chimiques qui impliquent des réactions avec une énergie de liaison beaucoup plus importante. L'étude de l'adhésion entre deux bétons est un phénomène complexe mais une compréhension des phénomènes enjeu est primordiale pour l'étude de la durabilité des réparations de béton.

La durabilité de la réparation dépend de sa géométrie et des propriétés des matériaux. La présence de renforcement, l'épaisseur de la réparation et le matériau utilisé sont tous des paramètres que le concepteur d'une réparation doit étudier avant de faire un choix.

Deux types de dégradation, illustrés à Figure I.5, peuvent affecter la surface d'un tablier de pont. Dans le premier cas (type I), c'est le béton de recouvrement des armatures qui est détérioré et les barres ne sont pas endommagées. Dans le second cas (type II), la détérioration du béton est plus avancée et la corrosion des barres d'armatures a débuté. Il faudra donc les nettoyer ou les remplacer avant de procéder à la mise en place de la réparation. La présence d'armatures dans la réparation (type II à la Figure I.5) a un impact sur son comportement. Plusieurs études ont portées sur la position des armatures dans la réparation et sur leur contribution au comportement de la réparation.

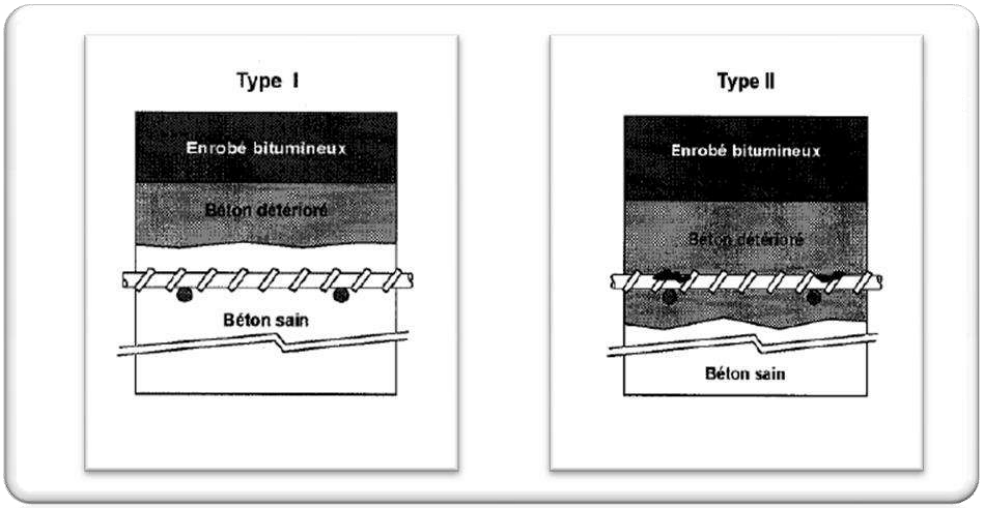


Figure I.5: Types De Dégradation **[13]**

Il a été démontré que l'interface entre le nouveau et le vieux béton ne doit pas coïncider avec le centre des barres d'armatures. **Paramasivam [14]** a testé en flexion des dalles réparées d'une telle façon.

Dans tous les cas, il y a eu décollement de la réparation. Les essais réalisés par Silfwerbrand **[15]** permettent également de conclure que cette configuration doit être évitée.

Tel qu'illustré à la Figure I.6, il a également été démontré que la présence d'armatures dans une réparation sollicitée en traction aide à prévenir ou à limiter le décollement de la réparation.

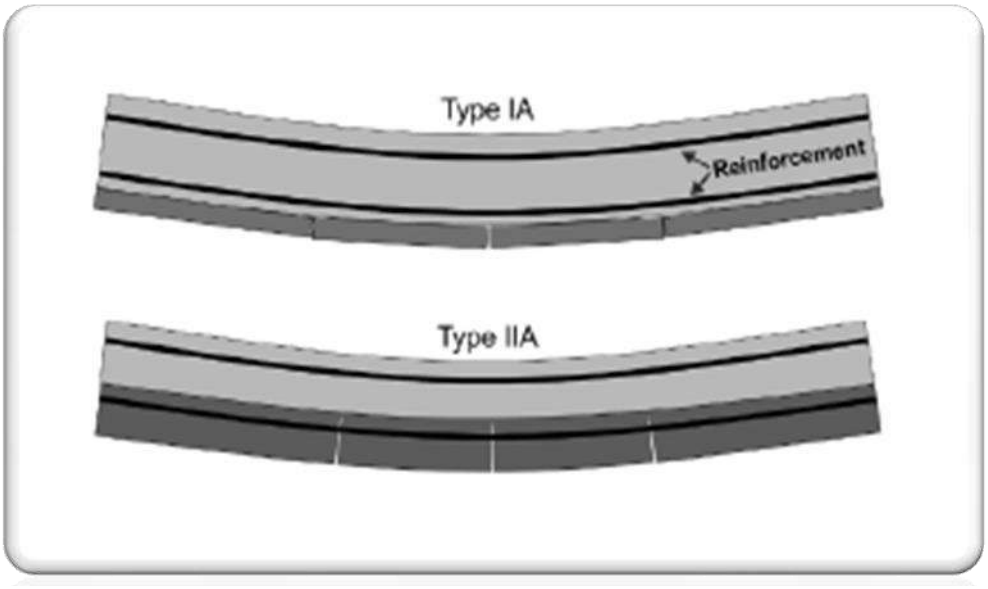


Figure I.6 : Fissuration de réparations avec et sans renforcement **[16]**

Lemieux [16] a comparé le comportement de dalles réparées. Il a conclu que l'armature présente dans une réparation permet de reprendre une partie des efforts de traction et de limiter la fissuration due aux efforts de flexion. Si la fissuration n'atteint pas l'interface entre le nouveau et le vieux béton, aucun décollement n'aura lieux.

Dans le cadre de ce projet, il a été décidé d'étudier le comportement de réparations de faible épaisseur sans armatures. Lors de la conception**,** l'épaisseur de la réparation est essentiellement contrôlée par la profondeur de détérioration du béton à réparer **[11].** Cependant, l'épaisseur joue également un rôle sur le comportement d'une réparation.

Habel [17] a observé que plus une réparation est épaisse, plus ses déformations observées au jeune âge sont grandes. Pour des poutres réparées placées sur deux appuis simples, Habel a mesuré la flèche provoquée par les déformations volumiques (déformations thermiques et retrait) du béton de réparation au jeune âge. Lorsque la réparation se gonfle ou se contracte, la poutre se soulève ou s'abaisse.

Plus les réparations sont épaisses, plus les flèches mesurées sont grandes, Deux points expliquent ce comportement. D'abord, la température du béton s'élève dans les premières heures suivant sa fabrication. Ceci est dû à la réaction d'hydratation très exothermique entre l'eau et le ciment.

Ainsi, une réparation plus épaisse s'échauffe davantage et gonfle plus, ce qui affecte le comportement global de l'élément de béton réparé, ensuite, le degré de restreinte des déformations est plus petit pour une réparation de béton plus épaisse car l'épaisseur de nouveau béton représente une plus grande proportion de l'épaisseur total de l'élément. Ainsi, le retrait d'une réparation plus épaisse est plus libre et influencera davantage le comportement structural global de l'élément de béton.

I.3.2. Réparation Par Béton Fibré :

Afin d'assurer la durabilité d'une réparation, le choix du matériau doit se faire avec attention. Les propriétés déformationnelles du nouveau béton ont un effet sur la répartition des contraintes entre le socle et la réparation **[18]**.

De plus, l'ajout de fibres améliore le transfert des efforts en condition fissuré et limite la propagation des fissures et leur ouverture. Ainsi, les fibres contribuent à la durabilité d'une réparation.

La Figure I.7 présente les types de compatibilité entre le matériau de réparation et le socle de béton. Il y a d'abord la compatibilité déformationnelle qui dépend de quatre propriétés du béton de réparation : le module élastique, le fluage, le retrait et les déformations thermiques. Le module élastique d'un béton de réparation doit être égale ou plus petit à celui du béton du socle.

Ainsi, tel qu'illustré à la Figure I.8, la proportion des contraintes reprise par la réparation n'est pas supérieure à celle reprise par le socle. Par contre, il est important d'également tenir compte de la résistance en traction du matériau. Un matériau ayant un module d'élasticité plus élevé possède généralement une résistance en traction plus grande **[18].**

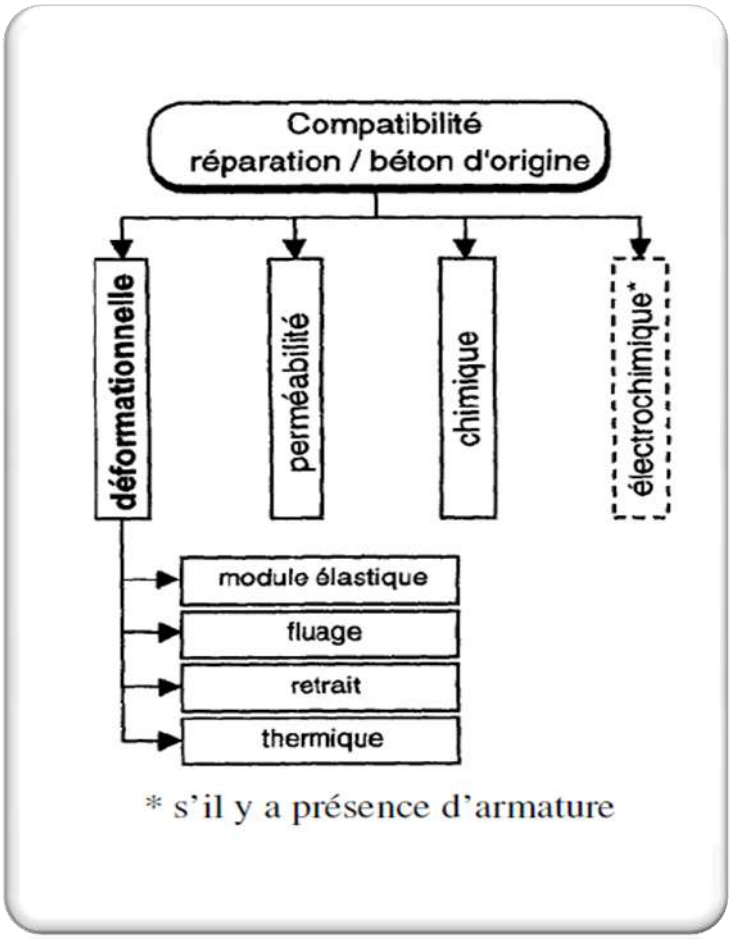


Figure I.7: Facteurs influençant la compatibilité d'un matériau de réparation **[19]**

Le fluage du matériau de réparation permet de relaxer les contraintes induites par les chargements externes et par les déformations volumiques restreintes. Ainsi, un béton avec une plus grande viscoélasticité permettra de réalisé une réparation plus durable, puisqu'elle se déformera sous l'effet des contraintes plutôt que de se fissurer. Cependant, afin d'éviter la création de trop grande contraintes créés par le retrait restreint, un béton de réparation doit idéalement avoir un retrait le plus petit possible **[20]**.

Enfin, la compatibilité thermique est importante à considérer en particulier lorsque l'infrastructure à réparer se trouve dans un environnement qui subit de grandes variations de température **[18].**

Un écart important entre les coefficients de dilatation thermique du socle et du matériau de réparation peut créer une restreinte des déformations et donc des contraintes internes dans la réparation.

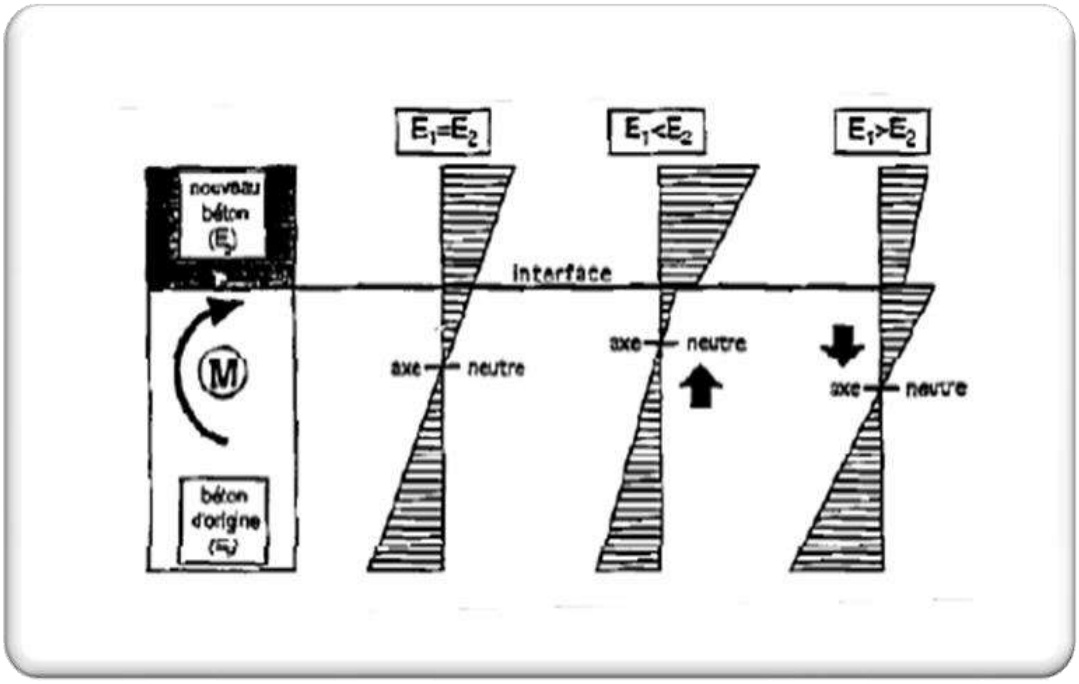


Figure I.8 : Influence de la rigidité relative sur la répartition des contraintes **[18]**

La perméabilité du matériau doit être faible afin d'éviter la pénétration des agents agressifs tels que les chlorures (sels déverglaçant) et éviter que la réparation ne se dégrade rapidement. Si la détérioration de l'ouvrage à réparer est d'origine chimique (par exemple la réaction alcali- granulat), il faut prêter attention à la composition chimique du matériau de réparation afin que les mêmes problèmes ne se reproduisent pas.

Enfin, si la corrosion des armatures est un problème de l'infrastructure à réparer, il faut s'assurer que la compatibilité électrochimique entre le béton de réparation et celui en place est adéquate, L'utilisation de fibres dans le matériau de réparation permet d'abord de limiter la propagation de la fissuration de la nouvelle couche. En limitant l'ouverture des fissures, les fibres empêchent les fissures d'atteindre l'interface entre le nouveau et le vieux béton et donc diminuent les chances de décollement de la réparation **[21].**

I.3.3. Procédé De Réparation :

Afin d'assurer une bonne adhérence de la réparation, il faut choisir correctement les méthodes de démolition du béton détérioré et de préparation de la surface avant la mise en place de la réparation.

I.3.3.1. Démolition du béton détérioré :

La méthode choisie pour enlever le béton détérioré joue un rôle sur la résistance de l'interface entre le nouveau et le vieux béton. Il existe de nombreuses techniques qui peuvent être séparée en deux catégories **[22]** :

- Les techniques par impact ; et
- Les techniques par projection**.**

La première catégorie regroupe les techniques telle que le marteau piqueur, la boucharde ou encore le rouleau à pointes diamantés. Ces techniques causent la microfissuration à la surface du béton sain laissé en place **[23].** La microfissuration affaiblit l'interface entre la réparation et le socle de béton.

Les techniques par projection comprennent le jet de sable et l'hydrodémolition. Ces techniques laissent une surface caractérisée par un profil de vagues ayant de bonnes amplitudes **[24].** L'hydrodémolition consiste à utiliser un jet d'eau à haute pression (pression de 125 MPa et débit de 27 l/h) pour démolir le béton détérioré. Cette méthode ne crée pas de microfissuration à la surface du béton sain et permet d'obtenir une surface suffisamment rugueuse. Perez a démontré que l'adhérence entre le nouveau béton et le vieux béton est meilleure pour une surface hydrodémolie.

I.3.3.2. Préparation de la surface :

Une fois que le béton détérioré a été enlevé de l'élément à réparer, il faut préparer la surface à recevoir le béton de réparation. D'abord, il faut s'assurer que la surface est propre, c'est-à-dire que toutes les particules libres sont enlevées. La présence de particules peut diminuer l'adhérence entre le nouveau et le vieux béton **[15].**

La mise en place d'agents de liaison tels que du mortier, du mortier avec latex ou de la résine d'époxy est parfois proposée. **Wells [25]** a démontré que l'utilisation de tels agents peut aider à augmenter l'adhérence de la réparation lorsque la surface n'est pas suffisamment rugueuse. Cependant, **Silfwerbrand [15]** notent qu'il faut être prudent avec leur utilisation puisque l'application d'un agent donne deux interfaces de contact et donc deux plans de délamination entre la réparation et son socle. De plus, un mortier avec un rapport E/C élevé peu diminuer la résistance de l'interface.

La surface doit être saturée séchée avant la réparation, c'est-à-dire que les pores du béton substrat soient pleins d'eau mais qu'il n'y ait pas d'accumulations sur la surface. L'objectif est d'éviter un échange d'eau trop grand entre le vieux béton et le nouveau béton. Si les pores capillaires du substrat sont déjà remplis d'eau, il n'y a pas pompage de l'eau contenue dans le béton frais de réparation par le substrat. Par contre, il faut éviter les accumulations d'eau dans les rugosités puisque ceci peut augmenter le rapport E/C du béton de réparation à l'interface et diminuer sa résistance **[15].**

Il est à noter que l'utilisation de goujons pour améliorer la résistance au cisaillement à l'interface n'est pas nécessaire lorsque la surface est suffisamment rugueuse et adéquatement préparée à recevoir la réparation **[21].** En effet, pour que les goujons deviennent actifs, il faut que la délamination soit commencée, ce qui doit être évité pour une réparation durable.

I.3.4. Caractéristique Des Réparations :

I.3.4.1. Essais pour caractériser des réparations :

Plusieurs essais ont été développés afin d'évaluer le comportement d'un élément réparé. Les objectifs sont de vérifier la durabilité des réparations et le comportement monolithique des éléments hybrides sous des charges mécaniques.

I.3.4.2. Mesure des déformations d'une poutre réparée sans chargement externe :

Habel [17] a réalisé une série d'essais dont l'objectif est de vérifier le comportement d'une réparation sans chargement. Plusieurs poutres de 5,4 mètres de long ont été réparées. La moitié des poutres a été placée sur deux appuis simples, en condition isostatiques.

L'autre partie des poutres a été placée sur quatre appuis afin d'étudier le comportement d'une réparation en conditions hyperstatiques. Toutes les poutres ont été réparées avec du béton fibré à ultra-haute performance (BFUP).

Les paramètres qui ont été étudiés sont l'épaisseur de la réparation et la présence ou non de barres d'armature. Les mesures suivantes ont été prises : la température dans la poutre et dans la réparation, la déformation de la réparation à l'aide d'un capteur à fibre optique et la flèche de la poutre.

Habel [17] a observé que les principales déformations apparaissent dans les sept à neuf jours suivant la mise en place de la réparation et qu'elles sont attribuables aux déformations thermiques et au retrait du béton de réparation. Ces essais ont également permis de conclure que les réparations ne se dégradent pas prématurément au jeune âge. Aucune fissuration et aucune délamination n'a été observée.

I.3.4.3. Mesure de la rugosité :

Perez [24] a développé une méthode permettant de caractériser de façon quantitative la rugosité d'une surface. Il s'agit d'un relevé topographique par mesures optiques. Les paramètres de rugosité obtenus avec cette méthode permettent de corréler la rugosité de la surface avec l'adhérence d'une réparation. Par contre, les résultats obtenus par Perez n'ont pas permis d'établir une relation claire entre ces deux paramètres et de proposer une méthode de préparation optimale en termes de rugosité.

I.3.4.4. Essai d'adhérence :

Plusieurs chercheurs ont effectué des essais afin de connaître la résistance de l'interface entre le béton de réparation et son substrat. Afin d'évaluer la performance de l'adhérence, **Perez [24]** a réalisé deux types d'essais.

D'abord, il a réalisé un essai de traction directe sur des carottes cylindriques de 100 mm de diamètre et 100 mm de hauteur. Ces carottes ont été extraites de poutres réparées. Des casques ont été collés aux extrémités des éprouvettes afin de les charger entre action. Ensuite, il a réalisé des essais de cisaillement direct sur des carottes cylindriques de 100mm de diamètre et de 60 mm de longueur.

L'essai se rapproche d'un essai brésilien. Ces essais lui ont permis de conclure que l'hydrodémolition est la meilleure méthode pour démolir le béton détérioré avant la mise en place d'une réparation.

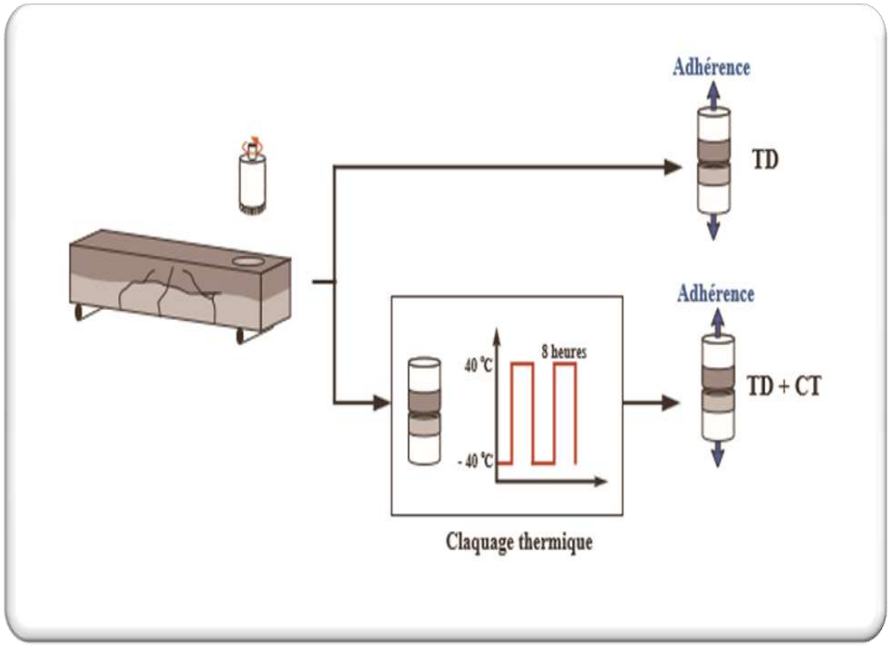


Figure I.9: Méthodologie des essais de traction
Avec et sans claquage thermique **[24]**

I.3.4.5. Essai de flexion statique et cyclique

Des essais mécaniques permettent d'étudier le comportement d'une réparation lorsque soumise à des sollicitations statiques ou cycliques. Les sollicitations statiques permettent de connaître la résistance ultime d'un élément réparé et de vérifier si la réparation et le béton substrat agissent ensemble de façon monolithique.

Les sollicitations cycliques permettent de représenter le passage des véhicules dans le cas d'un élément de pont. Ce type de chargement permet d'évaluer si la réparation se dégrade prématurément et si le comportement de la structure hybride demeure monolithique malgré un endommagement progressif. Afin d'être en mesure de faire des comparaisons, un spécimen de référence, non-réparé, est testé en plus des spécimens réparés **[16].**

Lemieux [16] a testé des dalles réparées sous un chargement cyclique en flexion. Afin de tester la réparation en compression, la surface réparée de la dalle est placée vers le haut. Si la réparation doit être testée en traction, la surface réparée est placée vers le bas, tel qu'illustré à la Figure I.10.

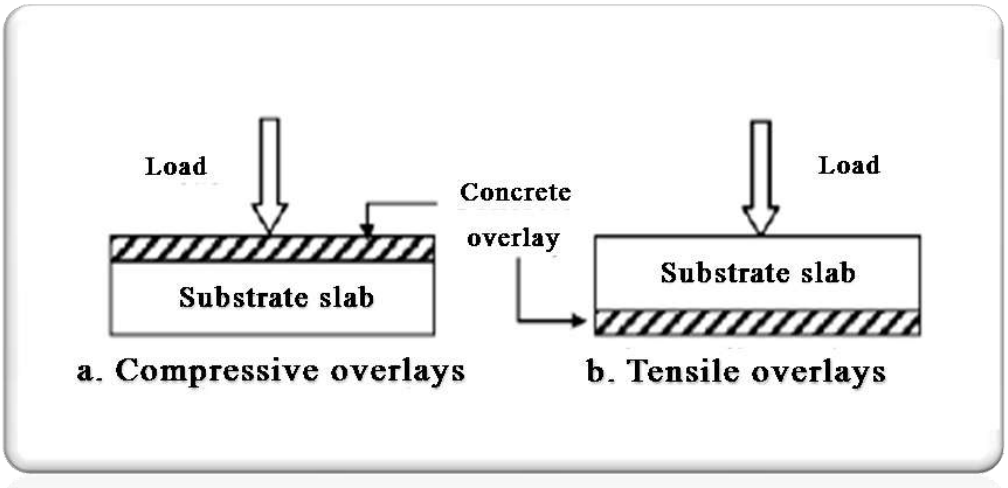


Figure I.10 : Type de chargement **[17]**

Lemieux [16] a conclu qu'avec une bonne préparation de surface, le comportement monolithique d'un élément réparé est assuré et que sa résistance est la même que l'élément non-réparé.

I.4. CONCLUSION

Concevoir et réaliser une réparation sur une structure en béton est un problème complexe qui ne relève pas seulement d'un savoir-faire technique. Il faut bien comprendre l'origine des dégradations afin qu'elles ne réapparaissent plus une fois l'ouvrage réparé. La pathologie des ouvrages en béton montre qu'il existe multitude de symptômes de dégradations.

Un diagnostic préalable à l'identification des causes est nécessaire et qui constitue l'étape la plus importante et la plus difficile de tout le processus de réparation, afin de choisir le matériau et la méthode convenable à réparer.

Chapitre II

Béton Autoplaçant

II.1. INTRODUCTION :

Le béton est un composite hétérogène qui résulte du mélange intime de ciment, de granulats, d'eau, et parfois d'ajouts minéraux, et de faibles quantités d'adjuvants. Pour construire des structures durables et fiables, il est nécessaire, non seulement de développer un béton de qualité, mais d'assurer une mise en place correcte afin de répondre aux exigences demandées pour la mise en services de la structure.

D'où l'idée des chercheurs japonais à essayer de fabriquer des bétons répondants à ces exigences, qui fut appelé par la suite le Béton Autoplaçant.

L'idée d'un béton fluide ou béton autoplaçant (BAP) est apparue en 1989, alors que les japonais avaient besoin d'un béton qui n'exige pas une main d'œuvre nombreuse et qualifiée, et qui fournisse une résistance à la compression élevée à jeune âge pour pouvoir augmenter la productivité.

Ainsi, le progrès et l'évolution en génie civil dans différentes applications telles que les ponts suspendus, les grattes ciel et surtout la grande orientation de l'usage des bâtiments vers une utilisation spécifique et une qualité architecturale accrue, ont été les enjeux concrets du développement des bétons fluides **[26]-[27].**

L'historique du BAP se résume par l'élaboration du premier prototype de BAP au Japon, grâce aux travaux du professeur H. Okamura **[28]-[29].** Puis par le développement de la première génération caractérisée par sa forte teneur en liant, et enfin par, le développement de la deuxième génération de BAP au Canada caractérisée par une faible teneur en liant et un remplacement élevé du ciment par des ajouts minéraux.

L'avancement technologique et le développement des BAP ont permis de diversifier leur utilisation ; beaucoup d'ouvrages d'art furent construits, notamment au japon et aussi en Europe et au Canada.

Par contre, l'usage de ces bétons demeure restreint au domaine des réparations, d'où l'idée de développer une troisième génération de BAP, qui marque le début de la troisième étape dans la recherche sur ce matériau. La raison principale est d'ordre économique, car le coût unitaire du BAP est trop élevé.

II.2. AVANTAGE DES BÉTON AUTOPLAÇANT :

La qualité de ce matériau confère au béton plusieurs avantages techniques et socio-économiques par rapport au béton ordinaire **[30]** :

II.2.1. Avantages techniques :

Avec l'apparition des BAP, les opérations traditionnelles de coulage, d'étalement, de talochage et de surfaçage se réduisent à une étape de coulage suivie d'un débullage dans le cas des applications horizontales. Pour les opérations verticales, les divers déplacements sur les banches, à travers trappes et échelles, sont réduits de manière significative. On peut résumer les avantages techniques dans les points suivants :

- 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.
- Amélioration de la qualité des parements et de l'enrobage des aciers.
- Réalisation d'éléments de forme plus complexe.

II.2.2. Avantages socio-économiques :

Nous avons vu que la fluidité des BAP est telle qu'il n'est plus nécessaire de les vibrer pour les mettre en œuvre. La suppression de la phase de vibration est particulièrement bénéfique pour les personnes chargées de la mise en place, puisque cela implique :

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

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

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

II.3. CONSTITUANT D'UN BAP :

Les bétons autoplaçants (BAP), sont encore à l'heure actuelle qualifiés de « nouveaux bétons» car leur utilisation reste modeste bien qu'ils possèdent un fort potentiel de développement. Comme tout type de béton, les BAP sont composés de matériaux de base soit de ciment, de sable, de granulats et d'eau, afin d'assurer leur fluidité et leur homogénéité.

Les bétons autoplaçants nécessitent l'utilisation des adjuvants chimiques (superplastifiants et d'agents de viscosité), ainsi que les ajouts minéraux. Ces derniers sont incorporés en faibles quantités au béton frais, afin d'améliorer certaines propriétés. 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, qui sont reliées à la composition de la pâte de ciment qu'à celle du mélange en lui-même.

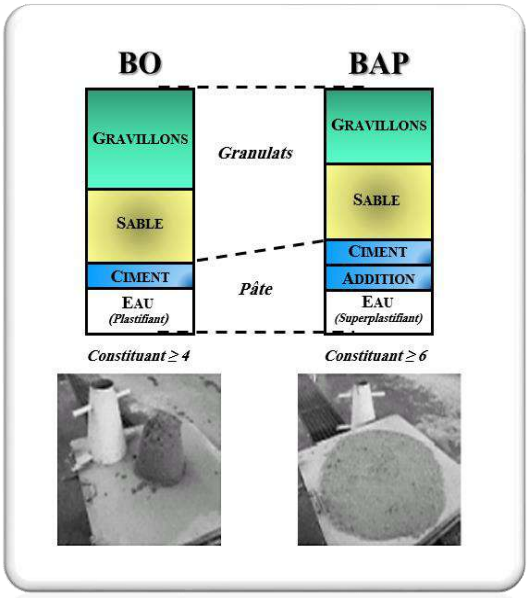


Figure II.1 : Composition d'un béton ordinaire (BO) et d'un BAP.
Aspect à l'état frais d'un BO plastique et d'un BAP **[31].**

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

II.3.1. Ciment

Le ciment est un liant hydraulique, c'est-à-dire une matière minérale finement moulue qui mélangée avec l'eau, forme une pâte qui fait prise et durcit à la suite du processus d'hydratation et qui, après durcissement, conserve sa résistance et sa stabilité même sous l'eau. Le durcissement de la pâte de ciment est principalement dû à l'hydratation des silicates de calcium. Dans les ciments, les aluminates peuvent également intervenir dans le processus de durcissement.

Le ciment est constitué principalement de clinker Portland (K) qui est un matériau hydraulique. Il est obtenu à partir de la cuisson à haute température, supérieure à 1450°C, d'un mélange approprié de calcaire et d'argile en proportion moyenne de 80% et 20% **[32].** Le ciment peut être constitué aussi de laitier de haut fourneau (S), de pouzzolane naturelle (Z), de cendres volantes siliceuses (V) ou calciques (W), de fumée de silice (D), de calcaire (L), de schistes calcinés (T), de constituants secondaires, de sulfate de calcium (gypse, hémihydrates, anhydrite) et d'additifs.

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

Dans notre recherche Le ciment utilisé est un CPJ-CEM II/B, Un ciment Portland ordinaire 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].

II.3.2. Granulats

En générale le béton est constitué de deux phases : une phase solide constituée du squelette granulaire (sable, gravier, cailloux) en principe inerte et une phase constituée d'une pâte liante, les grains qui constituent le squelette granulaire, C'est l'ensemble des grains minéraux de dimensions comprises entre 0 et 125 mm **[33],** et doivent être chimiquement inertes vis-à-vis du ciment, de l'eau et de l'air dont l'origine peut être naturelle, artificielle ou provenant de recyclage.

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent la granularité et la forme des granulats sont fonction du processus d'élaboration. Selon leur origine, on distingue les granulats roulés, extraits de ballastières naturelles ou dragués en rivière ou en mer, et concassés, obtenus à partir de roches exploitées en carrière.

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

L'utilisation de granulats roulés (de forme plus ou moins sphérique) peut être avantageuse lorsqu'on désire réduire les frictions entre les granulats **[34].** Le volume des gros granulats dans le béton est l'un des facteurs les plus importants à prendre en considération. Afin d'empêcher tout risque de blocage du béton par les barres d'armature lors du coulage, on limite en général le diamètre maximal des granulats à 16mm. L'expérience a néanmoins montré qu'il était également possible d'utiliser des granulats de diamètre différent **[35].**

De plus la proportion des gravillons par rapport au sable est plus faible qu'avec un béton ordinaire, afin de permettre l'écoulement du matériau dans les zones confinées, leur volume est limité et le rapport gravillon/sable (G/S) est proche de **[34].**

II.3.3. Additions minérales

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.

Ce sont des matériaux finement broyés tels que le laitier de haut fourneau, la fumée de silice, les cendres volantes qui viennent principalement de l'industrie. Ces fines présentent des avantages dans l'industrie (la diminution de l'émission du CO2) et des avantages dans la formulation des bétons.

Les ajouts minéraux substituant le ciment peuvent être classés en fines pouzzolaniques telles que la fumée de silice et la pouzzolane et fines inertes telles que le calcaire. Une autre classification est basée sur la source de chaque produit d'où on trouve :

- **Les produits artificiels :**
  - Le laitier des Hauts Fourneaux ;
  - Les cendres volantes ;
  - La fumée de silice ;
  - L'argile calcinée (méta kaolin) ;
  - Les déchets d'incinération ;
  - Les déchets de briques concassées.
- **Les produits naturels :**
  - La pouzzolane naturelle (cendres volcaniques, scories) ;
  - Le calcaire ;
  - L'argile opaline ;
  - Les additions siliceuses (sable).

Comme tous les ajouts minéraux, l'objectif principal est de remplir les pores afin d'améliorer l'ouvrabilité et la maniabilité par rapport à un béton conventionnel.

II.3.4. 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) **[36].**

Les adjuvants sont des produits chimiques solubles dans l'eau, ajoutés à moins de 5% du poids du ciment, au moment du malaxage des mortiers et bétons ou à leur surface lorsqu'ils sont frais, afin d'améliorer certains propriétés, en modifiant principalement :

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

Les adjuvants sont utilisés depuis très longtemps. Les chinois employèrent des ci-dessus.

Les Romains additionnaient parfois du sang animal comme plastifiant à leur béton de chaux et de pouzzolane **[37]-[38].**Depuis 1960, les superplastifiants se multiplient et se diversifient par leurs qualités et leurs constantes de qualité qui s'améliorent sans cesse.

II.3.4.1. Les Superplastifiants :

Il est rajoutés en faibles proportions (habituellement de 1 à 5% de la masse du ciment) au béton frais, ils offrent la possibilité de réduire la quantité d'eau nécessaire à la fabrication et la mise en place du béton, étant donné que sa composite poreux constitué de ciment, de granulats et d'eau, ses propriétés mécaniques finales dépendent très étroitement de la quantité d'eau introduite lors du gâchage.

Les Superplastifiants 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.

A une consistance donnée en tant qu'adjuvant, le superplastifiant peut avoir plusieurs fonctions dans un mélange cimentaire. La fonction de base est la fluidification, puisqu'il provoque un important gain d'ouvrabilité d'un mélange.

Le superplastifiant est responsable d'un effet de plastification : à même teneur en eau, il permet d'augmenter l'ouvrabilité, sans diminuer les résistances à long terme de la pâte, du mortier ou du béton. La fonction « réducteur d'eau » se manifeste par la réduction du rapport E/C pour une même ouvrabilité.

Ceci permet donc d'augmenter les performances mécaniques du mélange. Un grand nombre de superplastifiants existe sur le marché. Ces adjuvants essentiellement fabriqués pour l'industrie du béton, sont des polymères organiques constitués de groupes hydrophobes et d'autres hydrophiles.

Les superplastifiants sont divisés en familles de produits parmi lesquelles nous citons les principaux : Polynaphtalènesulfonate (PNS), Polymélaminesulfonate (PMS), Lignosulfonates modifiés (LS), Polycarboxylate (PC), Polyacrylate (PA) et Polyoxyéthylène (POE). Les structures chimiques des superplastifiants de la nouvelle génération ne sont pas révélées par les fabricants pour des raisons liées au secret industriel. Toutefois, elles pourraient s'apparenter aux motifs « exemples » de la figure II.2.

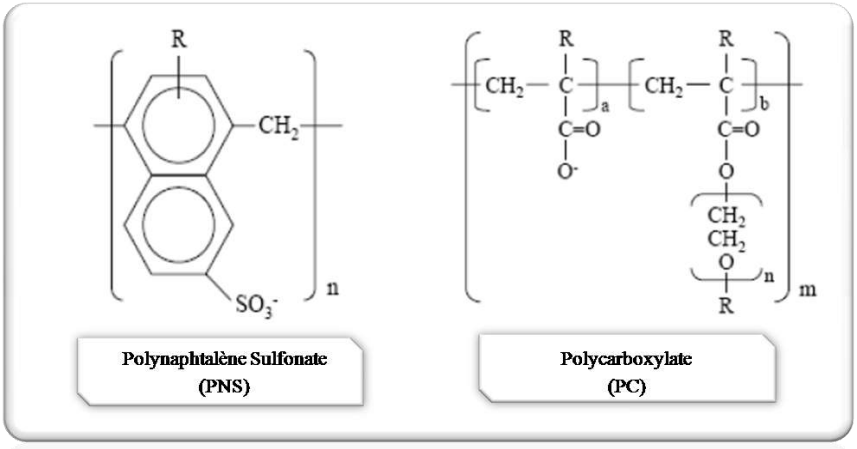


Figure II.2 : Exemples de motifs (R représente H ou un groupe alkyle) **[39]**

Les superplastifiants les plus utilisés étaient les PMS et les PNS, qui sont des polymères anioniques avec des groupes sulfonates est en train de s'éclipser en Europe ; ils contiennent une matière chimique polluante et toxique, le formol. Toutefois, les superplastifiants à base de polycarboxylates (PC), polyacrylates (PA) et polyéthylène (PE), dont l'utilisation est plus récente, s'avèrent très efficaces **[39].**

Les superplastifiants n'agissent pas tous de la même façon ; ceux à base de sulfonates (PNS, PMS et LS) par exemple, provoquent principalement une répulsion électrostatique entre les particules de ciment, tandis que les superplastifiants PC et POE sont plutôt efficaces grâce à un important effet stérique. Uchikawa et al. Ont été les premiers à montrer l'existence de l'effet stérique des polycarboxylates **[39].**

II.3.4.2. Les agents de viscosité

L'utilisation des agents de viscosité 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 superplastifiant 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 **[40].**

- Polysaccharide obtenu par fermentation microbiologique du type gomme welan ou gomme de xanthane.
- Dérivés cellulosiques à base de méthyle cellulose, d'hydroxy-éthyl cellulose.
- Colloïde naturel.
- Suspension des particules siliceuses.

Mailvaganarn **[41]** divise les agents colloïdaux selon leur action physique dans le béton en cinq classes comme suit :

- **Classe A** : polymères naturels et synthétiques qui sont solubles dans l'eau et qui augmentent la viscosité de l'eau dans le mélange ; ce sont les éthers de cellulose, les oxydes de polyéthylène, etc.

- **Classe B** : floculant organiques so1ubles dans l'eau qui s'adsorbent sur les grains de ciment et augmentent l'attraction entre eux ce qui augmente la viscosité ; ce sont les copoiymères de styrène avec le groupe carboxylique et Les gommes naturelles.

- **Classe C**: émulsions des différentes matières organiques qui augmentent l'attraction entre les grains de ciment et introduisent les particules superfines dans la pâte de ciment ; ce sont les émulsions acryliques et les dispersions aqueuses de l'argile.

- **Classe D** : matières inorganiques de grande surface spécifique qui gonflent dans l'eau et augmentent les possibilités du mélange à garder de l'eau libre ; ce sont les bentonites, les fumées de silice, etc.

- **Classe E** : matières inorganiques de grande surface spécifique qui augmentent la quantité de particules superfines dans le mélange, comme les cendres volantes et les terres à diatomées.

Kawai**[42]** a classifie les agents colloïdaux selon leur origine comme suit :

- **Polymères naturels** : amidons, protéines de plantes et gommes naturelles.

- **Polymères semi-synthétiques** : amidons décomposés et leurs dérivés, dérivés de la cellulose éther (hydroxy de propyle méthyle cellulose (HPMC), hydroxyde éthyle cellulose (HEC) et &oxyde méthyle cellulose (CMC)).

- **Polymères synthétiques** : basés sur l'éthylène (oxyde de polyéthylène) ou sur le vinyle (polyvinyle alcool).

Les agents de viscosité (agents colloïdaux), les plus utilisés dans le béton sont des dérivés de la cellulose et des polysaccharides de source microbienne (gomme de welan). La gomme de welan est un polysaccharide à masse moléculaire élevée (autour de 2 millions) produit par un procédé de fermentation **[43].**

Si on compare la viscosité causée par la présence de la gomme de welan dans la solution avec celle causée par la présence du HPMC, la gomme de welan donne une plus grande viscosité pour des bas taux de cisaillement tandis qu'à des hauts taux de cisaillement sa viscosité est plus faible. La gomme de welan est très efficace et est utilisée à faibles concentrations (0,02 % - 0,2 % de la masse de ciment) **[44].**

La présence d'un superplastifiant, soit à base de mélanine, soit à base de naphtalène, ne change pas ses effets rhéologiques s'il est utilisé en dosages habituels jusqu'à 3 %.

Les dérivés de la cellulose ont une masse moléculaire comprise entre 10 000 et un million. Ils sont souvent utilisés avec les superplastifiants à base de mélamine à cause de leur incompatibilité avec les superplastifiants à base de naphtalène.

Ils entrent en réaction chimique avec ces derniers pour former un gel qui provoque un fort accroissement de la viscosité. Dans l'industrie du béton les dérivés de la cellulose sont utilisés à des dosages de 0,02 – 2% de la masse de ciment [**42**].

Certains agents colloïdaux à base de cellulose (HPMC, HEC) peuvent entraîner une importante quantité d'air dans le béton (jusqu'à 15 %) et il est recommandé de les utiliser avec une certaine quantité d'agent des entraîneurs d'air [**42**].

II.3.5. 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.).

Une partie de l'eau ajoutée au béton est mobilisée par les granulats (absorption, adsorption), alors qu'une deuxième partie est consommée par l'hydratation, et une troisième partie reste libre dans la matrice du béton. Cette dernière est principalement responsable de la fluidité du béton, en agissant sur la concentration en solides de suspension entre granulats.

A part son rôle majeur dans le phénomène de l'hydratation, l'eau est l'un des facteurs les plus importants au niveau de l'ouvrabilité du béton. L'augmentation du dosage en eau augmente la fluidité du béton et entraîne la diminution de la concentration en solides ; au niveau rhéologique, le seuil de cisaillement et la viscosité diminuent.

Cependant, l'introduction excessive d'eau provoque la chute de la résistance mécanique du béton à l'état durci, ainsi que l'apparition des phénomènes de ségrégation à l'état frais, pour cela on utilise l'eau efficace qui consiste à tenir compte de la quantité d'eau existante dans les granulats.

II.4. CARACTERISATION D'UN BAP :

II.4.1. Etat Frais :

Le béton autoplaçant est un béton qui se compacte de lui-même par effet gravitaire, sans aucun apport d'énergie de compactage (par ex. vibration, damage). Les principales propriétés recherchées sur béton frais sont l'autocompaction, la fluidité, la viscosité et la stabilité envers la ségrégation. La formulation du BAP repose sur les mêmes bases technologiques que celles d'un béton vibré.

Dans le cas du béton vibré, il s'agit de remplir les vides entre les granulats avec la pâte de ciment composée de ciment, d'additions et d'eau, afin d'obtenir un béton offrant les qualités requises (ouvrabilité et compacité). Par contre dans le cas du BAP, la pâte de ciment doit non seulement remplir les vides inters granulaires, mais il faut en plus prévoir un volume excédentaire d'environ 65 à 100 l/m^3.

Dans le cas d'un mélange constitué exclusivement de granulats concassés, cette valeur peut même s'élever jusqu'à 100 à 120 l/m^3. Cet excédent constitue une condition indispensable aux propriétés de fluidité exceptionnelles des BAP. Étant donné que le volume des vides du mélange varie en fonction de la nature et de la provenance des granulats, ceci peut entraîner des adaptations et modifications de la composition d'un BAP dans chaque cas particulier.

Les guides Européens pour le BAP **[45],** répartissent les BAP à l'état frais en quatre (04) propriétés essentielles suivantes, et propose des essais à réaliser pour chacune d'elles :

- La Capacité au Remplissage ;
- La Capacité de Passage ;
- La Résistance à la Ségrégation ;
- Rhéologie.

II.4.1.1. Capacité au remplissage :

La capacité au remplissage du béton est définie comme l'habilité du béton à entreprendre un changement dans sa forme sous l'effet de son poids propre **[46],** même dans le cas de présence d'obstacles qui peuvent interférer avec son écoulement. Cette capacité au remplissage peut être déterminée à l'aide de l'essai d'étalement (Tableau II.1).

Tableau II.1

Essais permettant la détermination de la capacité de remplissage

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)

II.4.1.2. 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.

La dimension à définir est l'espacement entre les bars, cet espacement doit permettre l'écoulement normal du béton. L'espacement entre la barre de ferraillage et le coffrage n'est pas à considérer car le béton peut contourner la barre et n'aura pas besoin de s'étaler continuellement à travers cet espace. La capacité de passage peut être déterminée à l'aide de, la boîte en L (L-Box) en mesurant la valeur H_2/H_1.

II.4.1.3. Résistance à la ségrégation :

La résistance à la ségrégation est fondamentale pour l'homogénéité et la qualité sur site du béton autoplaçant. 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.

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

II.4.1.4. Rhéologie des BAP :

La rhéologie est une branche de la mécanique des fluides qui étudie l'écoulement des matériaux et l'interaction entre les états de sollicitations (contraintes) et les déformations, en fonction de leurs caractéristiques de viscosité, d'élasticité et de plasticité.

Comme certains matériaux ne répondent pas exactement à la théorie de l'élasticité et de la mécanique des fluides, le vocable « rhéologie » a été inventée par des physiciens spécialistes de l'étude des matériaux dirigés par E.C.**Bingham [45].**

Entre le solide parfait et le liquide parfait newtonien, il est apparu nécessaire d'élaborer cette discipline nouvelle. L'intérêt de la rhéologie grandit chaque jour depuis son apparition en 1928 **[48]** avec l'apparition de nouvelles substances au comportement complexe tel que : pâtes, boues, suspensions, émulsions, polymères, etc. Pour le cas du béton, on s'intéressera à l'étude de l'écoulement du béton alors qu'il est encore à l'état frais et maniable.

II.4.2. Essais sur béton frais :

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

II.4.2.1. Essai d'étalement au cône d'Abrams (Slump flow) :

C'est l'essai le plus courant pour évaluer la fluidité du béton, car il est très simple à réaliser sur chantier. Ce test nécessite un cône d'Abrams et une plaque métallique plane graduée à un diamètre de 50 cm (Figure II.3).

L'essai consiste à mesurer le diamètre moyen final que prend le béton après le soulèvement vertical du cône, ainsi que le temps au passage à un diamètre de 50 cm. Le diamètre de la galette de béton est le paramètre qui caractérise la fluidité, plus il est grand plus le béton est fluide (capacité de remplissage élevée). L'étalement final d'un béton autoplaçant peut varier entre 50 cm et 80 cm en fonction de l'utilisation du béton **[49].**Cet essai permet aussi de détecter visuellement les premiers signes de ségrégation du béton (présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette, accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier).

Le temps de passage de la galette de béton à un diamètre de 50 cm donne une idée sur la vitesse de déformation du béton. Cette mesure, le T50, est une valeur qualitative. En général, des valeurs élevées de T50 traduisent un béton de vitesse de déformation faible (viscosité élevée). Toutefois, le T50 est une valeur difficile à mesurer, surtout pour le cas des bétons très fluides ; lancer et arrêter le chronomètre au moment où le cône est levé et où le béton passe au diamètre de 50 cm est une estimation subjective. En général un temps de 2 à 5 s est acceptable pour obtenir un BAP **[49].**

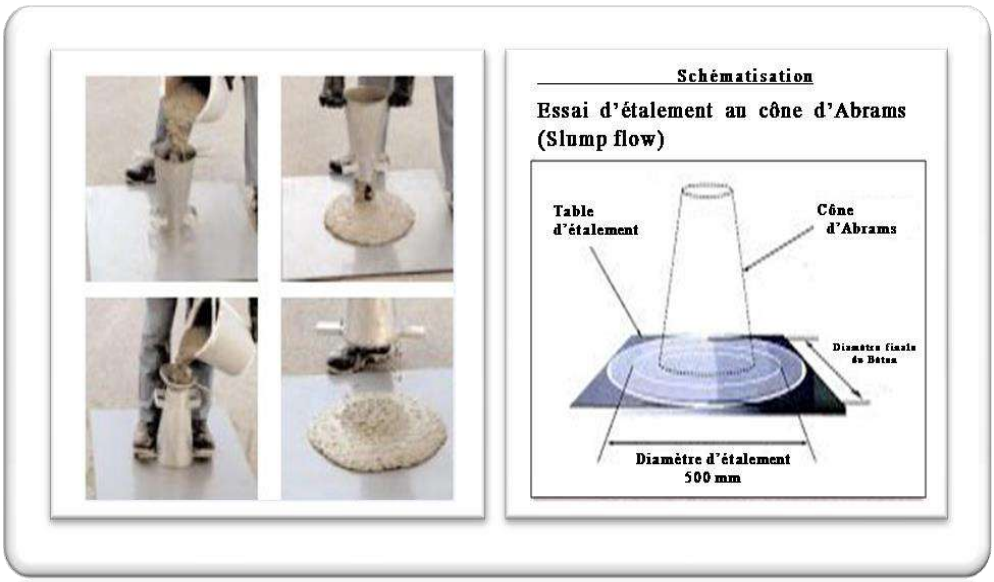


Figure II.3 : Essai d'étalement (Slump flow)

II.4.2.2. Essai de la couronne J (J-Ring)

L'essai du J-Ring (Japanese Ring) consiste à associer un anneau d'armatures à l'essai de l'étalement au cône d'Abrams. L'anneau d'armatures et le cône d'Abrams (**Figure II.4**) sont centrés avant de relever le cône et d'observer l'étalement du béton à travers les armatures.

Les dimensions de l'anneau, des armatures et les espacements entre les armatures sont différentes selon les auteurs et les pays. Nous citons quelques dimensions rapportées par **[49]** :

- Les diamètres des armatures et les espacements entre armatures peuvent varier respectivement dans les plages 10-16 mm et 34-48 mm.

- Le diamètre de l'anneau varie entre 23.5 et 30 cm.

Le test J-Ring permet d'évaluer la différence entre le comportement du béton sans et avec obstacles. Ainsi, l'essai de l'étalement au cône d'Abrams doit être effectué deux fois, ladeuxième fois en utilisant l'anneau d'armatures.

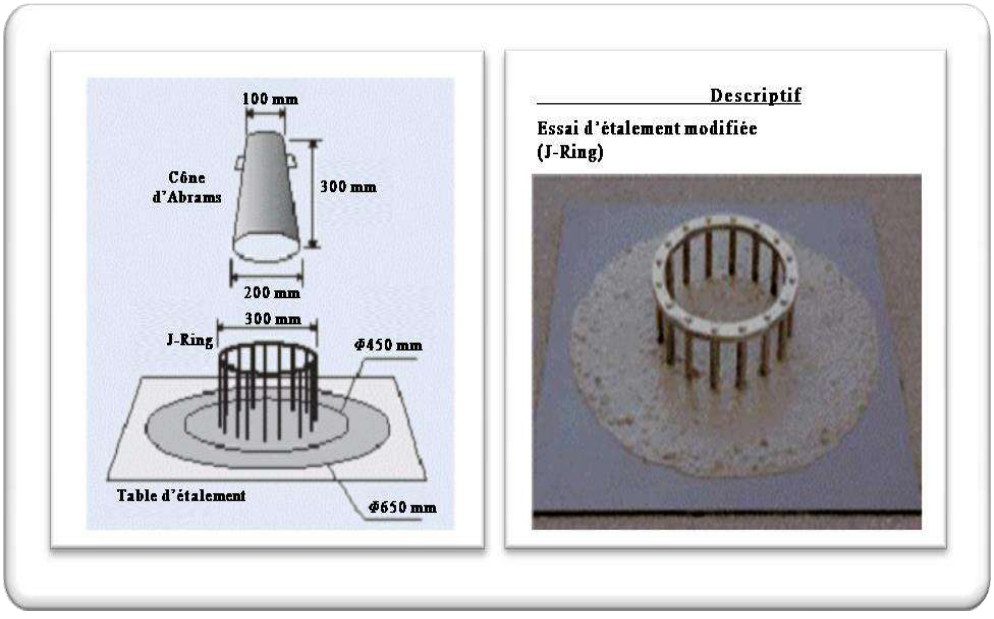


Figure II.4 : Essai J-Ring

II.4.2.3. Essai d'entonnoir (V-Funnel) :

Cet essai permet une évaluation qualitative du béton autoplaçant : il caractérise la capacité de passage du béton à travers un orifice. L'entonnoir existe en forme de V : V-Funnel) montré dans la (Figure II.5), ou parfois un entonnoir à section circulaire (O-Funnel).

Le V-funnel est destiné à imposer un écoulement du même type que celui imposé entre deux armatures parallèles. Le plus souvent, la partie inférieure de l'entonnoir est rectangulaire de dimensions 7,5 cm x 6,5 cm. Elle est équipée d'une trappe.

L'essai consiste à observer l'écoulement du béton à travers l'entonnoir et à mesurer le temps d'écoulement entre le moment où la trappe est libre et le moment où on aperçoit le jour par l'orifice. Le béton autoplaçant doit s'écouler avec une vitesse constante ; un simple changement de vitesse de l'écoulement est un signe de blocage, donc de ségrégation dans le béton.

Cet essai permet aussi d'évaluer la viscosité du béton lors de l'écoulement : pour des bétons de même étalement au cône d'Abrams par exemple, la viscosité est d'autant plus élevée que la durée de l'écoulement à l'entonnoir est longue.

Le temps d'écoulement du béton autoplaçant à l'entonnoir doit être généralement inférieur à 12 secondes. Quelques recommandations visent un temps compris entre 5 et 12 secondes pour obtenir un béton de viscosité suffisante.

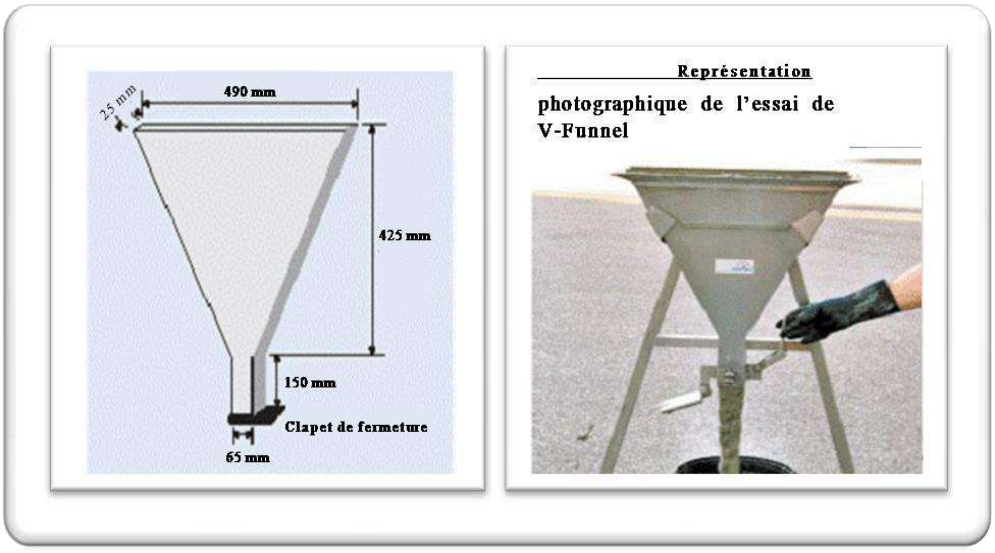


Figure II.5 : Essai d'entonnoir (V- Funnel)

II.4.2.4. Essai de la boite en L (L-Box)

Cet essai permet de tester l'écoulement du béton à travers des armatures (capacité de passage), de mesurer le taux de remplissage et le temps d'écoulement du béton.

L'appareillage représenté par la (Figure II.6) consiste à laisser passer le béton du compartiment vertical au compartiment horizontal à travers l'espace entre armatures. Il existe des appareillages de différentes dimensions, ainsi que des armatures de différentes tailles et espacements, la figure suivante représente une boite en L dont les caractéristiques sont les suivantes:

- Une hauteur totale de 60 cm
- Une longueur de 70 cm
- Une largeur de 20 cm

Un béton autoplaçant possède un taux de remplissage H1/H2 supérieur ou égal à 0.8 **[51]**. Un blocage quelconque du béton durant le passage à travers les armatures traduit le phénomène de ségrégation.

La vitesse d'écoulement peut être évaluée en mesurant le temps de passage du béton à la ligne des 20 cm et à celle des 40 cm. Les temps de passages sont respectivement notés T20 et T40. Certains auteurs recommandent des valeurs inférieures à 1.5 secondes pour T20 et inférieures à 3.5 secondes pour T40 afin de rester dans un domaine autoplaçant.

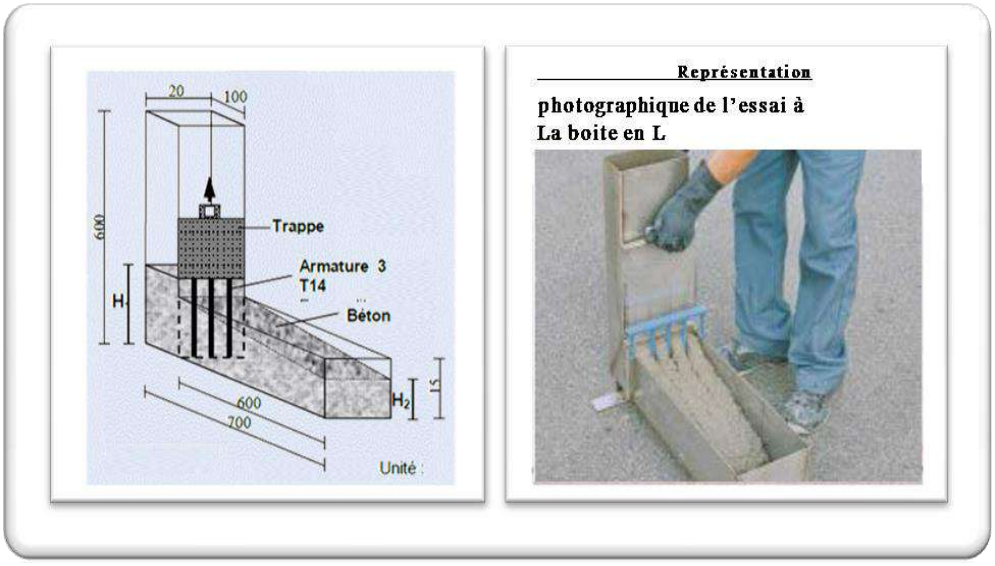


Figure II.6 : Essai de la boite en L (L-Box)

II.4.2.5. Essai de la boite en U (U-Box) :

De principe identique à l'essai de l'écoulement à la boite en L, l'essai du tube en U permet de tester la capacité de passage du béton à travers des armatures, et le taux de remplissage du béton. Le dispositif d'essai (**Figure II.7**) est composé de deux compartiments R_1 et R_2, séparés par une grille d'armatures et une trappe coulissante.

Différentes dimensions et espacements existent pour les armatures entre les deux compartiments (variation selon les types de chantier, et les spécifications des différents pays).

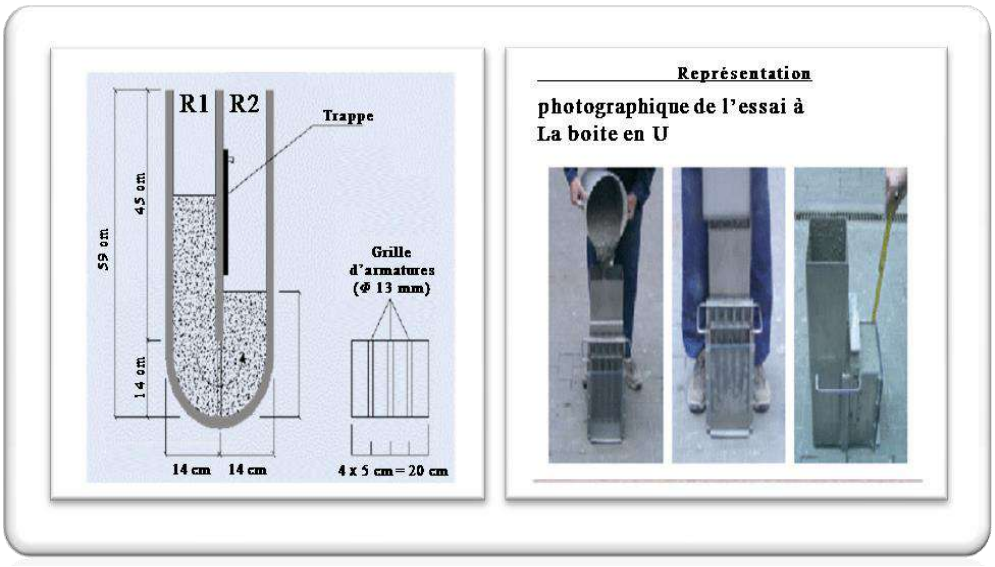


Figure II.7: Essai du tube en U (U-Box)

II.4.2.6. Essai de stabilité au tamis :

L'essai de stabilité au tamis permet de qualifier le BAP vis-à-vis du risque de ségrégation. Cet essai nécessite un seau de 10 litres avec couvercle, un tamis de 5 mm de maille, de diamètre 315 mm et un fond (Figure II.8). Le test consiste à remplir le seau de 10 litres, laisser le béton couvert et au repos pendant 15 minutes.

Un échantillon de ce béton (4,8 kg ± 0,2 kg) et versé à travers le tamis de 5 mm posé sur le fond, et laissé deux minutes, avant de peser la masse de la laitance traversant le tamis **[51]**. Le pourcentage (P) de la laitance traversant le tamis par rapport à la masse de l'échantillon est donc calculé [AFG00] :

$$P = \frac{\text{Masse de la laitance}}{\text{Masse de l'échantillon}} \times 100 \qquad \textbf{(II.1)}$$

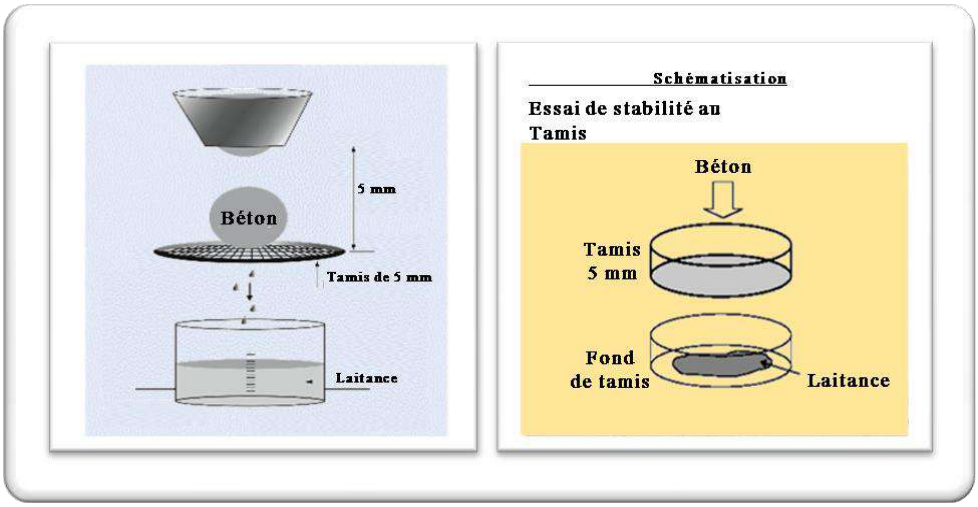


Figure II.8: Essai de stabilité au tamis

La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formulations de béton autoplaçant de la façon suivante (Tableau II.2) **[51].**

Tableau II.2

Critères de stabilité

Conditions	Critères de stabilité	Remarques
0%P 15%	Stabilité satisfaisante	Béton homogène et stable
0%P 15%	Stabilité critique	Vérifier les autres critères d'ouvrabilité
0%P 15%	Stabilité très mauvaise	Ségrégation systématique, béton inutilisable

II.4.3. Etat Durci :

Lorsque le béton a durci, sa forme ne peut plus être modifiée mais ses caractéristiques continuent d'évoluer pendant de nombreux mois (voire des années), les propriétés mécaniques recherchées sont :

- La compacité d'un béton (ou sa faible porosité) est un avantage déterminant pour sa durabilité ;
- Une bonne résistance à la compression est la performance souvent recherchée pour le béton durci ;
- Les phénomènes de retrait sont une caractéristique prévisible dans l'évolution du béton ;
- Les caractéristiques de déformations sous charge du béton sont connues et peuvent être mesurées.

II.4.3.1. Résistance à la compression :

Les BAP se caractérisent par un rapport E/C bas, ce qui amène à des bonnes résistances mécaniques **[52].** L'utilisation de fillers dans une formulation de béton génère une accélération de sa résistance mécanique aux jeunes âges.

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 suite.

Zhu et Gibbs ont montré que la résistance de BAP utilisant la poudre de pierre à chaux augmente de 50 à 80% de celle de référence à 7j et de 20 à 40% à 28j, ils ont expliqués cette augmentation par la poudre à pierre à chaux accélère l'hydratation de ciment et augmente la résistance aux jeunes âges.

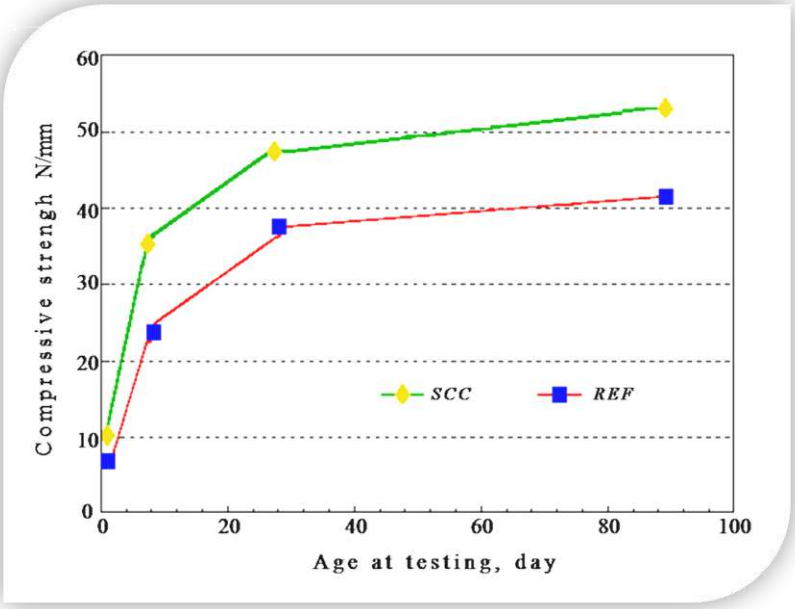


Figure II.9: Evolution de la résistance mécanique
D'un BAP (SCC) et d'un BV (REF)

Ainsi, l'introduction Le dosage plus ou moins important en adjuvants dans les formulations de BAP peut aussi avoir une influence d'un agent de viscosité peut diminuer sensiblement la résistance mécanique d'un BAP aux jeunes âges. **[53]**

II.4.3.2. Résistance à la traction par flexion

Gibbs 99 ont constatés qu'il n'y aucune différence entre la résistance à la traction des BAP et celle des bétons référence. Par contre, Gibbs 02 ont montrés que la résistance à la traction est plus grande que la résistance des bétons références.

En comparant des mélanges de BAP ont le même E/C on trouve que le type et la finesse de poudre affecte peu la résistance en traction. **[52]**

II.4.3.3. Module de Déformation Longitudinal

Comme la grande masse du volume de béton est représentée par les agrégats, le type et la quantité de ces derniers ainsi que les modules d'élasticité ont la plus grande influence sur le module d'élasticité du béton. En choisissant des agrégats ayant un module élevé augmentera le module d'élasticité du béton.

Par contre, un béton ayant un grand volume de pâte pourrait affaiblir la valeur du module d'élasticité du béton. Parce que les bétons autoplaçants ont un grand volume de pâte, leurs modules d'élasticités peuvent être, en quelque sorte, plus faibles que ceux des bétons ordinaires.

Assié et **al [54**] ont trouvé que, d'une part et malgré qu'avec un rapport E/C élevé, les BAP présentaient une meilleure résistance à la compression que les bétons ordinaires, d'autre part la quantité plus élevée de pâte dans les BAP a généré une réduction dans le module d'élasticité par rapport au béton ordinaire.

Nassif et **al [55]** attestent que le module d'élasticité est proportionnel à la racine carrée de la résistance à la compression et que plus la résistance est élevée plus le module d'élasticité est élevé. Or ceci, d'après les auteurs, ne peut être valable que si le seul paramètre est le rapport eau/poudre.

Persson [56] avait trouvé que le module d'élasticité, le fluage et le retrait du BAP ne diffèrent pas significativement de celles du béton ordinaire quand la résistance est constante.

Felekoglu et **al [57]** ont montré que les mélanges de BAP ont des modules d'élasticité faibles comparés à ceux du béton traditionnel. En général cette tendance peut être attribuée à la faible quantité de gros granulats et la grande quantité de la pâte.

II.4.3.4. Le retrait :

Entre la fabrication et le début de prise, le béton ne présente pas de cohésion et se trouve en phase dite plastique. Pendant cette période, le béton subit une contraction de volume appelée premier retrait ou retrait plastique. Celui-ci est le résultat de plusieurs phénomènes chimiques ou physiques qui ont lieu dans un matériau en perpétuelle évolution.

La prise constitue la transition entre le moment où le béton ne présente pas de cohésion et celui où il commence à devenir résistant. Avant la prise, les déformations libres du béton sont dues à la gravité, aux réactions d'hydratation et aux échanges thermiques avec le milieu extérieur.

Juste après le coulage, le béton est un mélange de particules solides, d'eau et d'air en suspension. Etant donné les différences de masse volumique, les grains de ciment et les granulats ont tendance à ségréger et contraignent l'eau et les bulles d'air à percoler vers la surface.

Ce phénomène, appelé ressuage, engendre une couche d'eau superficielle et un tassement de la matrice cimentaire (Figure II.10).

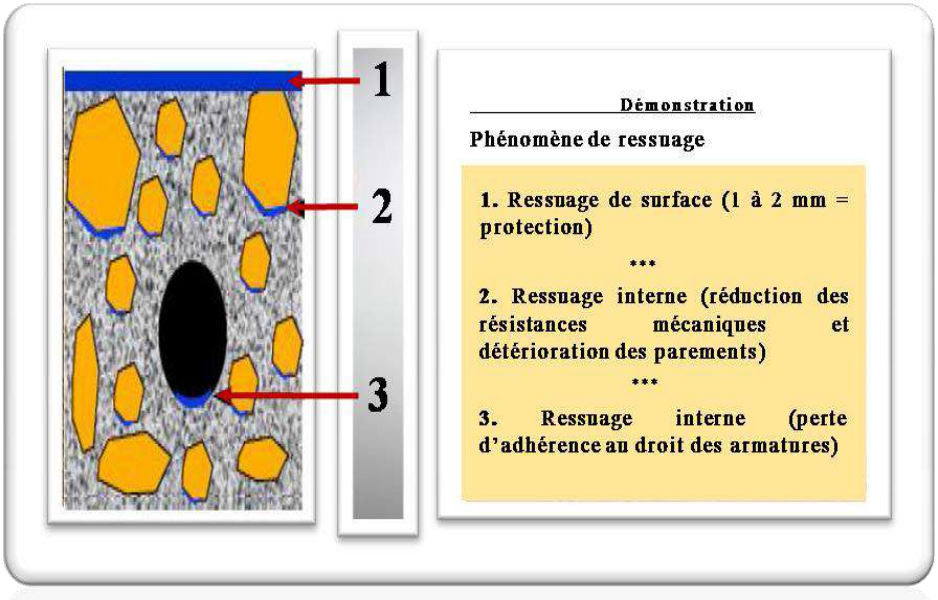


Figure II.10 : Phénomène de ressuage.

A. Le Retrait Thermique (plastique) :

Plusieurs travaux ont comparé le retrait plastique du BAP et celui du béton vibré **[57**]. **Gram** et **Piiparinen [59**], ont observé des retraits plastiques deux à trois fois plus grands pour les BAP que pour les bétons ordinaires (Figure II.11).

Pour Turcry [58], l'amplitude maximale du retrait plastique des BAP est environ cinq fois supérieure à celle des bétons ordinaires.

Ces différences semblent pouvoir s'expliquer par deux paramètres de formulation qui changent d'un type de béton à l'autre : un rapport (E/F) plus faible pour les BAP et un dosage en superplastifiant des BAP plus fort qui retarde leur prise.

Par conséquent, pour minimiser ce retrait plastique, il est préférable de choisir une addition dont la demande en eau est faible afin de limiter le dosage en superplastifiant. Selon Song et al **[60],** le laitier rempli bien cette condition.

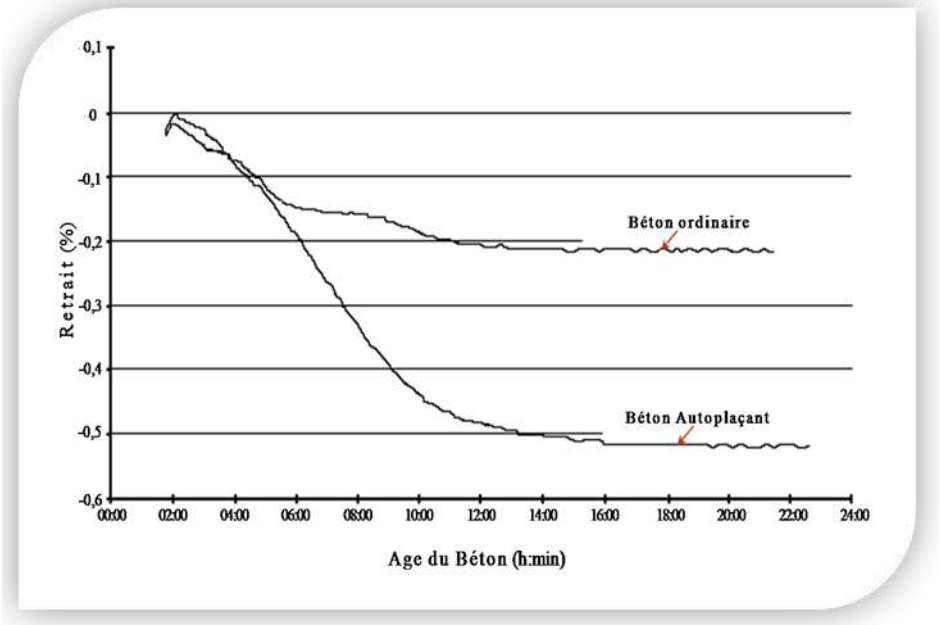


Figure II.11 : Retrait plastique de BAP et de béton vibré de structure (T=20°C, 50% HR).

B. Le Retrait Endogène ou d'Autodessiccation :

L'hydratation du ciment s'accompagne d'une diminution de volume. Après la prise, l'hydratation se poursuit. Le retrait endogène est la conséquence macroscopique de la contraction

C. Le Retrait de Séchage ou de Dessiccation :

Est la déformation volumique créée par le séchage à la surface du béton. Le moteur de la dessiccation est un déséquilibre hydrique après la prise, l'humidité relative est plus élevée au sein du béton que dans l'air ambiant **[61].**

D. Fluage :

Le fluage peut être défini comme une augmentation de la déformation sous une contrainte constante. Comme cette augmentation de la déformation peut être plusieurs fois supérieure à la déformation sous l'application d'une charge, la prise en compte du fluage est d'une importance considérable lors de calcul des structures de bétons. Le phénomène de fluage dépend de la distribution des efforts au sein de la structure et aussi de type de matrice de ciment.

Proust trouve des valeurs de même ordre de grandeur de BAP et pour BV. Ces résultats sont confirmés par Turcry, où il indique qu'en compression, le fluage total du BAP est identique à celui de BV. **[62]**

II.5. FORMULATIONS ET COMPOSITIONS DES BAP

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

Même si de nombreuses études ont été effectuées pour comprendre les principes qui régissent le comportement de ces bétons en milieux confinés, aucune méthodologie pratique de formulation ne semble avoir été établie, permettant à un chercheur ou à un ingénieur de fabriquer un béton autoplaçant à partir de données de base sur les matériaux locaux et un cahier de charges précis **[63].**

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

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

II.5.1. Formulation OKAMURA ou "La Méthode Générale" (Japon) :

Considérée comme la méthode générale de formulation, la formulation OKAMURA a été développée à l'Université de Tokyo par Okamura, d'après Ozawa et al rapporté par **[63].**

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

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

$$G = \frac{50}{100} G_{lim} (1 - A) \qquad \textbf{(II.2)}$$

Où:

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

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

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

Où:

$$S = \frac{40}{100} \frac{(1 - A - G)}{(1 - K_{sf})} \qquad \textbf{(II.3)}$$

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

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

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

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

- La fluidité du mortier, donnée par:

$$D = \frac{d^2 - d_0^2}{d_0^2} \qquad \textbf{(II.4)}$$

Avec ;

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

- La viscosité du mortier, donnée par:

$$T = \frac{10}{t} \qquad \textbf{(II.5)}$$

Avec ;

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

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

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

$$D = 5 \text{ et } T = 1 \pm 0{,}1 \qquad \textbf{(II.6)}$$

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

II.5.2. Formulation LCPC (France) :

L'approche développée en France au LCPC par Sedran et De Larrard **[64]** est basée sur le modèle d'empilement compressible qui passe par l'optimisation de la porosité du système formé par les grains solides. Un arrangement optimal du squelette granulaire permet d'obtenir une meilleure résistance et une plus grande ouvrabilité.

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

Cette approche, basée sur la synthèse d'une quinzaine d'années de recherches, est simplifiée par la mise en œuvre d'un logiciel (Bétonlabpro 2) prenant en compte tous les paramètres de calcul de cette démarche **[65]-[66]**, et permettant de déterminer des formulations de différents types de bétons (bétons à haute performance, bétons ordinaires, bétons secs pour démoulage immédiat, bétons autoplaçants).Pour un béton autoplaçant, les grandeurs exigées à l'état frais sont :

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

Ces critères correspondent selon les auteurs à un béton assez fluide et qui ne présente pas deségrégation. Une proportion de liant (ciment + addition) est fixée à priori, pour laquelle on détermine le dosage à saturation du superplastifiant utilisé. Selon l'expérience des auteurs, le dosage de saturation pourrait conférer au béton une viscosité élevée, par conséquent la moitié de ce dosage serait plus pertinente.

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

II.5.3. Formulation CBI modifiée

La principale modification et extension de la méthode CBI est apportée par Bui et al dans **[67],** qui ont proposé un critère supplémentaire pour obtenir un béton autoplaçant. Il s'agit d'ajouter un volume de pâte pour assurer un espacement minimal suffisant entre les granulats afin de réduire les frictions et les frottements entre les granulats.

Leur méthode consiste à calculer l'épaisseur moyenne de la pâte autour des granulats du béton autoplaçant, grâce à une base de données importante de formulations de bétons **[68].** L'espacement moyen entre les particules varie selon les auteurs entre 0,3 et 1 mm.

II.5.4. Formulation JSCE

La démarche proposée en 1998 par la Japanese Society of Civil Engineers (JSCE) est fondéesur des travaux de recherche et des applications pratiques. Dans cette formulation, la quantité d'eau, le rapport eau/poudres et la teneur en poudre varient en fonction de l'utilisation ou non d'un agent de cohésion. Les points principaux de cette formulation sont **[69]:**

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

- Quand un agent de viscosité est utilisé, la quantité d'eau se situe idéalement sous les 180 kg/m^3 dans les conditions d'exposition normales. Si la durabilité du béton n'est pas une contrainte majeure, et uniquement dans ce cas, il peut être utilisé jusqu'à 190 kg d'eau par m^3. En absence d'agents de viscosité, la quantité d'eau doit être située entre 155 et 175 kg/m^3.

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

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

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

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

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

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

II.6. CONCLUSION

Dans cette revue bibliographique, nous avons surtout axé notre recherche sur les bétons auto plaçant qui sont considérés comme béton fluides par excellence. Il s'avère ainsi que les principales propriétés d'ouvrabilité d'un BAP sont le remplissage, la résistance à la ségrégation et la capacité de passage dans les milieux confinés et fortement a voit ferraillés. Un béton est qualifié d'auto plaçant lorsque ces trois critères sont vérifiés.

Notre étude sera à l'échelle du mortier, telle que ,on doit analyser les résultats obtenue d'après les essais effectuer et les confrontant aux résultats de la bibliographie, Puis les résultats seront optimiser à la formulation des BAP, qui reste actuellement une des difficultés majeures à son développement et utilisation.

Les principales méthodes de formulation des BAP ont nécessité de longues années de recherches (méthode japonaise, CBI et LCPC) pour leur mise en ci-dessus.

Chapitre III

Béton de fibres

III.1. INTRODUCTION :

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

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

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

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

III.2. RÔLES DE FIBRES

Au début, les chercheurs ont essayé, par l'addition de fibres, d'augmenter les caractéristiques mécaniques du béton comme la résistance à la compression et la résistance à la flexion, mais le résultat obtenu était limité.

Il n'a été constaté que le rôle principal des fibres dans un matériau cimentaire peut-être apprécié sous deux volets :

- Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures (Figure III.1)
- La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes (Figure III.1)

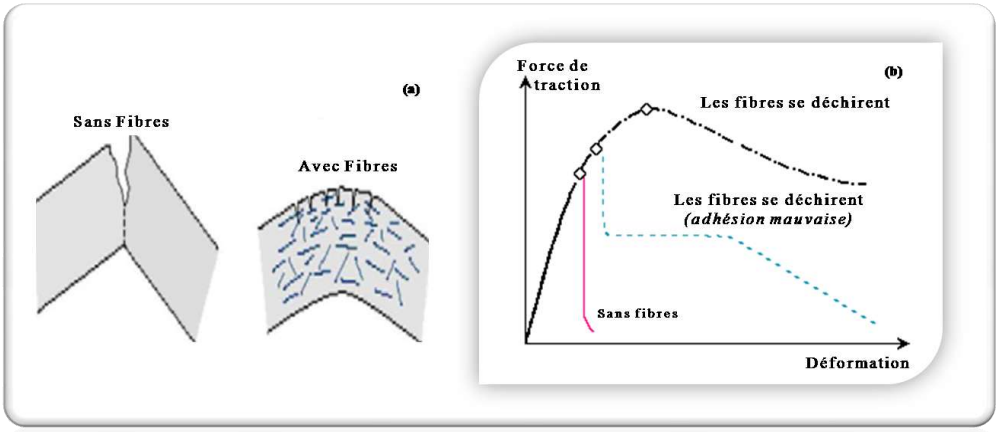


Figure III.1 : Illustration de l'apport du renfort par des fibres **[70].**

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

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

III.3. FACTEUR INFLUANT SUR LE COMPORETEMENT 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 III.2**). On peut donc aisément comprendre qu'il est extrêmement difficile de généraliser l'apport exact des fibres par rapport à un béton ordinaire car le nombre des paramètres influant sur son comportement est considérable.

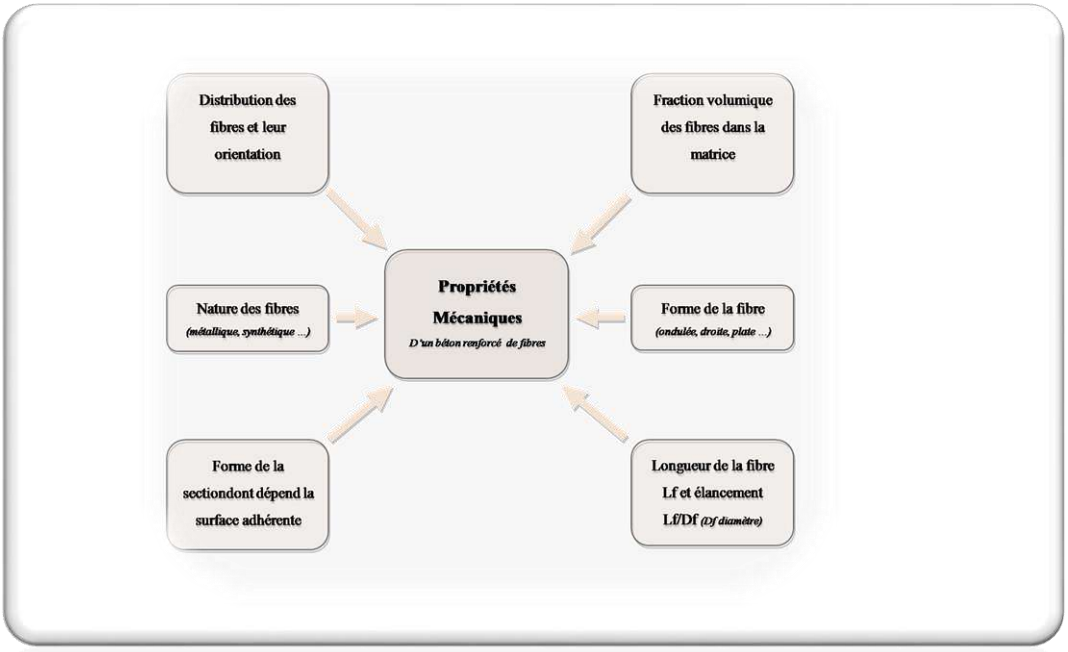


Figure III.2 : Différents Facteurs Influant
Sur Le Comportement Mécanique D'un Béton Renforcé De Fibres

III.4. DIFFERENTS TYPES DE FIBRES UTILISEES :

III.4.1. Les fibres métalliques :

Les fibres métalliques (**Figure III.3**) sont largement utilisées et leurs effets sur les propriétés rhéologiques et à l'état durci aussi bien que sur la durabilité ont fait l'objet de nombreuses études **[71]**.Les fibres d'acier sont sans doute les plus utilisées. Elles ont fait l'objet de plusieurs recherches.

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

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

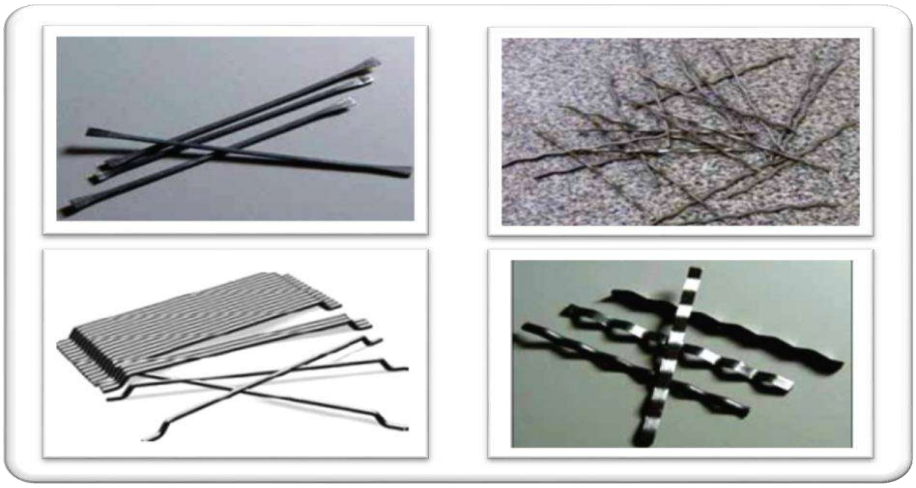


Figure III.3 : Quelques formes de fibres d'acier

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

- augmentent considérablement la résistance à la traction du matériau, sa ténacité ou encore sa capacité d'absorption d'énergie
- elles réduisent en même temps la fissuration malgré le surpoids lié à leur masse volumique élevée.

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

III.4.2. Les fibres minérales :

III.4.2.1. Les fibres de verre :

Les fibres de verre (**Figure III.4**), par leurs qualités mécaniques et leur coût modéré, ont été les premières fibres artificielles utilisées dans les matériaux de construction. Cependant, les applications sont limitées en raison de leur faible résistance chimique aux alcalins.

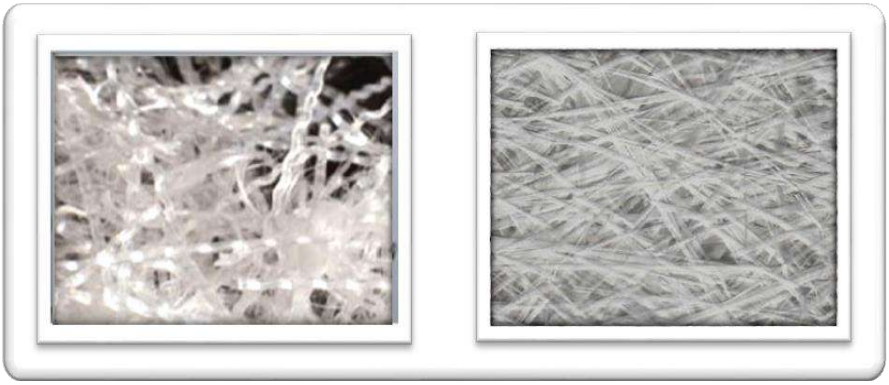


Figure III.4: Fibres de verres

III.4.2.2. Les fibres de carbone :

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

Les fibres (**Figure III.5**) de carbone sont caractérisées par :

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



Figure III.5: Fibres de carbones

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

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

Les fibres de carbone peuvent être classées comme suit :

- Selon le type de précurseur :
  - Fibres isotropiques "PITCH" caractérisées par un module élastique élevé.
  - Fibres polyacrilonitrile "PAN" caractérisées par une résistance ultime et un coût très élevés.
- Selon les propriétés physiques et mécaniques :
  - Module élastique élevé (HM).
  - Haute résistance (HR).

III.4.3. Les fibres organiques :

III.4.3.1. Les fibres d'Aramide :

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

Les fibres d'aramide (**Figure III.6**) sont caractérisées par :

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



Figure III.6: Fibres d'Aramide hachées et en files

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

- Kevlar (Dupont, USA)
- Twaron (Akzo, Pays-Bas)
- Technora (Teijin, Japon)

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

III.4.3.2. Les fibres de polypropylène

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

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

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



Figure III.7: Fibres de polypropylène

III.4.4. Les fibres végétales

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

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

L'utilisation de fibres naturelles (**Figure III.8**), et en particulier de fibres végétales comme renfort de matériaux composites, présente deux principaux avantages :

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

Deuxième avantage : La valorisation des fibres végétales permet la réduction des impacts environnementaux par rapport à des composites conventionnels puisque ce sont des matières premières renouvelables, biodégradables, neutres vis-à-vis des émissions de CO2 et demandant peu d'énergie pour être produites.



Figure III.8: Fibres végétales

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

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

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

III.4.4.1. Classification des fibres végétales

Les fibres végétales sont classées en quatre groupes suivant leur provenance, à s'avoir : les fibres de feuille, de tiges, de bois et de surface.

A. Les Fibres de Feuilles

Ces fibres sont obtenues grâce au rejet des plantes monocotylédones. Les fibres sont fabriquées par chevauchement de paquet qui entoure le long des feuilles pour les renforcer ces fibres sont dures et rigides.

Les types de fibres de feuilles les plus cultivées sont la fibre de sisal, de Henequenet d'abaca **[72]**.De ces faits, plusieurs chercheurs tels que : NILSSON **[73]**, AYYAR et al **[74]** ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuilles.

B. Les Fibres de Tiges

Les fibres de tige sont obtenues dans les tiges des plantes dicotylédones. Elles ont pour rôle de donner une bonne rigidité aux tiges de plantes. Les fibres de tige sont commercialisées sous forme de paquet de cor et en toute longueur. Elles sont par la suite séparées individuellement par un processus de défilage.

Les fibres, une fois séparées, sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton. Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie desunn, de kennaf, de urena et de chanvre **[75]**.NILSSON **[73]** rapportent que les fibres de tige, les plus utilisées dans le renforcement du ciment, sont celles de sunn, de chanvre et de jute.

C. Les Fibres de Bois

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes. Plusieurs chercheurs **[72], [76]** ont montré l'efficacité de ces fibres dans le renforcement des ciments.

D. Les Fibres de Surface

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige, de fruits ou de grains. Les fibres de surface des grains constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco (coco).

Les fibres de coco ont donné de bons résultats pour la résistance à la flexion du ciment de fibre **[77].**Il est à noter que, les fibres de palmier, qui entourent son tronc, appartiennent à cette famille de fibres.

III.4.5. Les fibres animales

Pour les fibres animales, on peut trouver :

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

III.5. PROPRIETES MECANIQUES DE BETON DE FIBRE :

III.5.1. Résistance à la compression :

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

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

Dans la matrice, la fibre peut avoir deux effets contradictoires : celui en premier de maintenir les fissures ce qui favorable pour la phase post pic, et celui en second de créer des défauts supplémentaires à l'interface fibres - mortier ce qui peut contribuer a l'endommagement et donc limiter la charge maximale **[78].**

III.5.2. Résistance à la traction par flexion :

L'augmentation de la résistance en flexion du béton de fibre est beaucoup plus importante, elle peut atteindre 200 % et plus. Elle est due à la déformabilité du matériau. Il y a un déplacement de l'axe neutre durant la flexion. La flexion varie avec la géométrie de la fibre, son orientation et son adhérence à la matrice **[78].**

Avec les fibres de polypropylène, Dardare **[79]** a obtenu des augmentations de résistance en flexion beaucoup plus faible est même des diminutions lorsque le pourcentage dépassait 1%, il explique ces diminutions par des mauvaises homogénéités du béton, dues à, des valeurs E/C trop élevées. Ainsi, le pourcentage de 1 % en volume doit être un maximum à ne pas dépasser résistance en flexion de l'éprouvette non renforcée résistance en flexion de l'éprouvette renforcée.

III.5.3. Résistance au choc :

Sous l'action de sollicitation dynamique, les structures en béton de fibres présentent souvent un très bon comportement, en augmentant les charges de rupture, en modifiant parfois les schémas de fissuration. Certains auteurs (Dardare et autre **[79]** vont jusqu'à comparer le renforcement par des fibres au renforcement par armatures traditionnelles.

III.5.4. Résistance à l'usure

La résistance à l'abrasion du béton de fibres n'est pas sensiblement augmentée d'autre auteurs affirment qu'après élimination de la laitance superficielle et mise à jour des fibres, la résistance est améliorée d'environ 15 % **[80].**

III.5.5. Résistance aux agents extérieurs

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

Les fibres peuvent cependant réduire les dommages dus au gel car elles empêchent la fissuration. Pour obtenir une bonne résistance au gel et à la corrosion par le sel, il faut aussi s'assurer qu'il y a suffisamment d'air entraîné dans le mélange **[80].**

III.5.6. Module de Young

Cette caractéristique mécanique est aussi importante que les précédentes car elle conditionne la rigidité des structures. En comparant un béton sans fibre à des bétons de fibres bruts, on note une légère augmentation du module avec la teneur en fibres qui peut s'expliquer à l'aide de la loi des mélanges **[81].**

Pour ZHANG **[82]** ont trouvé qu'en général, le module est affecté principalement par les propriétés de la matrice du béton. Quant au béton de fibres optimisé, le sable induit une baisse de module par rapport au béton témoin. Selon Rossi **[83]**, la chute de la résistance et du module de Young des BRF s'explique par une quantité plus considérable de sable et de pâte de ciment que celle d'un béton ordinaire, mais aussi par une porosité plus élevée.

BENTALHA [84], ont trouvé dans leurs recherches que le module expérimental du béton renforcé de fibres métalliques est légèrement supérieur au béton témoin et qu'il s'accroît avec la longueur des fibres.

III.5.7. Ténacité de la matrice

Les performances mécaniques des BRF s'évaluent d'une manière différente de celles des bétons conventionnels. Les notions de ténacité et de ductilité priment sur celles de résistance mécanique. Ainsi, il est important de pouvoir juger adéquatement des performances post fissuration des composites **[85].**

La fragilité est la caractéristique d'un matériau qui se casse brutalement lorsqu'il atteint sa résistance ultime. La ténacité correspond à la résistance du matériau à la propagation des fissures **[85].** La ténacité est définie selon ACI 544**[86]** comme suit: "La ténacité est une mesure de la capacité d'absorber l'énergie pendant la déformation.

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

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

Ainsi, la rupture ductile correspond à la décohésion des granulats de la matrice, qui se fait de manière progressive. Par contre, la rupture fragile correspond à la rupture inter-granulaire, qui est plus brusque **[85]**.

Dans le cas du chargement en flexion, la surface sous la courbe charge-déflexion est utilisée pour estimer la capacité d'absorption d'énergie ou la ductilité du béton **[82]**. La ténacité en flexion peut être évaluée à l'aide de la norme ASTM C 1018, à partir des courbes de charge-déflexion.

La résistance en flexion peut également être déterminée à partir de la lecture maximale de la charge dans ce test et à partir de l'ASTM C 78. D'après ASTM C 1018, les indices I5, I10 et I30 correspondent aux déflexions de 3 ; 5,5 et 15,5 fois de la déflexion correspondant à la première fissure se déterminent comme il est illustré sur la figure **III.9**.

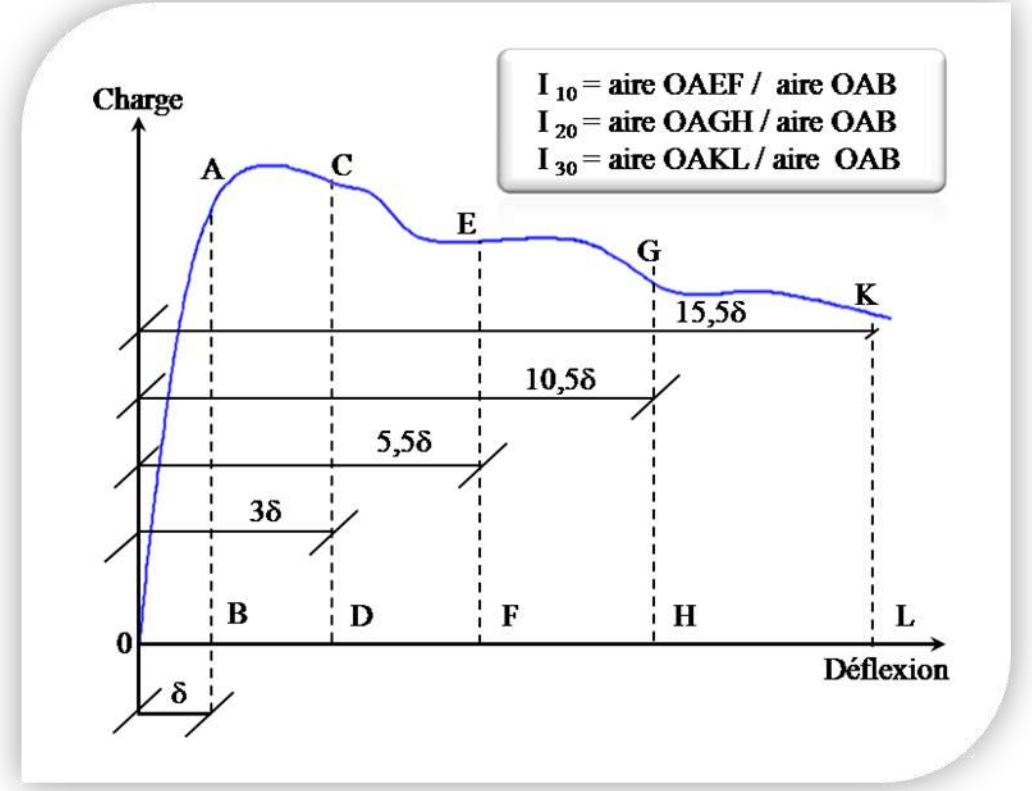


Figure III.9 : Indices de ténacité du diagramme Charge-déflexion en flexion

Comme il est montré sur la figure **III.10**, l'indice de ténacité I30 (des bétons de fibres de polypropylène) est influencé par le dosage en fibres, et le rapport E/C, sachant que les séries NF et G correspondent, respectivement à des rapports E/C de 0,40 et 0,50.

L'indice de ténacité dépend largement de la charge de la première fissuration. Les autres facteurs pouvant affectés la ténacité sont la longueur, le matériau et la géométrie des fibres, et les caractéristiques d'adhérence des fibres **[86]**.

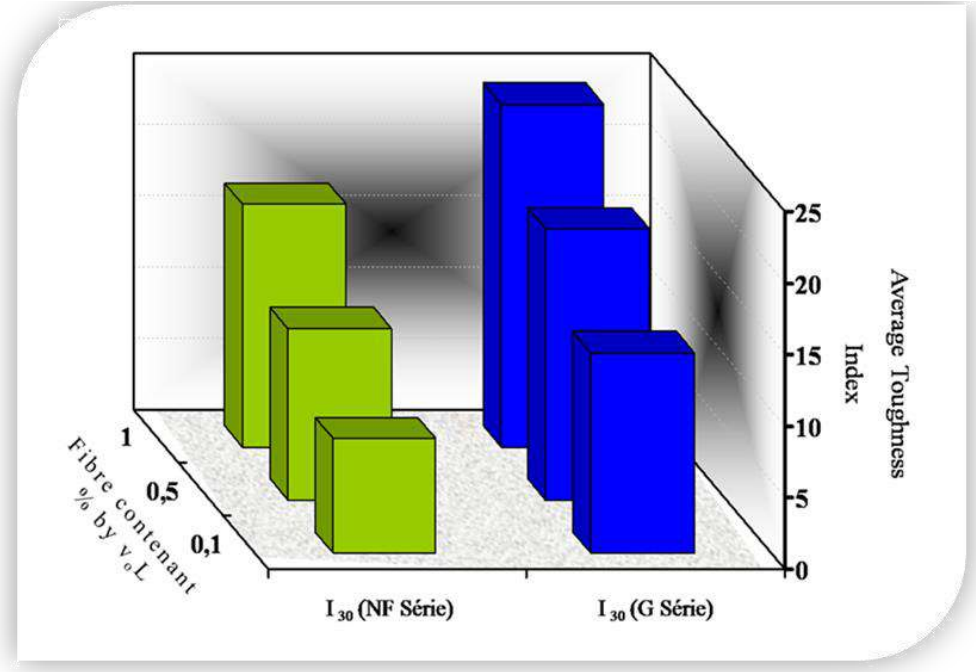


Figure III.10: Indices de ténacité I30 des bétons renforcés
De fibres de polypropylène [86]

III.6. CARACTERISTIQUES PHYSIQUES ET MECANIQUES DES FIBRES

Le tableau I.4 présente les différentes caractéristiques physiques et mécaniques des fibres de diverses natures (voir annexe A).

III.7. BÉTONS AUTOPLAÇANT FIBRÉS :

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

En effet, ce béton de dernière génération se caractérise par une excellente maniabilité qui lui permet de se mettre en place sous l'effet de la simple gravité. L'absence de vibration de ces matériaux évite une distribution hétérogène des fibres dans la matrice.

Bien que le béton autoplaçant renforcé de fibres soit pour l'instant peu utilisé, des chercheurs sont montrés qu'il peut être une solution appropriée pour les applications sur poutres en I en béton précontraint, au niveau des zones fortement ferraillées afin de contrôler la fissuration [87].

L'addition des fibres influe directement sur la rhéologie des bétons à l'état frais et donc de manière similaire sur l'ouvrabilité des BAP. D'après Groth P [88], 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 ».

III.7.1. Influence des fibres sur les propriétés à l'état frais

Grunewald [89] 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.

III.7.1.1. Effet sur l'étalement

L'analyse de ces résultats montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente. Le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans la composition de référence. On remarque aussi sur la (Figure III. 11.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 III. 11.B) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée. La (Figure III.11.C) illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu.

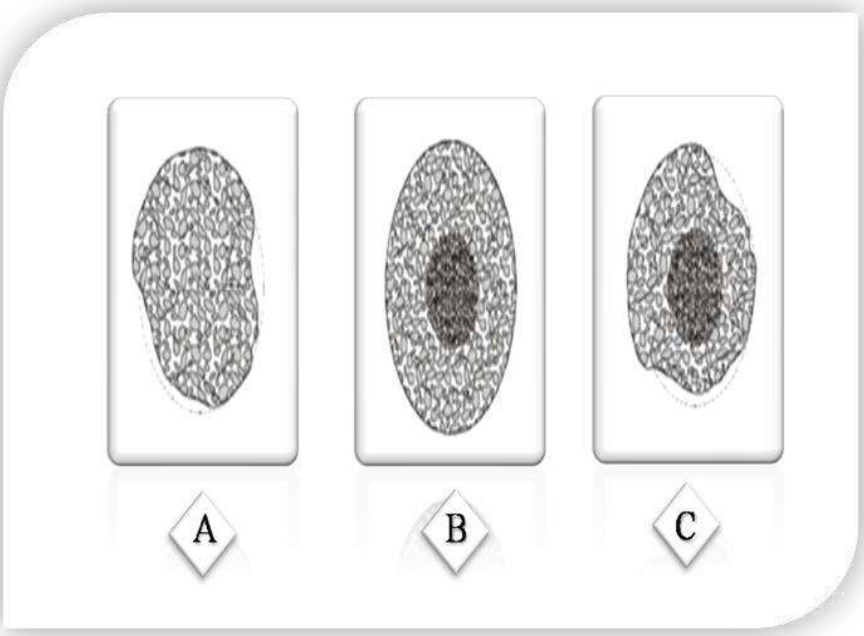


Figure III. 11: Effet des fibres sur l'étalement des BAP [89]

Sachant que l'élancement (Lf/Df) et le dosage en fibres sont les facteurs majeurs influençant l'ouvrabilité, Grünewald et Walraven [89] se sont appuyés sur le facteur fibre défini comme elle produit entre la teneur volumique en fibres Vf et l'élancement. Aucune différence n'a été observée entre l'étalement mesuré directement après malaxage et 1 heure après malaxage. En revanche, une augmentation du facteur de fibre réduit sensiblement l'étalement.

III.7.1.2. 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.

III.7.1.3. Essai J-Ring

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

L'espacement exigé des barres pour le non blocage augmente avec le dosage en fibre. [90] 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

III.7.1.4. Résistance à l'écoulement (relation entre la teneur en fibre et la viscosité plastique)

Grünewald et Walraven [89] 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.

III.7.2. Orientation et distribution des fibres

L'orientation et la distribution des fibres affectent les performances et les caractéristiques des BAP fibrés à l'état durci. [91] 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 [92] a aussi conclu que l'écoulement oriente les fibres. Même si l'écoulement propre aux BAP confère aux fibres une orientation préférentielle, le même auteur est arrivé à la conclusion selon laquelle, aux dosages en fibres courants. L'effet de ce renfort est relativement le même pour un béton vibré ou autoplaçant du moment qu'ils ont la même classe de résistance et le même type et dosage en fibres. Cette conclusion a été tirée en se basant essentiellement sur les performances en flexion.

III.7.3. Utilisation des BAP fibres dans les structures

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

III.7.3.1. Palplanches

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

Spanbeton ; un producteur hollandais d'éléments en béton préfabriqués propose aujourd'hui des palplanches en béton. Ces éléments sont précontraints et renforcés avec des barres en acier. Comparés à ceux en acier, les éléments en béton sont plus durables et peuvent être employés comme partie portante de la charge d'une structure, (Figure III. 12).



Figure III.12 : Deux types de palplanche

III.7.3.2. Voussoirs

Les voussoirs subissent souvent des dommages au cours de la construction. Les fibres, en réduisant la fragilité du matériau, peuvent éviter l'endommagement du béton d'enrobage qui est provoqué par le placement imprécis des voussoirs.

Pendant leur durée de service, ils peuvent être accidentellement soumis à une augmentation de la température provoquée par un feu (Figure III.13).



Figure III.13 : Exemple d'un voussoir

III.7.4. Comportement mécanique des bétons autoplaçants fibrés

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

III.7.4.1. Comportement à la flexion

D'après Groth [88] une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité et du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de fibres.

Alcantara [93,94], Granju et al [95] ont étudié le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibraflex (FM) et synthétiques de type polypropylène (FS). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m^3 pour FM, 9 kg/m^3 pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m^3 pour un fibrage mixte.

Les résultats obtenus sont détaillés ci-après :

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

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

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

- Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques. Les (figures III.14) illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en termes de courbe force-flèche.

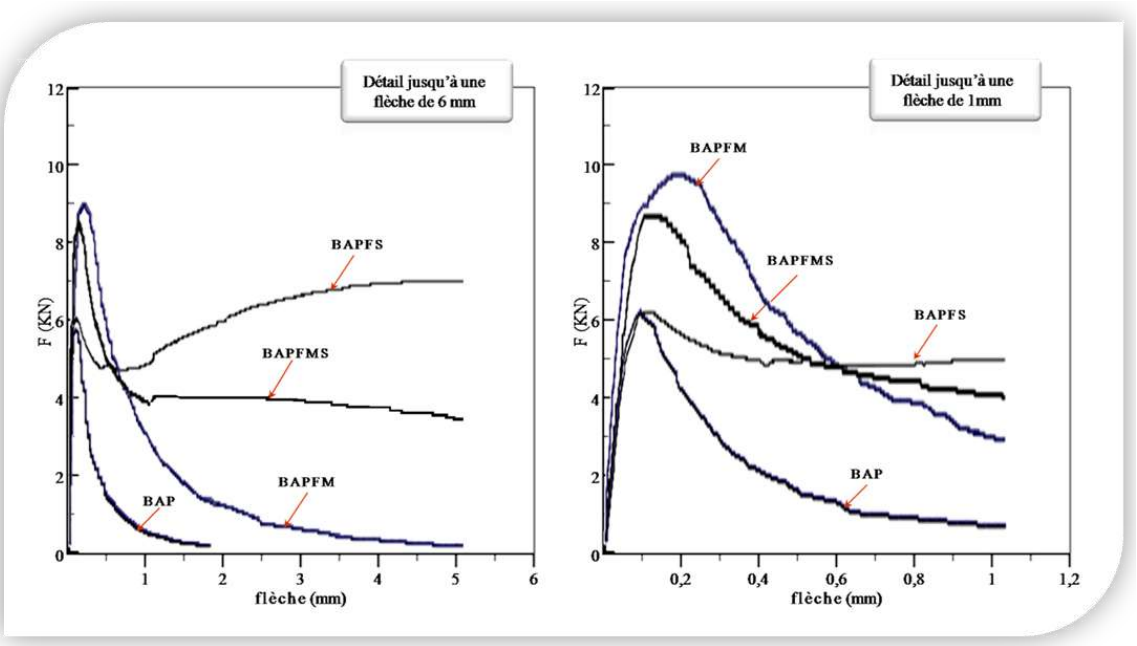


Figure III.14 : Courbe effort-flèche pour différentes compositions [94]

Kawamata et al [96] ont montré que l'augmentation de la longueur et du volume des fibres métalliques améliorait le comportement à la flexion des bétons.

III.7.4.2. Comportement à la compression et à la traction

Dans la même étude réalisée par Alcantara [94], l'auteur a conclu que la résistance à la compression n'était pas significativement sensible à l'adjonction de fibres dans un BAP. La résistance au jeune âge est quelque peu faible, probablement due à un effet retard de l'hydratation des mélanges et/ou des fillers, lié aux adjuvants. Néanmoins, à long terme, la résistance correspond à celle d'un béton ordinaire avec un même rapport E/C.

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

À partir d'essais de traction directe effectués par Pons et Al [97], Les auteurs en ont tiré les principales conclusions ci-après :

- Les fibres métalliques réputées très adhérentes agissent dès les plus faibles ouvertures de fissures ; elles confèrent au matériau une résistance apparente en traction améliorée en agissant dès la microfissuration
- Les fibres synthétiques, glissantes, seront mises en tension plus progressivement et vont ponter les macrofissures en faveur d'une résistance résiduelle à la traction maintenue les deux types de fibres ont des effets complémentaires en agissant sur des niveaux d'ouvertures de fissure différents.

III.8. CONCLUSION

Les bétons de fibre possèdent plusieurs avantages tels qu'une bonne résistance à la fissuration et à la traction, ainsi qu'une bonne ductilité.

Il existe plusieurs loi qui modélisent le comportement de béton de fibre d'acier pour différent types de sollicitation traction, compression en flexion Dans cette étude, on s'intéresse à étudier de l'introduction de fibre métallique sur les propriétés des bétons autoplaçant et sur un béton réparé, puis on va comparer nos résultats avec celui des autres.

PARTIE 2

ETUDE EXPERIMENTALE

CHAPITRE IV

MATERIAUX ET ESSAIS

IV.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre on va présenter les matériaux de construction utilisés pour la confection des bétons étudies avec leurs caractéristiques et les essais faites au laboratoire, comme pour tous les bétons, la formulation doit être définie avec le plus grand soin et les grandeurs caractéristiques sont classiques et bien connues à savoir :

- La granularité ou le fuseau granulaire du squelette
- Les dosages en sable, gravier, ciment, eau, superplastifiant

La caractérisation des bétons à l'état frais, et à l'état durci, nécessite de définir les corps d'épreuve sur lesquels seront mesurées les grandeurs spécifiques du matériau et les techniques d'essai.

La caractérisation des matériaux s'est faite sur six types de béton comme nous les avons montrés dans le tableau ci-dessous :

Tableau IV.1 : Types de béton réalisé

BO	Béton ordinaires (cas de chantier).
BAPT	Béton autoplaçant témoin sans fibres.
BAPFMI 1	Béton autoplaçant de fibres métalliques industrielles MEDAFAC
BAPFMI 2	Béton autoplaçant de fibres métalliques industrielles FIBRETAKA
BAPFMI 3	Béton autoplaçant de fibres métalliques industrielles RC-80/50.
BOR	Béton ordinaires réparé.

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 :

IV.1.1. Essais sur béton frais :

- Affaissement au cône d'Abraham ;
- Essai d'étalement (Slump Flow) ;
- Essai d'entonnoir (V-Funnel) ;
- Essai de la boite en L (L-Box) ;
- Essai de stabilité au tamis.

IV.1.2. Essais sur béton durci :

- Essai de compression sur éprouvettes cubiques 100x100x100 mm ;
- Essai de compression sur éprouvettes cubiques 150x150x150 mm ;
- Essai de compression sur éprouvette cylindrique 160x320 cm pour 28 jours ;
- Essai de module d'élasticité sur éprouvette cylindrique 160x320mm pour 28 jours ;
- Essai de traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 70x70x280mm ;
- Essai de traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 100x100x500mm en 4point ;
- Essai de traction par flexion sur éprouvettes prismatiques 150x150x750mm en 4point ;
- Absorption d'eau par capillarité ;
- Retrait 70x70x280mm ;
- Gonflement 70x70x280mm.

IV.2. VARIABLE ET ETUDE :

Cette étude permet la comparaison des résultats obtenus après la réalisation d'essais sur béton frais et sur béton durci.

IV.2.1. Béton ordinaire (cas de chantiers) :

Il a été décidé d'étudier un béton ordinaire réalisé de même façon de chantiers avec des granulats non lavé non étuvé pour simulé la réalité dans les chantiers.

IV.2.2. Béton Autoplaçant Fibré (béton de réparation) :

Il a été décidé de faire la réparation par un béton autoplaçant, par ce que est un béton qui se met en place sans aucune vibration même dans des endroit très encombrés par les armatures et cela tout en préservant une bonne homogénéité jusqu'au durcissement.

Nous avons utilisé les fibres pour divers applications ou elles servent principalement à contrôler la densité et la largeur de la fissuration de béton plastique ainsi qu'à augmenter la ténacité et accroitre la résistance mécanique de béton.

IV.3. CARACTERISATION DES MATERIAUX UTILISÉS :

IV.3.1. Ciment :

Le ciment utilisé est CPJ-CEM II/A (Matine) **(Figure IV.1**), est un ciment Portland ordinaire 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 **[98] (Annexe B).**

Le **tableau IV.2** résume l'Analyse chimique du ciment et composition hypothétique du clincker, selon la fiche technique du ciment **[99].**

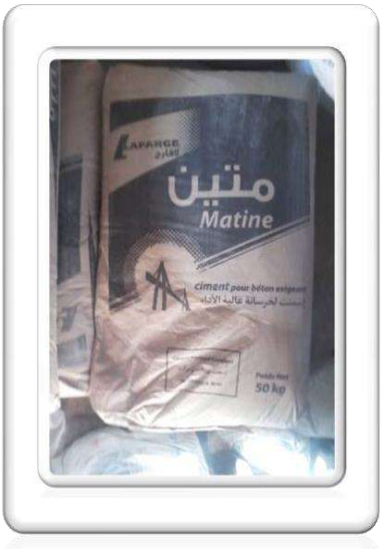


Figure IV.1 : Type de ciment utilisé

Tableau IV.2

L'analyse chimique du ciment et composition du clinker

Analyse chimique Du ciment					**Composition hypothétique Du clincker**	
Perte au feu (%)	Résidus Insolubles (%)	Teneur en Sulfates SO^3 (%)	Teneur en oxyde De magnésium MgO (%)	Teneur en Chlorures (%)	Silicates Tricalciques C3S (%)	Aluminates Tricalciques C^3A (%)
7.00-9.50	**1.50-3.00**	**2.00-2.50**	**1.90-2.30**	**0.01-0.03**	**58.00-64.00**	**6.00-8.00**

IV.3.2. Granulat :

Les granulats utilisés dans notre travail de recherche sont respectivement résumés dans les tableaux et les figures sous-dessous :

Tableau IV.3

Propriétés physiques d'identification des sables utilisés

Caractéristiques	**Type de sable**		**Normes**
Provenance	**Hassi-Bahbah**	**EL HACHIMIA**	
Classe granulaire	**0/3**	**0/5**	
Module de finesse	**0.83**	**3.20**	NF EN 933-1 **[100]**
Module de finesse de sable corrigé	**2.25**		/
Masse volumique absolue (g/cm3)	**2.63**	**2.64**	NF EN 1097-6**[100]**
Equivalent de sable (%)	**80,42**	**91,29**	NF EN 933-8**[101]**
Taux d'absorption d'eau (%)	**0,86**	**0,38**	NF EN 1097-6**[100]**
Taux d'absorption total d'eau (%)	**0,62**		/

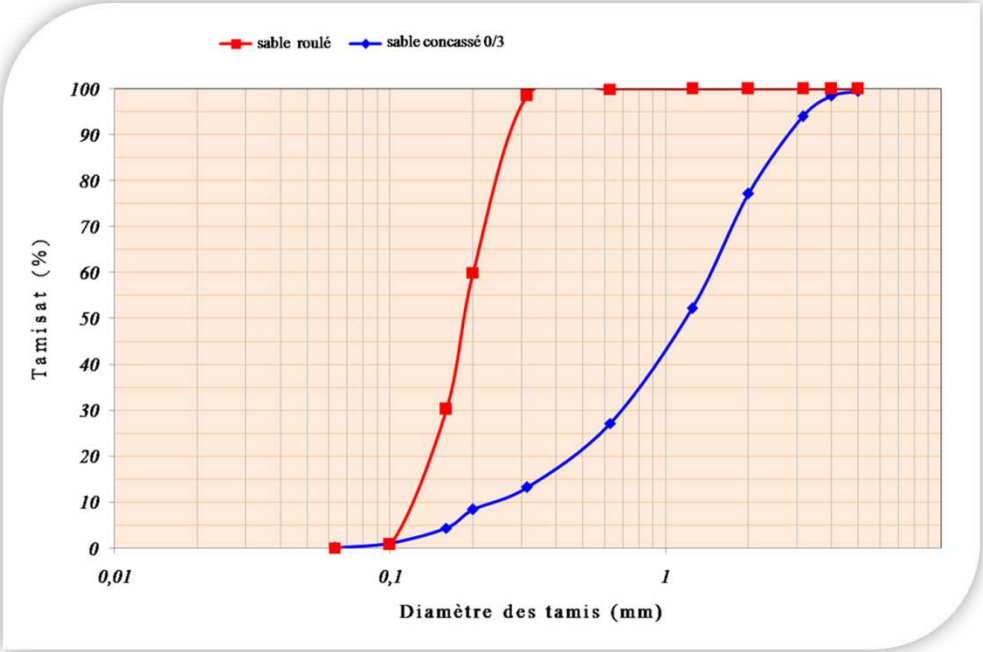


Figure IV.2 : Analyse granulométrique des sables

Tableau IV.4

Propriétés physiques d'identification des graviers utilisés

Caractéristiques	Type de sable		Normes
Provenance	**Kahf el assel**	**Kahf el assel**	
Classe granulaire	**3/8**	**8/15**	/
Masse volumique absolue (g/cm^3)	**2.604**	**2.695**	NF EN 1097-6**[100]**
LA (%)	**25.22**	**23.10**	NA EN 458 **[102]**
Taux d'absorption d'eau (%)	**1.73**	**0.64**	NF EN 1097-6**[100]**
Taux d'absorption total d'eau (%)	**1.18**		/

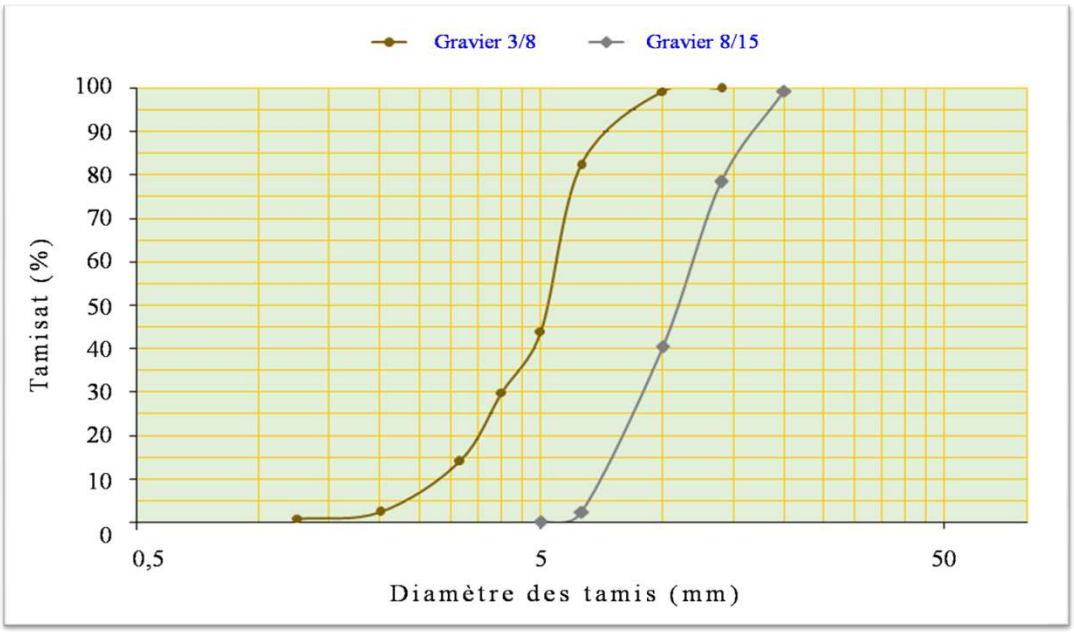


Figure IV.3: Analyse granulométrique des graviers

IV.3.3. Superplastifiant

Pour cette étude, nous avons utilisé un superplastifiant haut réducteur d'eau de la troisième génération fabriqué par la société Granitex-NP et commercialisé sous le nom suivant : **MEDAFLOW 145.**

Il est à base de polycarboxylates d'ether (PC), sa plage normale d'utilisation est fixée par la fiche technique de 0,5% à 2% du poids de ciment **[103]**, **(Annexe B).**

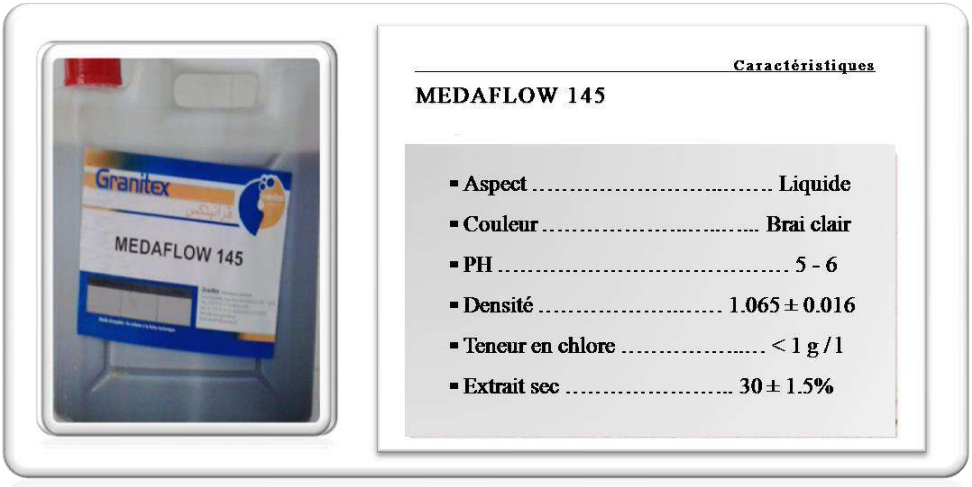


Figure IV.4: Type de superplastifiant utilisé

« MEDAFLOW 145 »

IV.3.4. Eau de gâchage

L'eau de gâchage utilisée dans cette étude est l'eau du robinet de notre laboratoire sans passer par l'analyse chimique de cette eau. Sa température était comprise entre 10 et 22°C.

IV.3.5. Fibres métalliques :

Les fibres métalliques se sont des produits en acier tréfilé. Sa géométrie et ses caractéristiques techniques lui permettent d'offrir au béton une ténacité importante.

Grâce à ses propriétés les fibres permettent d'augmenter les résistances mécaniques du matériau. Le dosage optimal doit être déterminé en fonction du type de béton et des effets recherchés. Pour la déterminer de la masse volumique des fibres utilisées, on a suivre par la norme **[100]**

Dans notre cas, nous avons utilisés trois types de fibres métalliques industrielles (figure IV.5), dont leurs caractéristiques utilisées présenté dans le tableau IV.4.

- METAL FIBRES MEDAFAC (GRANITEX) ;
- METAL FIBRES FIBRETAKA (TEKNA CHEM) ;
- METAL FIBRESRC-80/50-BN(Sika).



Figure IV.5: Différentes formes de fibres utilisées

Tableau IV.5

Les caractéristiques des fibres utilisées

Type	MEDAFAC	FIBRATAK A	RC-80/50.
Formes	Ondulés	Crocher	Crocher
Longueur	50 mm	50 mm	25 mm
Allongement à la rupture	3 à 4 %	3 à 4 %	3 à 4 %
Masse volumique Kg/m^3	760	7.72	7.72

IV.4. LA FORMULATION DU BÉTON :

IV.4.1. Béton Ordinaire :

Le béton ordinaire été formulé à travers, la méthode **DREUX-GORISE** élaboré par laboratoire de la SETAM dans les caractéristiques sont présenté dans le tableau IV.6

Tableau IV.6

Les caractéristiques des granulats

Type	Sable (Bahbah)	Sable 0/3 (Mont Guorno)	Gravier 8/15 (Mont Guorno)	Gravier 15/25 (Mont Guorno)
Absorption par émersion (%)	0.1	0.8	1	1,25
Equivalent de sable (%)	81,1	85,4	---	---
Masse volumique absolue (g/cm^3)	2,67	2,35	2,61	2,40
Masse volumique apparente (g/cm^3)	1,42	1,48	1,27	1,24
Module de finesse (%)	0,9	3,14	---	---
LA (%)	---	---	26,15	24,13

Nous avons pris en considération dans l'élaboration du béton ordinaire les mauvaise conditions sur nos chantier à savoir la mauvaise propriété des granulats ; la teneur en eau variable…… etc.

Dans la caractérisation du béton ordinaire à l'état frais nous avons fixé un affaissement indiqué par sa formulation de béton entre 110-130 mm pour obtenir un béton maniable. La formulation du béton, ainsi que leur caractéristiques à l'état frais sont représenté dans le tableau (**tableaux IV.7**), (**tableaux IV.8**) respectivement.

Tableau IV.7

Composition de béton pour $1m^3$

Composant (kg/ m^3)	Sable fins	Sable Gros	Graviers 8/15	Graviers 15/25	Ciment	Eau	E/C
Quantité (kg)	285,06	406,43	200,8	859,25	350	175	0,5

Tableau IV.8

Caractéristiques de béton ordinaire à l'état frais

Mélange	**M_1**	**M_2**	**M_3**	**M_4**	**M_5**	**M_6**	**M_7**
Affaissement	12	11,5	13	11,9	12	12,5	11

IV.4.2. Béton Autoplaçant :

Les principales propriétés des BAP sont une grande fluidité et une grande résistance à la ségrégation. Ces propriétés sont à priori contradictoires pour un béton ordinaire; l'obtention de l'une faisant souvent au détriment de l'autre, pour réaliser un BAP, il faut obtenir une suspension fluide suffisamment dense de manière à éviter le tassement des plus gros constituants.

À résistance équivalente les BAP ne se différencient des bétons ordinaires que par une quantité supérieure de pâte, regroupant le ciment et les particules fines, par l'introduction d'un superplastifiant et par l'utilisation d'un faible volume de gravillon.

Leur formulation requiert une étude précise notamment dans le choix des constituants, l'optimisation de la teneur en ajout chimique et de la quantité d'eau.

Les caractéristiques des BAP doivent permettre d'assurer :

- La mobilité des matériaux en milieux confinés et non confinés.
- La stabilité, c'est à dire la résistance à la ségrégation et au ressuage.

Les BAP ont une grande capacité de remplissage en zone confinée car leur fluidité et leur résistance à la ségrégation sont telles que le phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle est évité. Ce dernier dépend des propriétés et de la proportion de la pâte qui est directement liées aux caractéristiques du liant et à la quantité d'eau libre, c'est-à-dire à la quantité d'eau non retenue par les différents constituants.

Si le béton contient une forte quantité d'eau libre, une partie des gravillons se sépare facilement du mélange et les forces de collisions et de friction augmentent jusqu'à la formation de voûtes ce qui accentue la ségrégation des constituants. L'effet de la variation des types des fibres métalliques sur ces propriétés est analysé en fixant : le rapport Sable/Mortier à 0.45 et le rapport E/C à 0.40 et le pourcentage de superplastifiant à 1% pour toutes les compositions.

En faisant varier le pourcentage de deux types des fibres métalliques de façon à étudier l'effet direct de cette variation. Nous avons commencé notre recherche et essais par fabrication des bétons, ils sont fabriqués par gâchée de 33 litres dans un malaxeur d'une capacité maximale de 40 litres.

Le **tableau IV.9** présente les différentes compositions des bétons confectionnés lors de la deuxième étape de cette étude. Les différentes proportions ont été calculées selon la procédure donnée en annexe D.

Ces bétons contiennent des volumes fixes en sable et en gros granulats de diamètre maximum 15 mm de l'eau, de ciment et de superplastifiant ; et des volumes variables des fibres métalliques.

Tableau IV.9

Compositions des différents BAPFM étudiés dans 1 m^3 du béton.

		% de fibre	Ciment (kg)	Sable 0/3 (kg)	Sable roulé (kg)	Gravier 3/8 (kg)	Gravier 8/15 (kg)	Eau (kg)	Super-plastifiant	E/C	Les fibres (kg)
	BAPT	**0,0%**	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**205,45**	**5,14**	**0,40**	**0**
BAPFM	BAPFM 1	**0,3%**	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**205,45**	**5,14**	**0,40**	**22,98**
		0,5%	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**205,45**	**5,14**	**0,40**	**38.3**
	BAPFM 2	**0,3%**	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**210**	**5,14**	**0,40**	**23,16**
		0,5%	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**210**	**5,14**	**0,40**	**38.6**
	BAPFM 3	**0,3%**	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**210**	**5,14**	**0,40**	**23,16**
		0,5%	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**210**	**5,14**	**0,40**	**38,6**
		0,8%	**513,6**	**476,07**	**321,2**	**639,80**	**206,73**	**210**	**5,14**	**0,40**	**61,76**

IV.5. TECHNIQUES EXPENTALES :

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

IV.5.1. 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 IV.6**, 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 de gâchage (Eau2 = 30% Eau)

- Malaxer pendant 5 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.

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

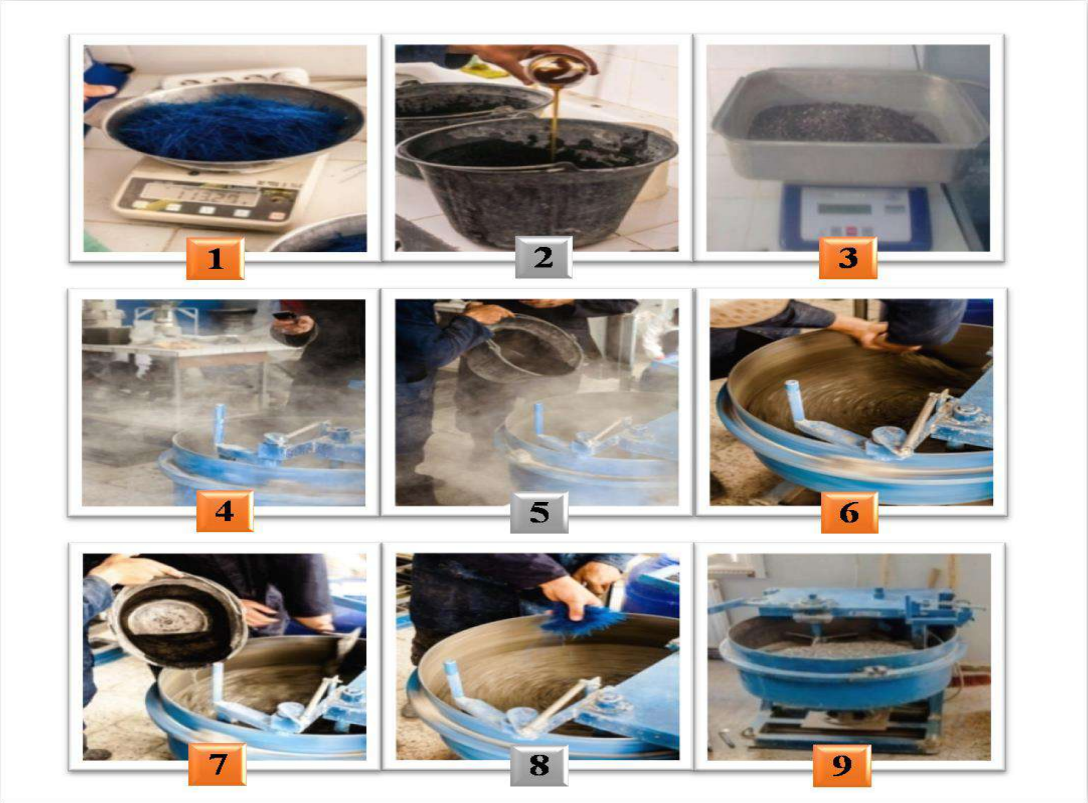


Figure IV.6: Séquence de malaxage du béton autoplaçant témoin et fibré

IV.5.2. Essais sur béton frais :

IV.5.2.1. L'ouvrabilité :

L'ouvrabilité a été mesurée selon la norme **NF EN 12350-2[104],** NA 431 **[105]** ASTM C 143-78 **[35]** en utilisant le cône d'Abrams **(Figure. IV.7).**



Figure IV.7: Essai d'affaissement au cône d'Abrams.

IV.5.2.2. 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 béton autoplaçant**.**

A. Matériel nécessaire :

L'essai d'étalement nécessite les éléments suivants :

- Plaque métallique plane constituant un carré d'au moins 90 cm 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

Après avoir Humidifié la surface de la plaque grâce un chiffon pour éliminer l'eau en excès, on place le Slump Flow sur le centre de la plaque et on équipe la partie supérieure du cône d'un entonnoir avant de prélever un échantillon correspondant au béton représentatif.

Ces préparatoire sont dans le but de remplir le cône en déversant de manière continue, jusqu'à l'arase supérieure du cône en premier temps et en second on retire l'entonnoir et on arase si nécessaire à l'aide d'une truelle.

On soulève le cône verticalement d'une manière minutieuse (à l'aide des deux poignées), et on lance le chronomètre dès le soulèvement du cône jusqu'à ce que le béton atteigne le cercle de 50 cm gradué sue la plaque, cette mesure c'est le T50

Une fois que le béton s'est étalé sur la plaque, on mesure le diamètre final sur deux côtés perpendiculaires, et on détecte visuellement s'il y a des signes de ségrégation de béton (comme présence d'une épaisseur de laitance en périphérie de la galette et accumulation de gravier au centre d'une galette de mortier). Le résultat est exprimé en moyenne des deux valeurs obtenues.

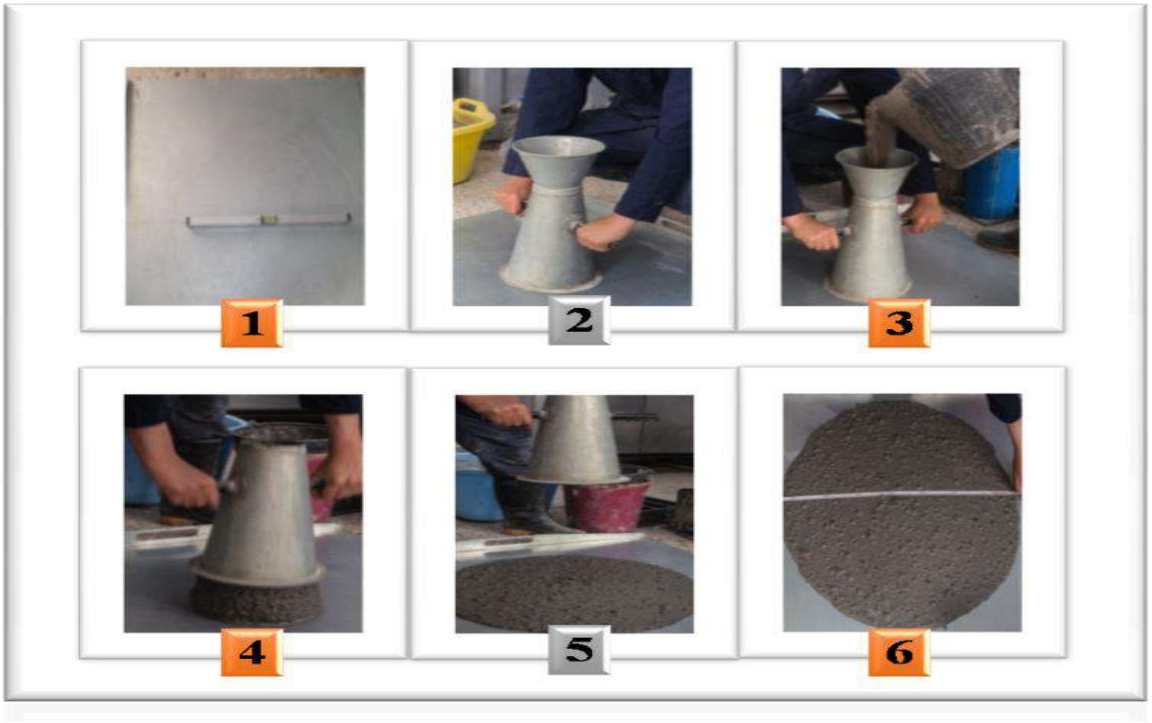


Figure IV.8 : Protocole de l'essai d'étalement.

IV.5.2.3. 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 a passé dans des orifices qui sont petites (capacité de passage / blocage).

A. Matériel nécessaire

Le matériel utilisé pour l'exécution de cet essai est le suivant : Entonnoir V-Funnel ; chronomètre et un seau de capacité de 12 litres

B. Mode opératoire

Apres avoir placé le -Funnel dans un endroit stable et s'assurer que le clapet est bien fermé, nous avons prélevé dans un seau un échantillon de béton représentatif d'environ de 12 litres pour remplir l'entonnoir avec le béton, et puis nous avons mis de seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir avec l'ouverture de clapet. Apres cette opération, nous avons rempli l'entonnoir pour une deuxième fois de béton et nous avons mis le seau au-dessous de l'orifice de l'entonnoir.

Après une attente de 10 secondes, nous avons ouvrit le clapet en laçant le chronomètre et quand la première lumière est apparue à travers l'orifice de l'entonnoir, nous avons arrêté le chronomètre, cette mesure est l'équivalent de temps d'écoulement.

L'ensemble des opérations de cette essai doivent se refaire 3 fois dans le but d'exprimé les résultats en moyenne des trois valeurs du temps d'écoulement obtenues.



Figure IV.9 : Protocole de l'essai d'entonnoir (V-Funnel).

IV.5.2.4. Essai de stabilité au tamis :

Il permet de tester la ségrégation du mélange frais.

A. Matériel nécessaire

L'essai à l'entonnoir en V nécessite les éléments suivants : un seau de 10 litres de capacité + couvercle, Tamis 5 mm + fond et un bascule (précision minimale 20 gr, portée minimale 20 kg).

B. Mode opératoire

Juste après le malaxage, l'entonnoir est rempli par un échantillon de 10 litres de béton, et puis on couvrit le seau pour protéger le béton de la dessiccation et on le laisse pour un temps de 15 mn. Dans cet essai, avant de peser le tamis + fond sur la bascule et faire la tare il faut qu'on pèse le fond seul, et le tamis à vide afin de peser.

Juste après 15 mn on observe et note l'éventuelle présence d'eau claire ressuage à la surface du seau, et puis on verse au centre du tamis un poids de béton égal à 4.8 (tolérance ± 0.2 kg) avec une hauteur de chute de 50 cm ± 5 cm. On note le poids de l'échantillon, et après 2 min d'attente, On calcule :

- Le fond avec la laitance à partir de la formule suivante :

$$P_{laitance} = P_{fond+laitance} - P_{fond} \qquad \textbf{(II.2)}$$

Et ;

- Le pourcentage en poids de laitance par rapport au poids de l'échantillon selon l'équation sous dessous:

$$P = \frac{Masse\,de\,laitance}{Masse\,de\,l'échantillon} x100 \qquad \textbf{(II.2)}$$



Figure IV.10 : Protocole de l'essai de stabilité au tamis.

IV.5.2.5. Essai de La Boîte En L (L-Box)

Cet essai est réalisé en utilisant une boite ayant une forme en L. Elle permet de tester la mobilité du béton en milieu confiné et de vérifier que sa mise en place ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

La partie verticale de la boite est entièrement remplie de béton (le volume nécessaire est d'environ 13 litres). Après arasement, on laisse le béton reposer pendant une minute. Puis on lève la trappe et on laisse le béton s'écouler dans la partie horizontale de la boite à travers le ferraillage. La distance libre entre les barres est de 39 mm.

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs 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 amoncellent de granulats en aval de la grille.

C'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation. Il est également possible d'exprimer le résultat de l'essai par la seule valeur de H_1. Cette mesure est plus précise que le rapport H_2/H_1 mais son utilisation est moins répandue.



Figure IV.11 : Protocole de l'essai de la boîte de L-Box.

IV.5.3. Essais sur Béton durci

IV.5.3.1. Résistance à la compression

L'essai de compression est mené sur des éprouvettes de forme cubique normalisées de 10 cm d'arrête (norme NF EN 12390-3 **[106]**, NA 427**[107]**).

La vitesse de chargement est constante. La machine d'essai est une presse de force de classe « B » et d'une capacité maximale de 2000 KN conforme à la norme NF P 18-412**[108],** (**Figure. IV.12**).

Les éprouvettes sont conservées sans être déplacée pendant 24 heures. Après démoulage, les éprouvettes sont conservées jusqu'à réalisation des essais dans le même milieu ambiant. L'essai a pour but de connaître la résistance à la compression. L'éprouvette étudiée est soumise à une charge croissante jusqu'à la rupture.

La conduite de l'essai est la suivante : L'éprouvette, une fois rectifiée doit être centrée sur la presse d'essai avec une erreur inférieure à 1% de son diamètre. La mise en charge doit être effectuée à raison de 0.5 MPa avec une tolérance de {0.2 MPa. Pour des éprouvettes de 10x10x10 cm, cela signifie une montée en charge de 10 KN /s} 4 KN / s.



Figure IV.12 : Presse hydraulique (2000 KN)

La charge de rupture est la charge maximale enregistrée au cours de l'essai. La résistance à la compression est le rapport entre la charge de rupture et la section transversale de l'éprouvette.



Figure IV.13 : Protocole de l'essai de compression

IV.5.3.2. Résistance à la traction par flexion :

A. Résistance à 3 point :

Cet essai est homologué de norme NF P 18-407 [109], NA 428 [110], ASTM C293 [59], et permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé.

Il consiste à rompre en flexion des éprouvettes prismatique normalisées de côté a et de longueur L=4a (7 x 7 x 28) à chaque âge d'essai 7, 28 et 56 jours.

Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-411 munie d'un banc de flexion 3 points (Figure IV.14). La résistance à la traction par flexion est calculée par la formule suivante :

$$\sigma_f = \frac{3PL}{2a^3} \qquad \textbf{(II.2)}$$

On affecte un coefficient de 0,6 aux valeurs trouvées pour tenir compte de la plastification du béton en ont déduit les résistances à la traction (σ_t) :

$$\sigma_t = 1.8\frac{PL}{2a^3} \qquad \textbf{(II.2)}$$

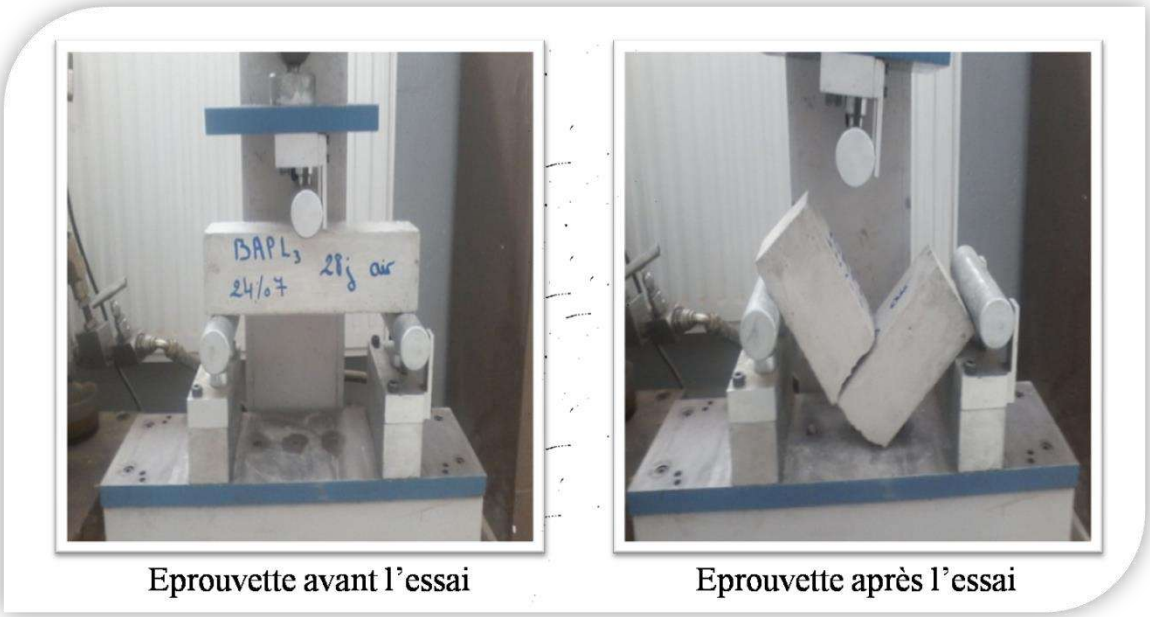


Figure IV.14 : Essai de traction par flexion.

B. Résistance à 4 point :

Des éprouvettes prismatiques normalisées, de dimensions 150 x150150 mm ont été utilisés pour la détermination de la résistance à la traction. Les mesures sont faites sur une presse qui répond aux normes NF P 18-411 munie d'un banc de flexion à 4 points (Figure IV.15).

Cet essai est homologué de norme NF P 18-407 [109], (NA 428), ASTM C293 [111], et permet de déterminer la résistance à la traction par flexion du béton étudié. C'est l'essai le plus couramment utilisé. Il consiste à rompre en flexion une éprouvette prismatique de côté a et de longueur 4a.

Pour une charge totale P, le moment de flexion constant entre les deux points d'application de la charge est : M = PL/6 et la contrainte de traction correspondante sur la fibre inférieure est ftj = 0.6M*Y /I

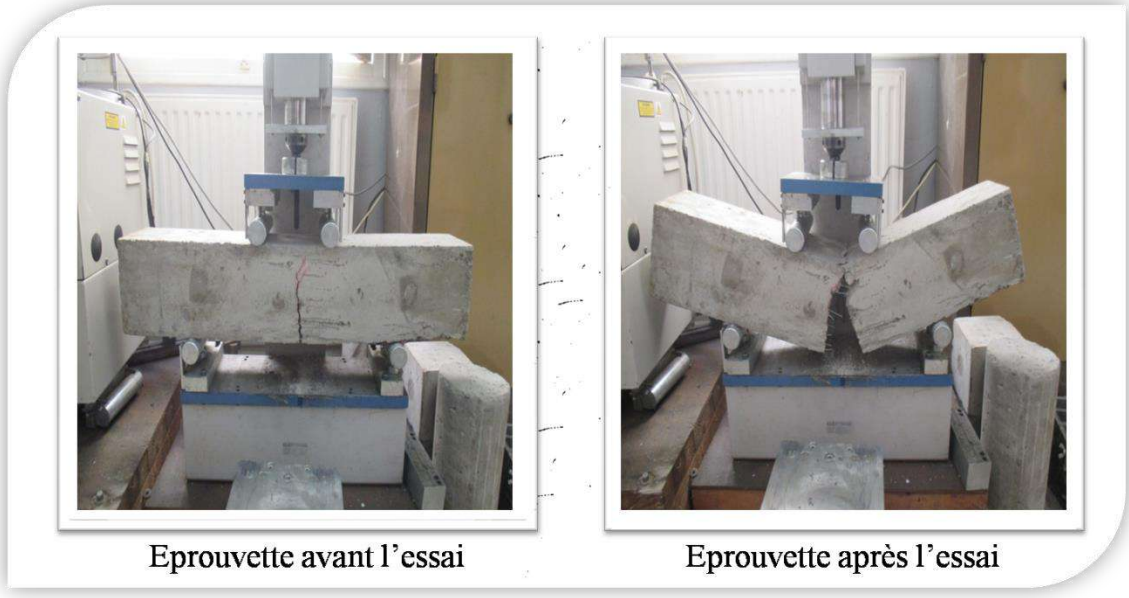


Figure IV.15 : Essai de traction par flexion.

IV.5.3.3. 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 **[112].**

Ces éprouvettes au nombre de trois par composition, sont après démoulage à 24 heure placées dans un réctractomètre (**Figure. IV.16**) munis d'un comparateur qui permet la mesurer du retrait à tout moment à court terme et moyenne terme (de 1j jusqu'à 28 jours).

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



Figure IV.16 : 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 = 280 mm. Soit dl(t) la valeur lue sur le comparateur au temps t; l'éprouvette a une longueur au temps considéré:

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

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, 24 h après la confection des éprouvettes. La variation de longueur au temps t sera:

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

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

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

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



Figure IV.17 : Protocole de l'essai retrait

IV.5.3.4. Absorption d'eau par capillarité

Dans cet essai de mesure d'absorption de l'eau de béton, on prend un morceau d'éprouvette de béton déjà sécher et on le pesé (m_0), après on introduire le dans un bac remplir de 1 cm d'eau (**Figure IV.18**), pendant chaque intervalle de temps (15 min, 30 min ,1 h, 2 h ,4h ,24h, on remesure les morceaux (mi), le différent de poids c'est le poids de l'eau absorbé (m_i- m_0) (NE 13057) **[113]**.



Figure IV.18 : Absorption d'eau par succion capillaire

IV.5.3.5. Le module d'élasticité :

A. Installation de l'étrier

Pour installer l'étrier correctement, on doit suivre les étapes suivantes :

- Passer les 2 couronnes de l'étrier autour d'une éprouvette cylindrique dont les extrémités ont été préalablement rectifiées (au disque ou au souffre)
- Centrer l'éprouvette sur Je plateau de la presse
- Placer les piges autour de l'éprouvette et poser la couronne inférieure sur les piges
- Lorsque sa position est calée (couronne située à 1/3 de la hauteur de l'éprouvette), serrer les 2vis de serrage de la couronne inférieure, puis celle de la couronne supérieure

- Retirer les 3entretoises en dévissant pour chaque entretoise les 2 vis situées aux extrémités

- Fixer le comparateur sur la couronne supérieure au-dessus de la vis d'appui. La pointe du comparateur doit être en contact avec la vis d'appui mais ne doit pas être en butée (course possible).

B. Mode opératoire d'un essai

Avant de faire cet essai, il est recommandé de déterminer la force de compression maximale *fcm* (Force avant rupture) sur une éprouvette de la même série que celle utilisée pour la détermination du module ().

- Mettre en marche la presse et amener le plateau supérieur de la presse en contact avec l'éprouvette habillée par l'étrier

- Fixer le taux de charge de la presse à 240 kPa +- 30 kPa/s. Durant Fessai, la presse doit fonctionner en continu avec un taux de charge constant

- Mettre en marche le comparateur et l'initialiser : la valeur affichée par le comparateur doit être nulle

- Charger l'éprouvette une 1èrefois sans noter les résultats jusqu'à obtenir un déplacement du comparateur e = 0.01 mm. Si le comportement du comparateur et les valeurs affichées de déplacement semblent anormales, revoir la position et la fixation du comparateur. Décharger l'éprouvette

- Réaliser un tableau comme ci-dessous pour noter le déplacement du comparateur e en fonction de la charge F



Figure IV. 19 : L'essai du module d'élasticité

IV.6. PROCEDURE DE REPARATION :

IV.6.1. Préparation Des Surfaces :

Les corps d'épreuve sont des éprouvettes prismatiques en béton ordinaire, de 50cm de longueur et de section (10x10) cm, et des éprouvettes cubique (10x10x 10) cm, La surface supérieure des supports a été préparée de façon à recevoir les réparations **(Figure IV .20)** Afin de reproduire les conditions de chantier et dans le but de augmenté la résistance de béton et de minimiser la fissuration résiduelle, la surface des supports a été enlevée manuellement avec un marteau.



Figure IV.20 : Surfaces préparés

IV.6.2. Techniques De Réparation :

Les éprouvettes préparées en **BO** (voir figure IV .22**),** sont posé sur des collés de 450kgm en ciment et de dimension (40x40x25 mm), et centrées de tel manière à assurer un enrobage de 25mm de tous les côtés, le schéma représente le principe de la pose, (figure IV .21).

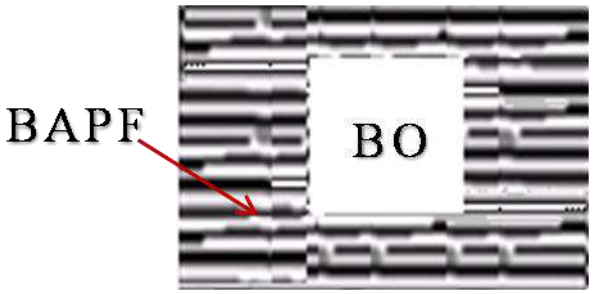


Figure IV.21 : Schématisation de technique de réparation

Une fois le béton de réparation est malaxé (**BAPF**) ; il est versé au niveau de l'une des extrémités des poutres (150x150x750 mm), et le laisser s'écouler sous sou poids propre, et sans vibration. (Figure IV .22)



Figure IV.22 : protocole de Techniques de réparation

IV.7. CONSERVATION DES EPROUVETTES :

Pour la conservation des éprouvettes ont adapté deux modes :

IV.7.1. Conservation sou l'eau:

Pour les éprouvettes de béton autoplaçanton 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. **(Voir figure IV .23)**



Figure IV.23 : Conservation d'éprouvettes sou l'eau

IV.7.2. Conservation à l'air libre :

Pour les éprouvettes de béton ordinaire ou bien le béton réparé on pose à labris pour simuler la même condition de chantier. **(Voir figure IV .24)**

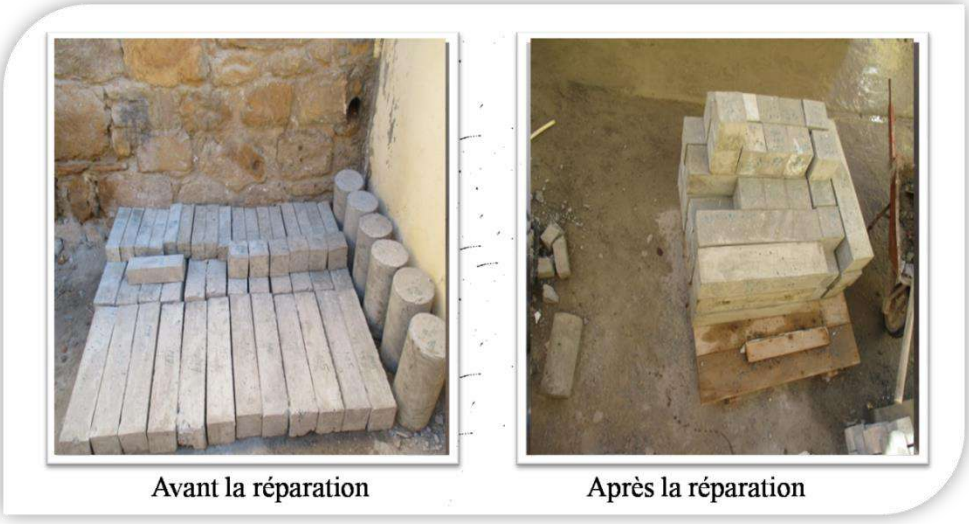


Figure IV.24 : Conservation d'éprouvettes à l'air libre

IV.8. 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 autoplaçants. Pour déterminer leurs caractéristiques rhéologiques (essais d'étalement T_{50} au cône, d'écoulement à l'entonnoir (V-Funnel), de stabilité au tamis, L-Box).

Ensuite, des essais relatifs au domaine mécanique ont été réalisés et qui ont servi pour déterminer les propriétés mécaniques (compression, traction, absorption d'eau, retrait, gonflement). Pour reconnaitre l'effet des fibres métalliques sur le béton Autoplaçant et les bétons réparés que ce soit à l'état frais ou durci.

ANALYSES
&
INTERPRETATIONS

V.1. INTRODUCTION :

Dans ce chapitre nous allons exposer et analyser les résultats des différents essais effectuées à l'état frais et durci sur un béton autoplaçant fibré et en les comparant avec les résultats d'autres chercheurs existant dans la bibliographique, ainsi, on envisagera à mettre en évidence une méthode de répartition des structures en utilisant ce type de béton.

V.2. ESSAIS SUR UN BÉTON FRAIS :

Pour obtenir un béton autoplaçant renforce de fibres, on a procédé d'incorporer les fibres métalliques pour différentes longueurs et fractions volumiques, tout en assurant la fluidité, la capacité de passage, de remplissage et la résistance à la ségrégation recommandées par EFNARC [114], le tableau V.1 résume les différents caractéristiques obtenus à l'état frais.

Tableau V.1

Caractéristiques à l'état frais

	Type de béton	D (mm)	T_{50}	V-funnel (sec)	H_2/H_1 (%)	Stabilité au tamis (%)
Type de béton	BAPT	**0,0%**	**744,5**	**1,18**	**5.9**	**86**	**4,29**
	BAPFM 1	**0,3%**	**737 ,5**	**1,52**	**6,93**	**82,65**	**4,47**
		0,5%	**720**	**1,73**	**18**	**40**	**5,37**
	BAPFM 2	**0,3%**	**735**	**1,5**	**6,53**	**81,81**	**4,8**
		0,5%	**715**	**2**	**20**	**38,44**	**5,45**
	BAPFM 3	**0,3%**	**726 ,5**	**1,82**	**6,23**	**82**	**5,22**
		0,5%	**715**	**1,96**	**8,19**	**80,71**	**5,65**
		0,8%	**688 ,5**	**2 ,15**	**22**	**36,73**	**5,89**

V.2.1. Effet des fibres Métalliques sur la valeur de T_{50} et l'étalement :

Les résultats ont révélé que le temps d'écoulement T_{50} est inférieur à 3,40s recommandé par **EFNARC [114]**, les diamètres d'étalement de tous les mélanges sont situés entre 688,5 et 744,5 mm, alors que les diamètres recommandés par **EFNARC [114]** sont entre 650 et 800.

Les figures **V.1** et **V.2** montrent l'effet de la longueur et la forme des fibres sur l'étalement des **BAP** pour les mélanges des bétons confectionnés avec des fibres de longueur 25mm (**BAPFM 3**), ils sont moins affectés que les mélanges confectionnés avec les autres types de longueur 50mm (**$BAPFM_1$, $BAPFM_2$**), cela est dû à la forme simple, et à la longueur courte des fibres. La masse de chaque fibre est négligeable devant la masse du mélange, et ce qui favorise l'écoulement par rapport aux autres types de fibres.

L'analyse des résultats montre que la plus grande valeur de l'étalement est celle de **BAPT** avec 744,5 mm de diamètre, et la plus petite est celle de **$BAPFM_3$**, qui contient des fibres de 25 mm de longueur et 0,8 % comme une fraction volumique.

En ce qui concerne le T_{50}, la plus petite valeur est celle du **BAPT** avec 1,18 sec, et la plus grande valeur est estimée de 2,15 secs correspondant au même mélange (**$BAPFM_3$** 0.8 %).

L'écoulement des **BAPF** est affecté par l'introduction des fibres, plus qu'on augmente le pourcentage et la longueur des fibres, plus que l'écoulement diminue **[115],** [**114], [116] et [117].** Deux observations indiquent que l'écoulement n'est pas homogène, un étalement n'est pas circulaire, cela veut dire que l'écoulement est contracté selon une ou plusieurs directions et une concentration des fibres et des agrégats au centre de la galette déformée après la réalisation de l'essais à travers un cône d'Abrams **[114]**.

Laetitia MARTINIE [118] a constaté que la forme élancée des fibres multiplie d'autant leur encombrement au sein du matériau.

Westerholm et El-Dieb [119] - [120] ont mesuré une baisse de la fluidité avec l'augmentation de la longueur des fibres, ce phénomène est dû aux perturbations causées par les fibres sur la compacité totale du système (Figure V. 3).

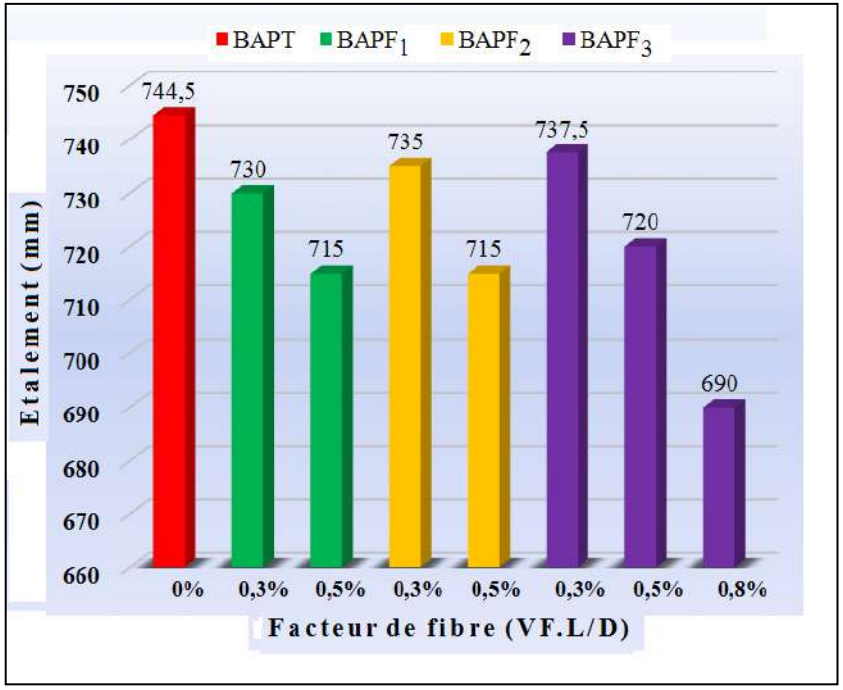


Figure V. 1 : Etalement en fonction de facteur de fibre

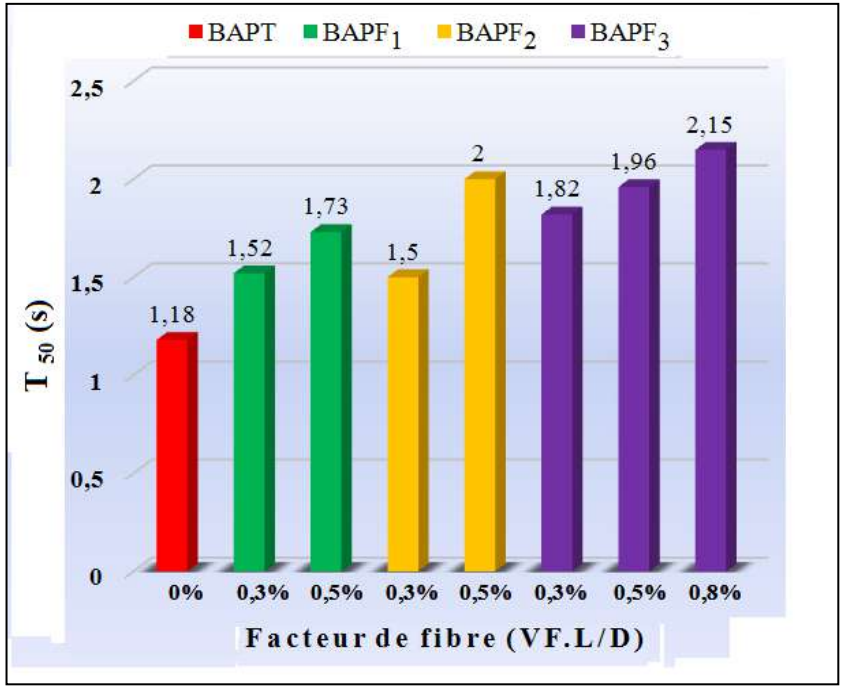


Figure V. 2 : T_{50} en fonction de facteur de fibre



Figure V.3 : L'étalement des BAP fibrés homogène et contracté

V.2.2. Effet des fibres sur Le temps d'écoulement à travers le V-funnel

L'entonnoir permet la mesure de la vitesse d'écoulement du béton. La figure V.4 montre l'effet des fibres sur le temps d'écoulement à travers l'entonnoir des mélanges.

Plus les fibres sont ajoutées, plus le temps d'écoulement est augmenté et converge plus rapidement vers le seuil supérieur **[117]** (le cas **BAPFM$_1$, BAFM$_2$** 0.5 %), cette convergence du temps vers le seuil revendique des signes de ségrégations et hétérogénéité des mélanges.

D'autre part, plus qu'on augmente le pourcentage des fibres, plus la formation d'oursins (amas de fibres entremêlées) est évoluée **[118],** cette évolution perturbe l'écoulement et par conséquence l'augmentation de la viscosité provoque d'éventuelles ségrégations et blocage au niveau des armatures **[116].**

Ces résultats seront confirmés par la suite à travers l'essai de la boite en L (L-BOX).

Le meilleur temps de l'écoulement était 5,9 sec mesuré par le **BAPT** tandis que le **BAPFM$_3$** 25 mm, et de 0.8% a eu le temps d'écoulement le plus haut de 22 sec.

Les valeurs recommandées sont de l'ordre de 4 à 12 secs, comme il est mentionné dans **EFNARC [114].** Les mélanges considérés sont celles respectant la recommandation.

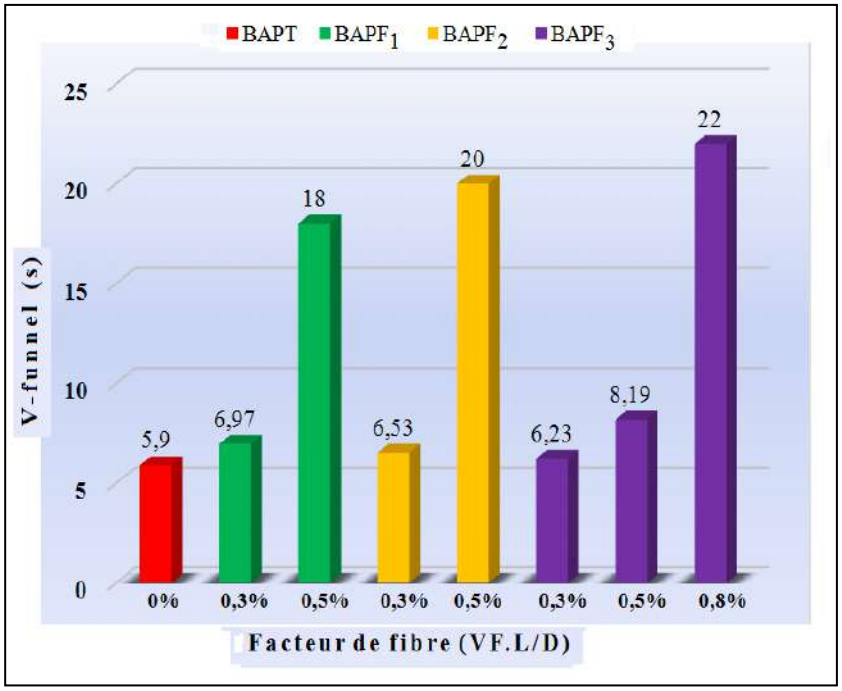


Figure V.4 : T (V-funnel) en fonction de facteur de fibre

V.2.3. Capacité de Remplissage à travers le L-Box :

L'essai de la boîte en L (L-Box) donne une bonne appréciation de la capacité de remplissage, de passage et de la résistance à la ségrégation. La **figure V.5** montre que la variation du rapport H_2/H_1 en fonction le facteur de fibres. Le rapport du blocage est situé entre [**36,73% - 86%**], dont le plus faible rapport était **36 ,73%** pour le **BAPFM1**qui contient des fibres de **25 mm** de longueur et une fraction volumique de 0.8%, et le plus important rapport correspond au **BAPT**. Le rapport minimum à assurer est de **80 %** recommandé par EFNARC **[114]**.

Le blocage des fibres au droit des armatures du L-BOX est enregistré pour un volume de **0.5%** des mélanges confectionné par des fibres de **50 mm** de longueur, par contre le blocage a été observé pour un pourcentage volumique de **0,8%** pour les mélanges du troisième type de fibre (figure V.6).

Ces dernières fibres ont une dimension (Longueur) comparable aux dimensions des gros granulats **(25/20),** contrairement aux deux autres types qui ont une longueur double **(50/20)**, ce paramètre peut influencer la rhéologie des mélanges.

Dans le cas d'utilisation des BAP fibrés dans la réparation mince, le ferraillage dense n'aura lieu, donc on ne considère pas le blocage des fibres au droit des armatures.

Ces résultats serons confirmé par les essais mécaniques sur les bétons autoplaçants fibrés et bétons réparés.

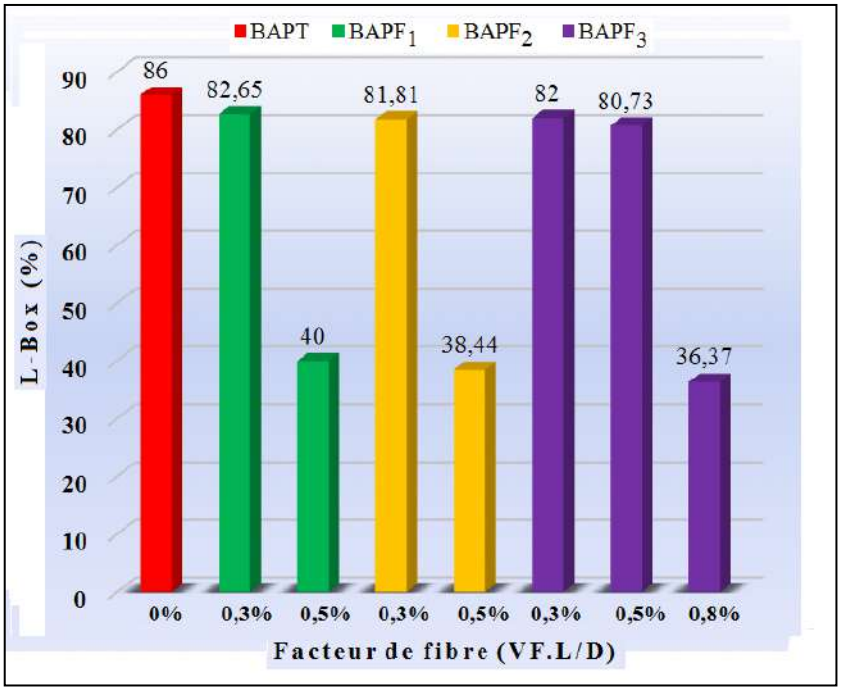


Figure V. 5 : H_2/H_1 en fonction du facteur fibres



Figure V.6 : Cas de blocage

Swamy et Mangat [**121**] 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.

Ce même constat est rapporté par de nombreux chercheurs **[114], [116]** qui notent sur BO ou sur BAP un effet accru des fibres sur l'étalement, au-delà d'une certaine concentration de fibres, le matériau est rapporté comme étant trop ferme pour s'écouler.

D'autre part pour des facteurs d'aspect de fibres trop élevés, des oursins de fibres se forment, rendant le matériau hétérogène **[118]**.

V.2.4. Stabilité au tamis

La **figure V.7** montre que plus le pourcentage des fibres métalliques augmente plus que le taux de ségrégation augmente par rapport au **BAPT**, cela est due à la diminution de la viscosité du béton autoplaçant, ainsi le collage des fibres au niveau des mailles de tamis est un facteur très influant sur le passage de la laitance du béton, tout en signalant que les résultats restent comparables et au-dessous des valeurs recommandées.

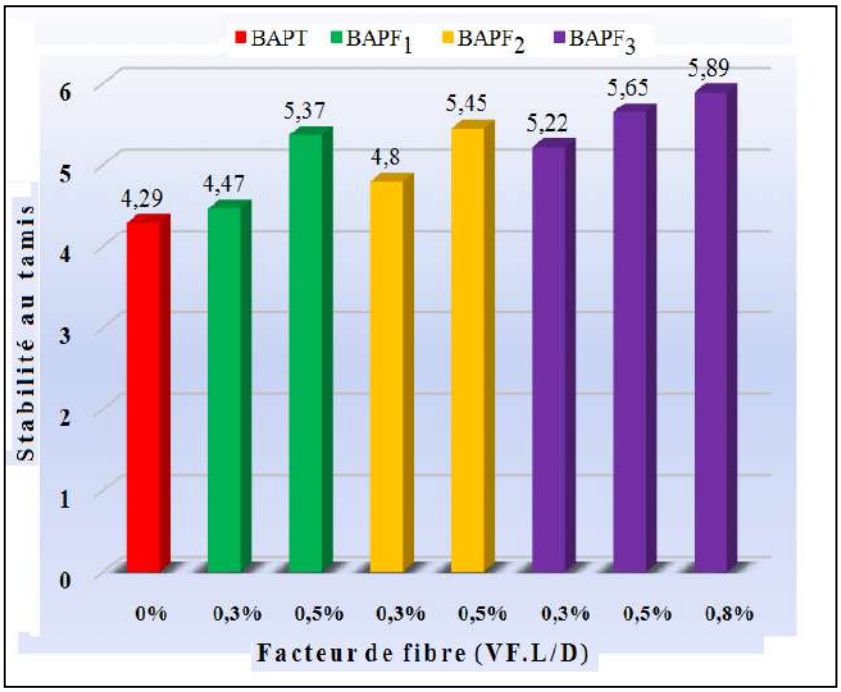


Figure V.7 : Stabilité au tamis en fonction de facteur de fibre

V.3. ESSAIS SUR BETON DURCI :

Les relatifs au BAP à l'état durci consistent à la détermination de : Résistance mécanique à la compression et à la traction par flexion, Module d'élasticité ; Taux de retrait et de gonflement ; Absorption d'eau par capillarité.

V.3.1. Résistances mécaniques :

Les essais pour la détermination des résistances mécaniques sont effectués à l'âge de 7 jours ,28 jours et 56 jours.

Le tableau **V.2** donne les résultats des essais de résistance à la compression et à la traction pour les dix-sept mélanges étudiés aux âges 7,28 et 56 jours.

Tableau V.2

Caractéristiques à l'état durcis

	Résistance à la compression (MPa)			Résistance à la Traction (MPa)		
Mélanges	7 J	28 J	56 J	7 J	28 J	56 J
BAPT	39.79	52,37	54,71	3,23	3,54	3,99
BAPFM1 0.3%	40,41	53,26	63,68	4,23	4,29	4,43
BAPFM1 0.5%	41,08	53,86	64,05	4,41	4,54	4,67
BAPFM2 0.3%	40,66	53,56	61,53	5,29	5,56	5,7
BAPFM2 0.5%	4 3,65	54,81	59,04	5,67	5,89	5,99
BAPFM 3 0.3%	40,31	52,7	58,09	4,11	4,13	4,28
BAPFM 3 0.5%	45,19	55,9	57,56	4,19	4,24	4,38
BAPFM 3 0 .8%	46,33	56,03	62,54	5,05	5,29	5,53
BO	9 ,74	15,25	16,81	1,18	1,5	2,04
BORF 0%	19,94	25,73	40,02	4,02	4,1	4,19
BORF 10.3%	21,28	26,21	44,21	4,30	4,49	5,09
BORF 10.5%	23,07	27,43	44,43	4,57	4,78	5,39
BORF 20.3%	21,85	27,6	45	4,46	4,39	5,22
BORF 20.5%	24,08	30,29	46,12	4,92	5,12	5,66
BORF 3 0.3%	20 ,81	26,06	44,44	4,11	4,17	4,3
BORF 3 0.5%	29,68	30,08	46,44	4,29	4,33	4,41
BORF 3 0.8%	31,24	33,78	48.09	4,77	5,15	5,35

V.3.2. Résistance à la compression :

V.3.2.1. Effet des fibres Métalliques sur La résistance à la compression des bétons autoplaçant :

Les résultats obtenus à 7, 28, et 56 jours des bétons autoplaçant avec différent fraction volumique de fibre sont donnée aux **figures V.8.** 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 **BAPF3** 0.8%.et des gains de **1,7%, 2,8%, 2,27%, 4,66%, 0,6%,6,74% pour BAPF1 0,3%, BAPF1 0,5%,BAPF2 0,3%, BAPF2 0,5%, BAPF3 0,3%, BAPF3 0,5%,) respectivement** .Cette légère augmentation 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**.[124],[123]**, les fibres de 25mm sont les plus efficaces **[124]**

Plusieurs études confirment ces résultats à savoir **ROSSI P (1998) [125]**, qui a montré que les fibres courtes ont toujours des résistances à la compression supérieures à celles du béton non fibré. Par contre les fibres longues n'apportent pas d'amélioration en compression. Cependant confirment que les fibres n'apportent pas d'amélioration appréciable en compression **[120]** Dans d'autres cas une légère diminution **[126], [127]** et **[128]** peut être dû à l'abaissement de l'ouvrabilité ce qui à provoquer une réduction de la compacité **[129,130]**.

V.3.2.2. Effet des fibres sur la résistance à la compression des bétons réparés:

La négligence des paramètres de formulation dans nos chantiers mène à des résistances faibles, nous avons obtenu une résistance caractéristique à 28jours égal à **15,25**MPa, d'où les valeurs recommandées sont de l'ordre de 20 MPa **[2].** Dans le but d'étudier l'effet des bétons autoplaçants fibrés sur la réparation de ce type de béton, on a constaté d'après la figure V.9, que plus qu'on augmente le fraction volumique des fibres, plus la résistance est amélioré, on a enregistré une amélioration de l'ordre de **68,73%, 71,87%, 79,87%, 80,98%,98,62%, 70,89%, 97,25% et 121,5%** pour les **BORF 0%,BORF1 0.3%, BORF1 0.5%, BORF 2 0.3%, BORF2 0.5%, BORF3 0.3%,BORF3 0.5%, BORF3 0.8%** respectivement. Cette augmentation du à la bonne adhérence entre l'ancien et le nouveau béton, le phénomène de confinement assuré par les qualités de béton de réparation. Ces résultats serons confirmés par les résultats de traction par flexion et modules élastiques des différents variables étudies.

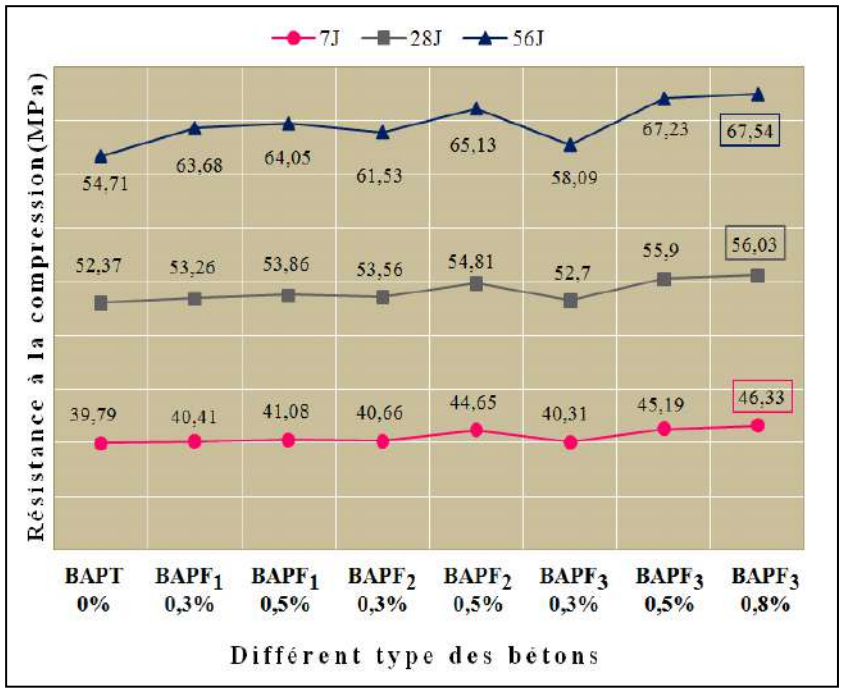


Figure V.8 : La résistance à la compression des BAP

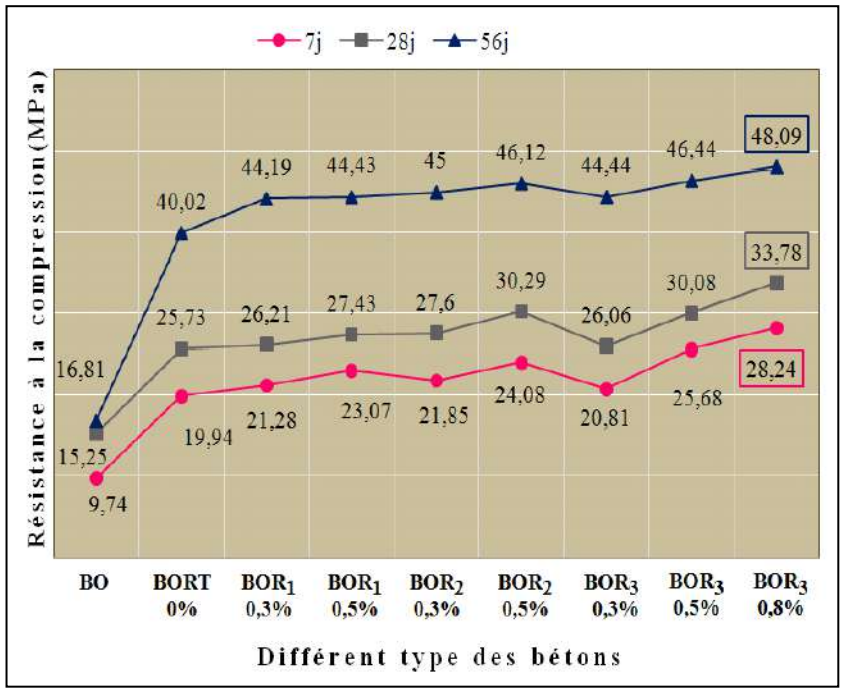


Figure V.9 : La résistance à la compression des BOR

V.3.3. Résistance à la traction :

V.3.3.1. Effet des fibres Métalliques sur La résistance à la traction des bétons autoplaçant :

Les résultats obtenus à 7, 28, et 56 jours des bétons autoplaçant avec différent fraction volumique de fibre sont donnée aux **figures V.10.** On a constaté que la résistance à la traction augmente avec l'augmentation de la fraction volumique des fibres.

on enregistre une amélioration de de **66.38 %** correspondant au BAPF2 0.5%.et des gains de **21,86%, 28,25%, 2,27%, 57,06%, 16,66%,19,77%,49,44% pour BAPF1 0,3%, BAPF1 0,5%, BAPF2 0,3%, BAPF2 0,5%, BAPF3 0,3%, BAPF 3 0,3%, BAPF 3 0,8%,) respectivement** .

Les résultats ont révélé aussi que pour une augmentation de la longueur des fibres, on obtient une amélioration de la résistance à la traction par flexion, si on compare ces bétons, on trouve que plus on augmente la longueur et 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 du comportement en flexion des bétons autoplaçants renforcés de **fibres [116], [126, 127]**

Kawamata et al [130] 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%. Cela confirme les résultats obtenus pour les bétons de fibres de **50mm** (fibre longue).

V.3.3.2. Effet des fibres sur la résistance à la traction des bétons réparés:

Dans le but d'étudier l'effet des bétons autoplaçants fibrés sur la réparation de ce type de béton on a constaté aussi d'après la figure V.11 que plus qu'on augmente le fraction volumique des fibres, plus la résistance est amélioré, on a enregistré une amélioration de l'ordre de **105,39%,149,51%, 164,21%, 155,88%,177,45%, 110,78%, 116,17% et 162,25%** pour les **BORF 0%,BORF1 0.3%, BRF 1 0.5%, BORF2 0.3%, BORF2 0.5%, BORF3 0.3%, BORF3 0.5%, BORF3 0.8%** respectivement.

L'utilisation de fibres dans le matériau de réparation permet d'abord de limiter la propagation de la fissuration de la nouvelle couche. En limitant l'ouverture des fissures, les fibres empêchent les fissures d'atteindre l'interface entre le nouveau et le vieux béton et donc diminuent les chances de décollement de la réparation.**[21]**

Il est important d'également tenir compte de la résistance en traction du matériau. Un matériau ayant un module d'élasticité plus élevé possède généralement une résistance en traction plus grande **[18].**

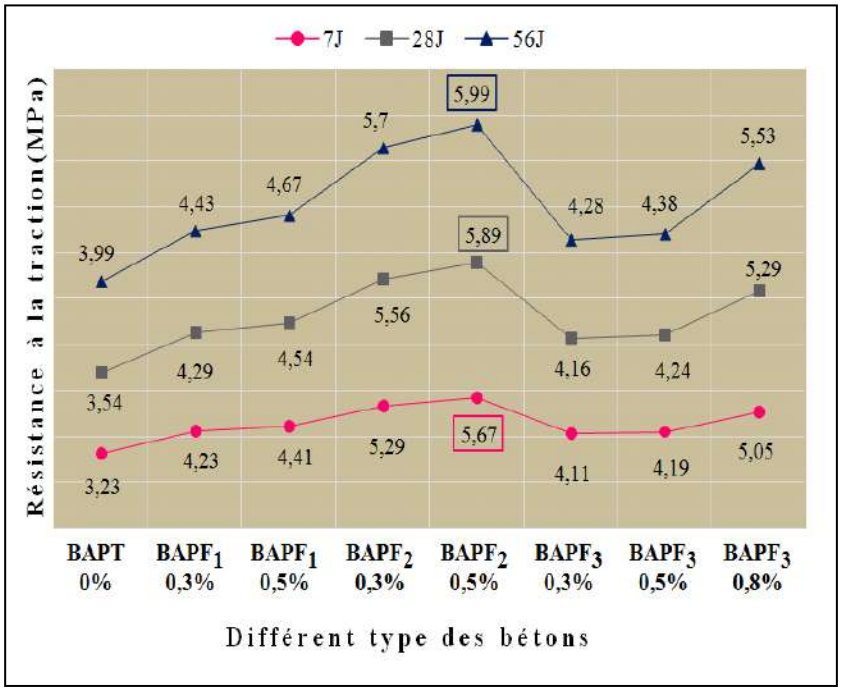


Figure V.10: La résistance à la traction des BAP

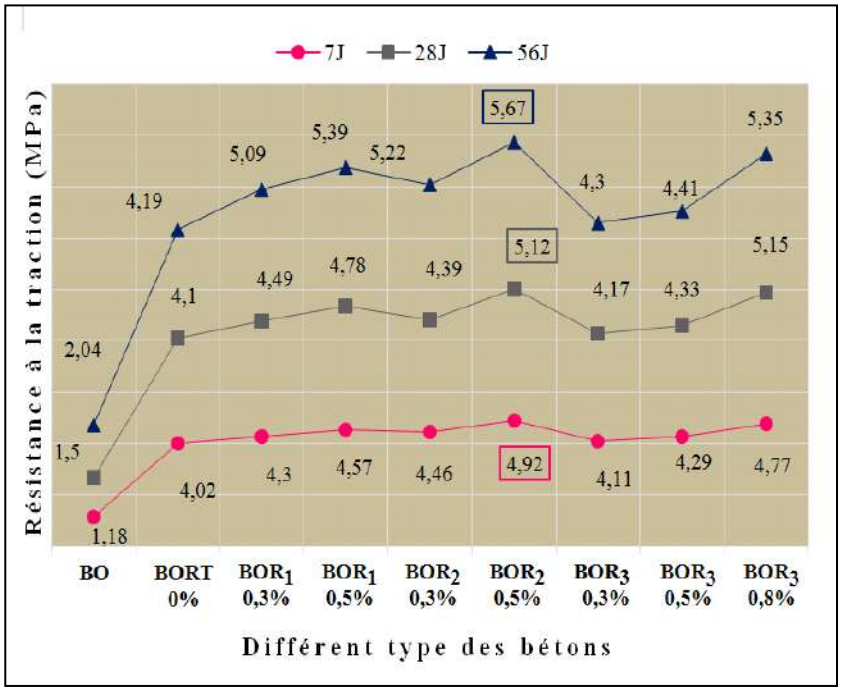


Figure V.11: La résistance à la traction des BOR

V.3.4. Module d'élasticité :

D'après la **figure V.12** suivante on remarque l'évolution du module d'élasticité suit la même cinétique de la résistance à la compression (voire **figure V.13),** plus on augmente la fraction volumiques, plus le module élastique évolue, la plus grande valeur a été enregistré pour le 3ème type de fibres de 0.8% comme fraction volumique de l'ordre de **6,8%,** et des gains de **3,16%, 4,65%, 3,55%, 4,87%, 0,55%, 5,38%, 6,8% pour BAPF0% ,BAPF1 0,3%, BAPF1 0,5%, BAPF2 0,3%, BAPF2 0,5%, BAPF3 0,3%, BAPF 3 0,5%,) respectivement.** Cette légère augmentation 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**.[122],[123]**, les fibres de 25mm sont les plus efficaces **[125]**

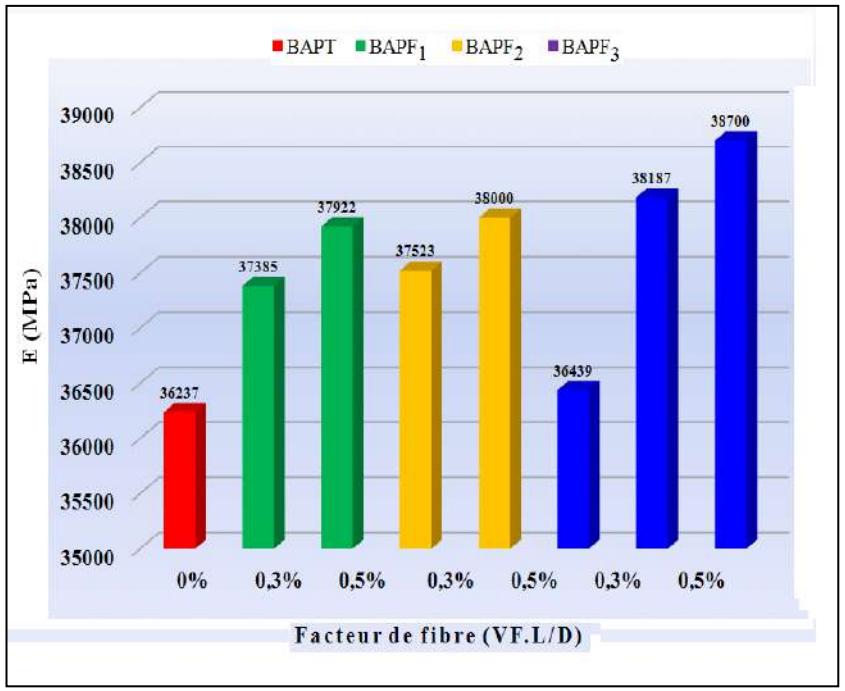


Figure V.12 : Module d'élasticité en fonction de facteur de fibre

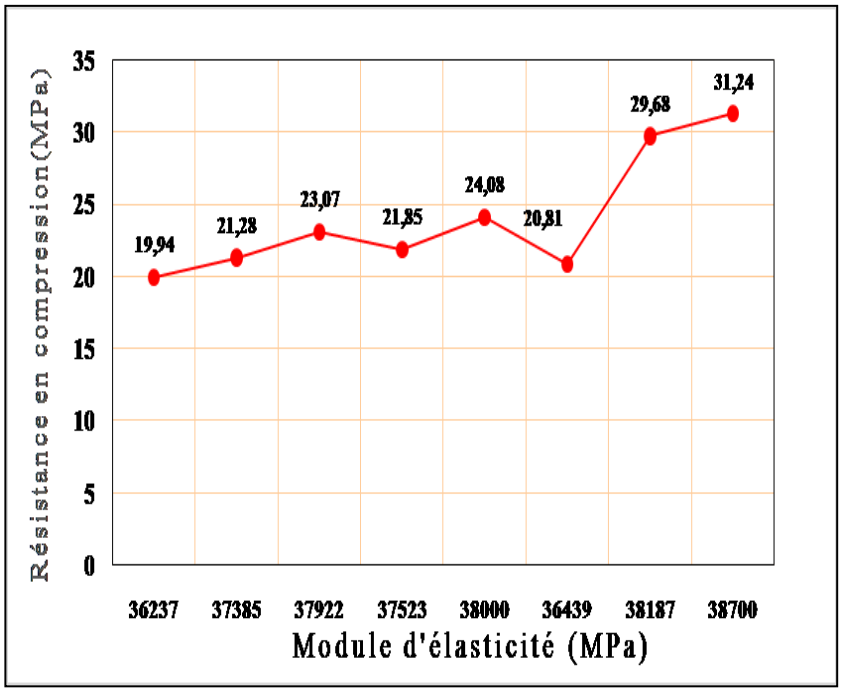


Figure V.13 : Résistance en compression en fonction module d'élasticité

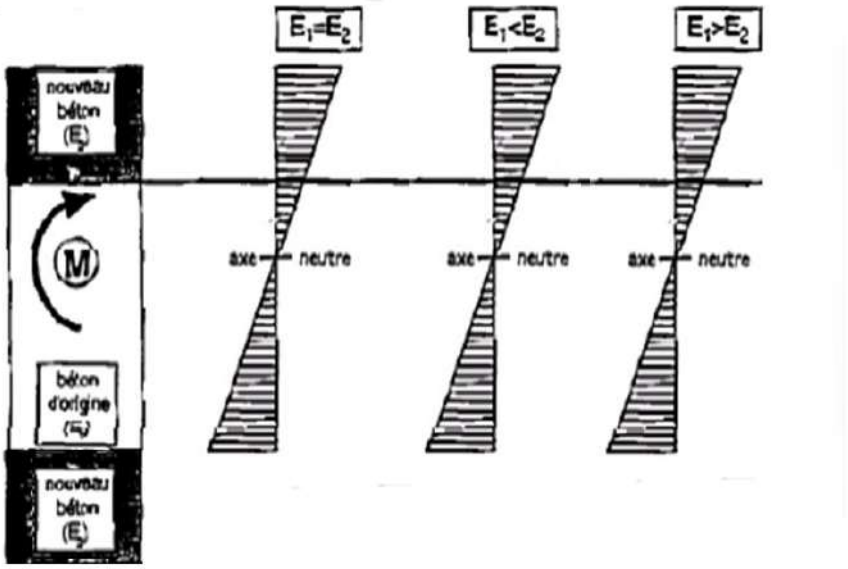


Figure V. 14 : Influence de la rigidité relative sur la répartition des contraintes

V.3.5. L'absorption d'eau :

D'après les figures (**Figure V.15 jusqu'au Figure V.18),** on remarque que l'allure d'absorption d'eau a la même cinétique pour tous les bétons.

On remarque que la capacité d'absorption d'eau du béton augment progressive et proportionnelle avec le dosage et de longueur de fibres métalliques incorporées dans le béton, la valeur maximale de l'absorption d'eau est 4,02kg/m²correspondante à la longueur de fibre Lf = 25 mm avec un dosage Vf = 0,8% (BAPFM3).

Cette valeur est relativement supérieure par rapport au béton autoplaçant sans fibres BAP, la différence est de l'ordre de 120 %. On a constaté d'après ces résultats que l'introduction de fibres dans le béton autoplaçant se traduit par une augmentation plus ou moins prononcée du volume des vides, associée à une diminution de la compacité du matériau, nos résultats vont dans le même sens ceux des travaux de **[132]**

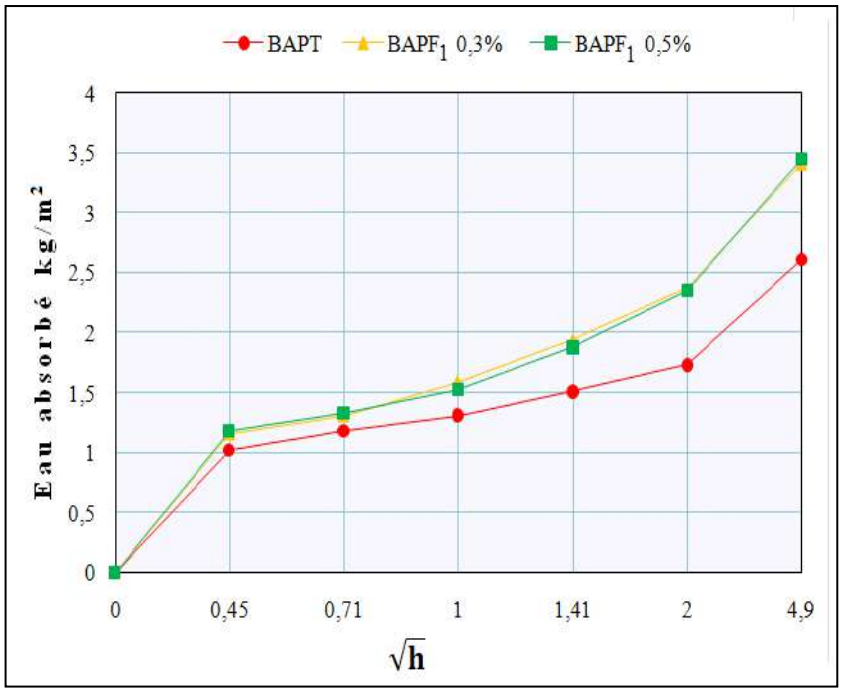


Figure V. 15 : Absorption d'eau en fonction de racine du temps $BAPF_1$ 50 mm

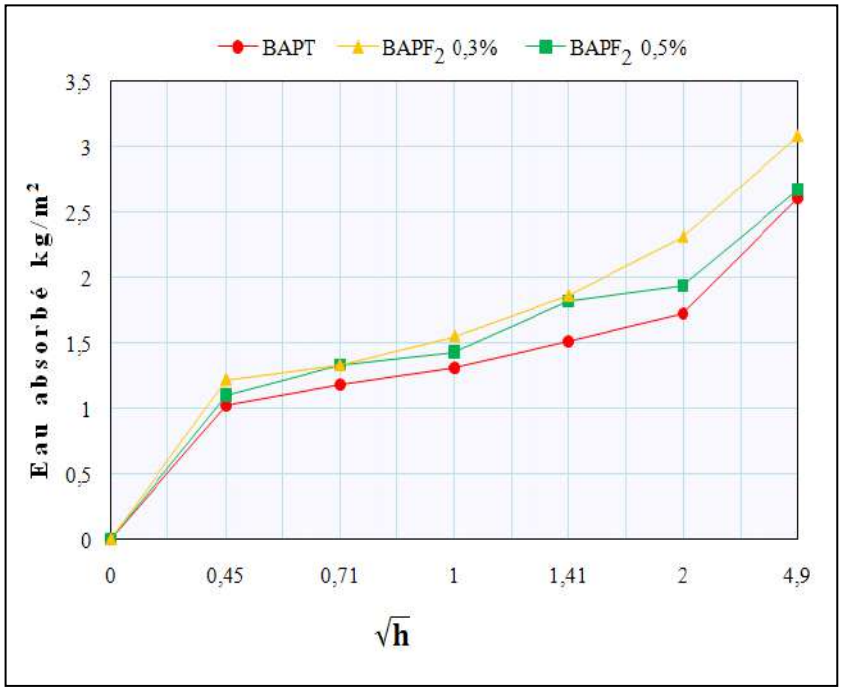


Figure V. 16 : Absorption d'eau en fonction de racine du temps $BAPF_2$ 50 mm

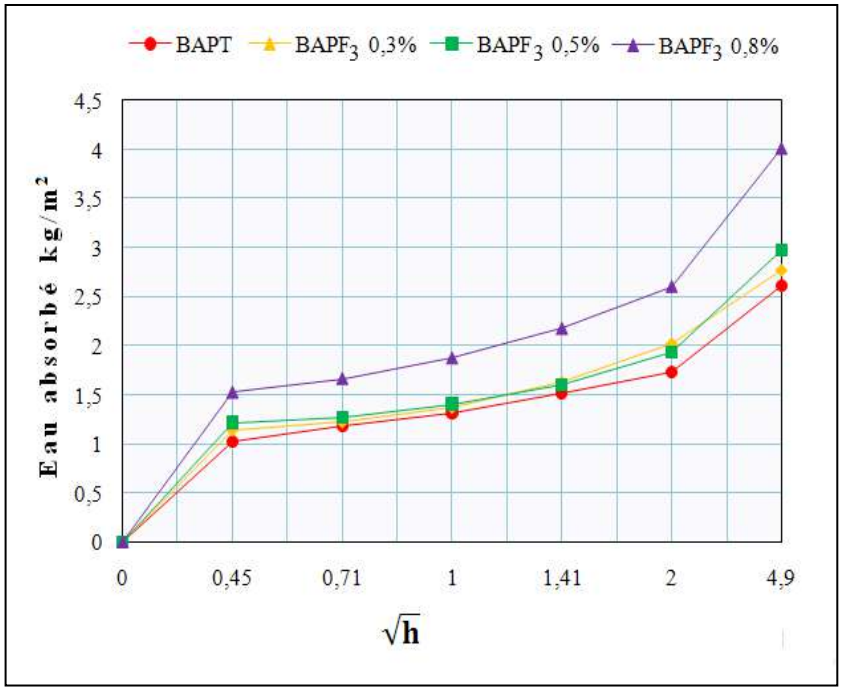


Figure V.17: Absorption d'eau en fonction de racine du temps BAPF3 25 mm

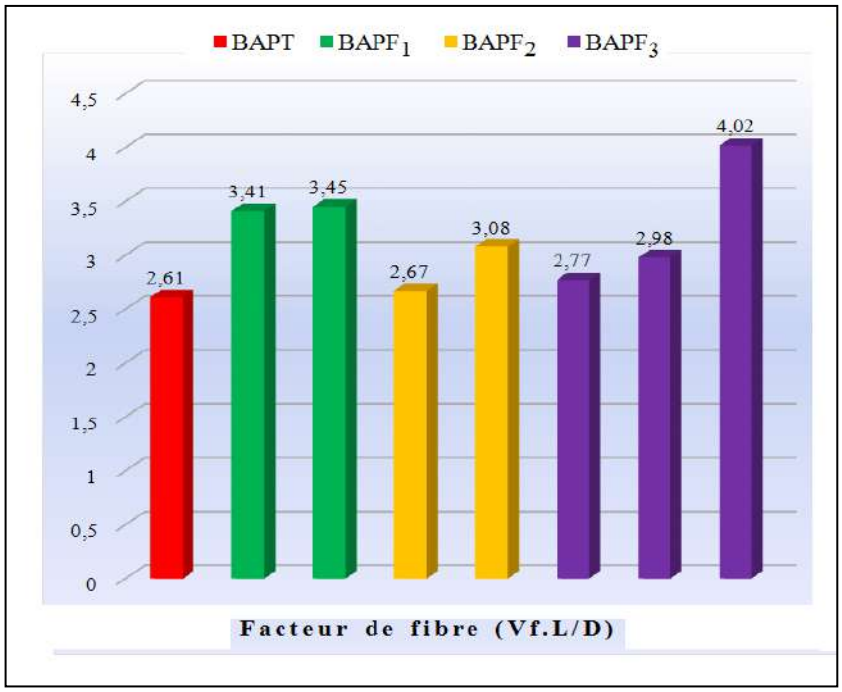


Figure V.18 : Absorption d'eau des déférents types des bétons autoplaçant Après 24h

V.3.6. Variation dimensionnelle

V.3.6.1. Retrait

D'après les figures (**Figure V.19** jusqu'au **Figure V.21)** de retrait on peut dire que les fibres métalliques quel que soit leurs formes ayant un effet positif, plus on augmente la fraction volumique des fibres, plus le retrait diminue. La diminution varie entre 7.31 et 17,33 %, la plus petite amélioration correspond au béton de fibres de **25 mm** de longueur avec 0.3% de volume de fibre(**BAPF3**), et la plus importante est relative au béton à base de fibres de 50 mm de longueur et de 0.5 % comme fraction volumique(**BAPF2**).

On a constaté aussi que plus on augmente la longueur des fibres, quel que soit leurs forme, le retrait diminue.

Après une longue durée, l'action des fibres est plus précise. Car les Béton de fibres se stabilisent plus rapidement que le béton témoin. Comme on le constate sur les **figures V.19 V.20 V.21**. Nos résultats confirment ceux déjà obtenus par des études antérieures sur l'influence des fibres d'acier sur le retrait **[133], [132], [134], [135]** : à savoir que les déformations de retrait sont généralement plus petites pour les bétons de fibres comparées à celles du béton normal. Cette réduction est affectée par plusieurs paramètres tels que : -La forme et la quantité de fibres semblent être les facteurs les plus importants qui dominent le retrait **[136], [137], [138]**. Les fibres longues sont plus efficaces.

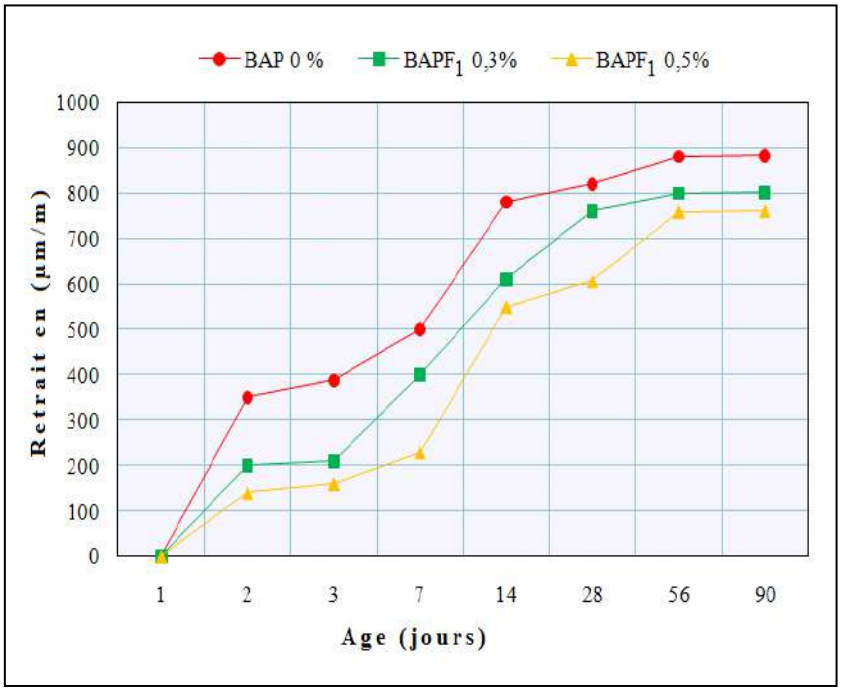


Figure V.19 : Retrait en fonction de l'âge du BAPF1 50 mm

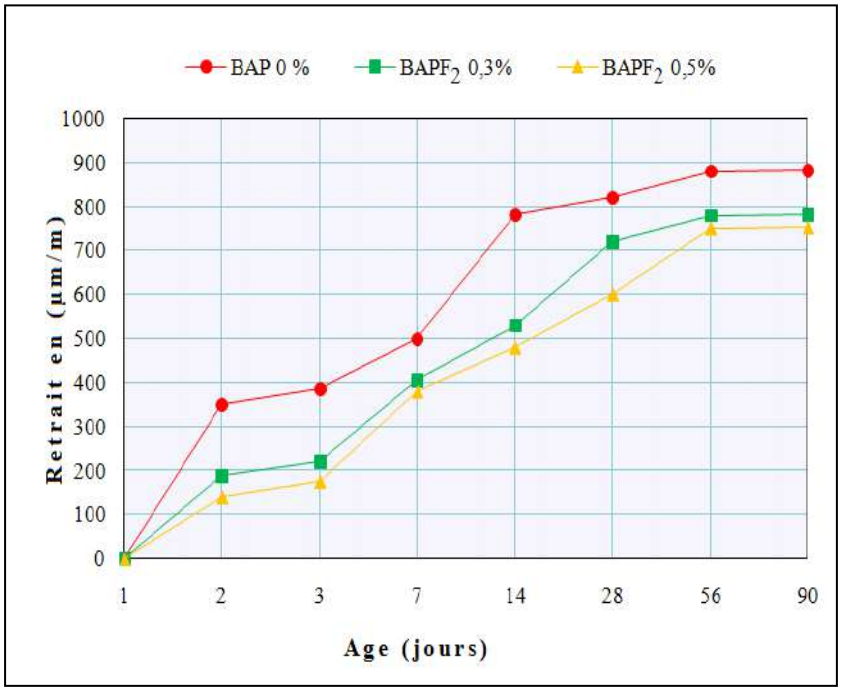


Figure V.20 : Retrait en fonction de l'âge du BAPF2 50 mm

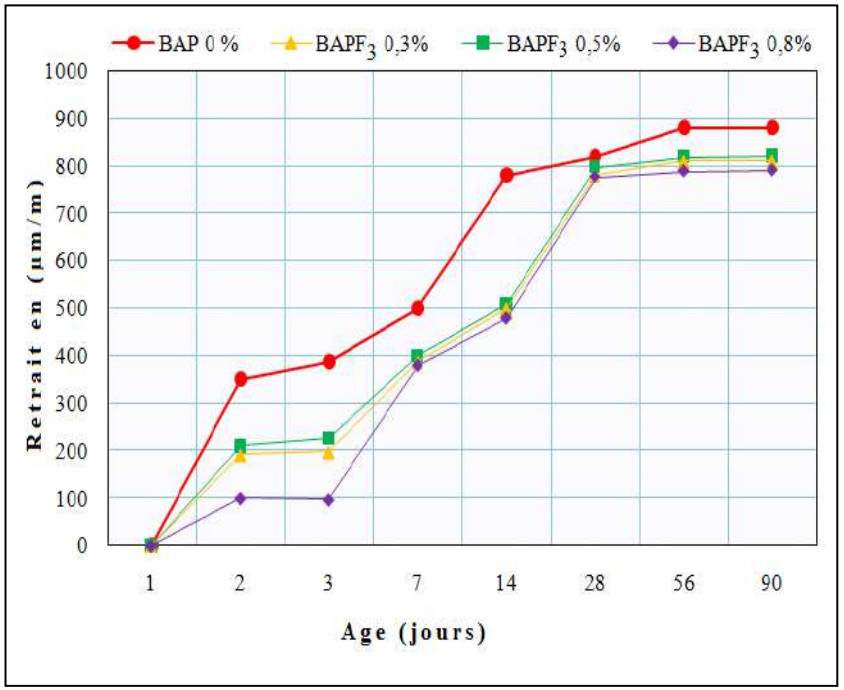


Figure V.21 : Retrait en fonction de l'âge du BAPF3 25 mm

V.3.6.2. Gonflement

D'après les **figures (Figure V.22** jusqu'au **Figure V.25)** de gonflement on peut dire que les fibres métalliques quel que soit leurs formes ayant un effet négatif, plus on augmente la fraction volumique des fibres, plus le gonflement augmente.

L'augmentation varie entre **5.73** et **13.75%,** la plus petite augmentation correspond au béton à base de fibres de 50 mm de longueur et 0.5% comme fraction volumique (**BAPF1**), et la plus importante est relative au béton de fibrede 25 mm avec un pourcentage de 0,8%.(**BAPF2**).cela est dû création des vides au niveau des interfaces béton-fibres qui ont causé un gonflement et une sorption importante.

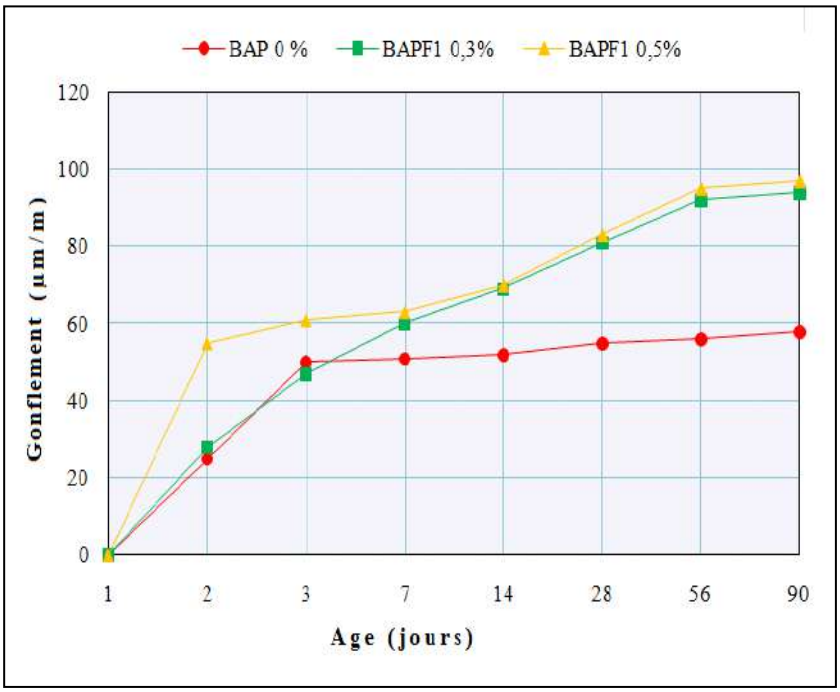


Figure V.22 : Gonflement en fonction de l'âge du BAPF1 50 mm

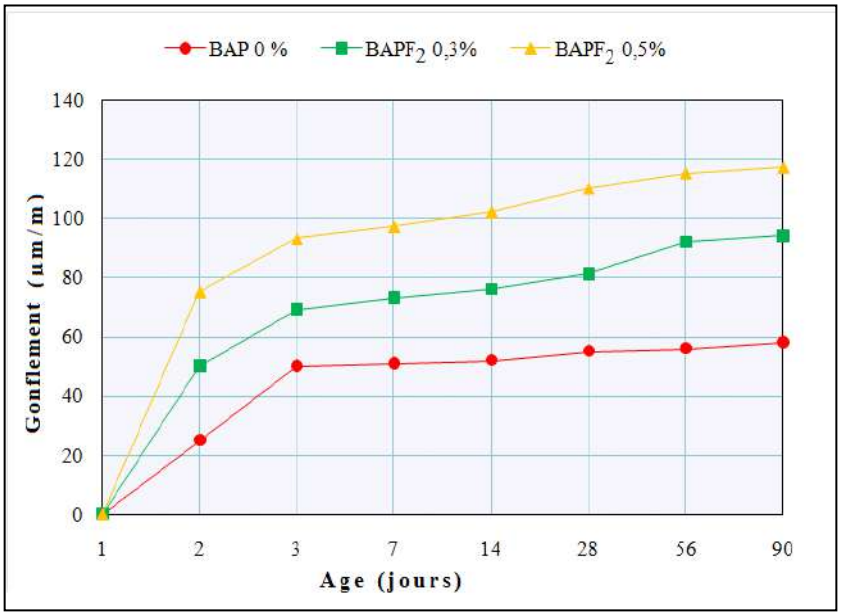


Figure V.23 : Gonflement en fonction de l'âge du $BAPF_2$ 50 mm

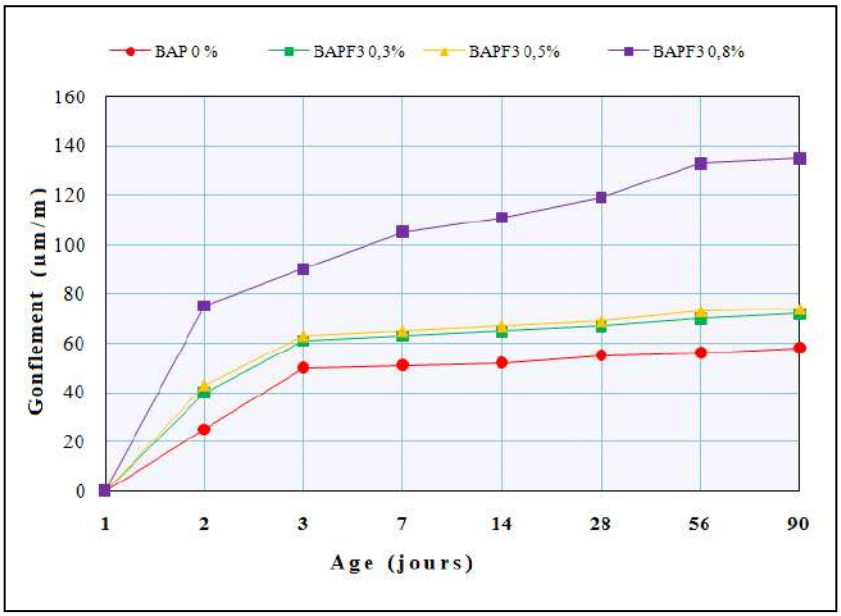


Figure V. 24 : Gonflement en fonction de l'âge du $BAPF_3$ 25 mm

V.4. CONCLUSION

Cette partie a présenté les différents résultats des essais expérimentaux ainsi que leur interprétation à l'état frais et à l'état durci afin d'étudier l'influence des fibres métalliques sur les propriétés rhéologiques et mécaniques des bétons autoplaçant et les bétons réparés

CONCLUSION GENERALE

CONCLUSION GENERALE

L'objectif principale de cette étude est d'étudier le renforcement du béton ordinaire par un béton autoplaçant fibré en mettant en évidence aussi l'influence des fibres utilisés (métalliques) sur le comportement du béton de autoplaçant. À la lumière des résultats obtenus on peut conclure que :

❖ **À l'état frais :**

A. Pour le BO renforcé par BAPF :

On a remarqué une simplicité dans le remplissage du moule avec une absence totale de ségrégation.

B. Pour le BAP :

Plus on augmente la fraction volumique du pourcentage de fibre ajouté, l'étalement diminue, T_{50} augmente, le V-funnel augmente, la capacité de passage et de remplissage diminue (H2/H1 augmente) et le risque de ségrégation augmente.

❖ **À l'état durci :**

A. Pour le BO renforcé par BAPF :

- La négligence de formulation de béton influé négativement sur la résistance
- La résistance à la compression des Béton réparés et supérieure à celle du béton ordinaire.
- Les fibres dans le matériau de réparation, permettent de limiter la fissuration et d'améliorer l'adhérence avec le substrat.
- L'augmentation du module élastique du béton de réparation améliore les caractéristiques mécaniques des bétons réparés.
- La faisabilité de réparation par le béton autoplaçant à base de fibre métallique.

B. Pour le BO renforcé par BAPF :

- La résistance à la compression des BAPF renforcé est légèrement supérieure par rapport au béton autoplaçant témoin, et elle est semblable après 56 jours
- La résistance à la flexion est améliorée en fonction de l'augmentation de la longueur et de la fraction volumique de fibres pour les BAP et BOR
- Le module d'élasticité est amélioré en fonction de l'augmentation de la longueur et de la fraction volumique de fibres
- L'augmentation de la teneur en fibre mène à une réduction importante du retrait et augmentation du gonflement
- L'absorption par capillarité est augmentée par l'augmentation de la teneur en fibres

Sur la base, le béton à base des fibres de **50 mm** de longueur utilisé avec une fraction volumique de **0.5%** semble être le meilleur à l'état frais et durci et par suite il est for recommander aux utilisateurs des domaines du BTP.

RECOMMANDATIONS

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

- Réparation des éléments structuraux (poutres, poteaux…etc)
- Prévoir une modélisation des résultats permettant les prévisions sur les caractéristiques des bétons réparés.
- Utilisation d'autres types de fibres (PET, Polypropylène,…etc)
- Etude la durabilité des bétons autoplaçants fibrés
- Etude de la durabilité des réparations

REFERENCE BIBLIOGRAPHIQUE

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[1] : Marlène .Fossati, « contribution à l'étude en laboratoire des condition critiques de mise en oeuvre d'une réparation mince avec mortier » Mémoire d'ingénieur (Maîtrise en génie de la construction), Université du Québec, Montréal, CANADA, (Avril 1998).

[2] : Règlement parasismique algérien 99, (version 2003).

[3] : J.A.Calgaro, R.Lacroix, « Maintenance et réparation des ponts » Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France, PP : 279-336 (1997).

[4] : Encyclopédie du bâtiment, Introduction à la pathologie des bâtiments, Edit. WEKA, Paris, France,

[5] : S.Haouara, « les facteurs d'influence sur la dégradation des ouvrages en béton armé dans la région de Biskra » Mémoire de Magistère, Université Med Khider, Biskra (2004).

[6] : GODART (B.) et LE ROUX (A.), « Alcali-réaction dans le béton : mécanisme, pathologie et prévention C 2252 ». Traité Construction (1995).

[7] : Thamer MNIF, « Injectabilité des coulis de ciment dans les milieux fissurés » Thèse de doctorat de sciences appliquées, Université Sherbrooke (Québec), CANADA, (1997).

[8] : Comité scientifique et technique de l'AFGC, « Réhabilitation du béton armé dégradé par la corrosion » Document scientifique et technique, Centre Français de l'Anti-corrosion), (Novembre 2003).

[9] :Laurant.Molez, « Comportement des réparations structurales en béton : couplage des effets hydrique et mécanique » Thèse de doctorat (Ph.D), Université de CACHAN, (France 2003).

[10] : Laurant.Molez, « Comportement des réparations structurales en béton : couplage des effets hydrique et mécanique » Thèse de doctorat (Ph.D), Université de CACHAN, (France 2003).

[11]: Garboczi, E. J. (1993). Computational materials science of cement-based materials. Materials and structures,v. 26, p. 191-195

[12] : Courard, L. (1999). Contribution à l'analyse des paramètres influençant la création de l'interface entre un béton et un système de réparation, Liège, Université de Liège, 198 p.

[13] : Guindon, M.-A. (2003) Étude du comportement des resurfaçages adhérents – mécanismes d'endommagement et influence des paramètres de conception, Mémoire de maîtrise de l'université de Sherbrooke, Sherbrooke, Québec, 136 pages.

[14]: Paramasivam, P., Ong, K. C. G., Ong, B. G. et Lee, S. L. (1995) Performance of Repaired Reinforced Concrete Slabs Under Static and Cyclic Loading, Cement & Concrete Composite, vol. 17 no. 1, pp. 37-45.

[15]: Silfwerbrand, J. et Paulsson, J. (1998) Better Bonding of Bridge Deck Overlays, Concrete International, Oct. 1998, pp. 56-61.

[16]: Lemieux, M., Gagné, R., Bissonnnette, B. et Lachemi, M. (2005) Behavior of Overlaid Reinforced Concrete Slab Panels Under Cyclic Loading - Effects of Interface Location and Overlay Thickness, ACI Structural Journal, May-June 2005.

[17]: Habel, K. (2004) Structural Behavior of Elements combining Ultra-High Performance Fiber Reinforced Concrete (UHPFRC) and Reinforced Concrete (MCS 99.04) Rapport de laboratoire de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne.

[18] : Bissonnette, B. (1996) Le fluage en traction : un aspect important de la problématique des réparations minces en béton, Thèse de doctorat de l'Université Laval, Québec, 290 pages.

[19]: Bissonnette, B., Pigeon, M. et Vaysburd, A. M. (2007) Tensile creep of concrete : Study of its sensitivity to basic parameters, ACI Materials Journal, vol. 104, no. 4, pp. 360-368.

[20]: Emmons, P. H. et Vaysburd, A. M. (1994) Factors affecting the durability of concrete repair: thecontractor's viewpoint, Construction and Building Materials, vol. 8 no.1, pp. 5-16.

[21]: Granju, J.L. (1996) Thin Bonded Overlays: About the Role of Fiber Reinforcement on the Limitation of Their Debonding, Advanced Cement Based Materials, no. 4, pp. 21-27.

[22] : Bernard, O. (2000) Comportement à long terme des éléments de structure formés de bétons d'âges différents, Thèse de doctorat de l'École Polytechnique Fédérale de Lausanne, Lausanne, 189 pages.

[23]: Vaysburd, A. M., Sabnis, G. M., Emmons, P. H. et McDonald, J. E. (2001) Interfacial bond and surface preparation in concrete repair, The Indian Concrete Journal, Jan. 2001, pp. 27-33.

[24] : Perez, F. (2005) Contribution à l'étude du comportement mécanique des éléments bicouches composés de bétons d'âge différents sous sollicitations statiques et cycliques, Thèse de doctorat de l'Université Laval, Québec, 220 pages.

[25] : Wells, J. A. et al. (1999) Getting Better Bond in Concrete Overlays, Concrete International, March 1999, pp. 49-52.

[26]: H. Okamura; K. Ozawa and M. Ouchi , «Self-compacting concrete». Structural Concrete, 17, March 2000.

[27]: Okamura et Ouchi, «Self-compacting concrete», Journal of advanced Concrete Technology, 2003, vol 1, n°1, pp 5-15.

[28]: Ozawa. K, et al. , «Development of high performance concrete based on the durability design of concrete structures», Proceedings of the second East-Asia and Pacific Conference on Structural Engineering and Construction (EASEC), Vol.1, pp 445-450, January, 1989.

[29]: H. Okamura, K. Ozawa. , «Self compactable high performance concrete in Japan » ACI International Workshop on high Performance Concrete, Bangkok, Thailand, (1994).

[30]: Okamura H. and Ouchi M., "Self-Compacting Concrete. Development, present use and future", Proceedings of the First International RILEM Symposium on Self Compacting Concrete, 1999, Stockholm, Suède pp. 3-14

[31]: Assaad J.J. and Khayat K.H. , « Effect of casting rate and concrete temperature on formwork pressure of self-consolidating concrete » Materials and Structures (2006) vol 39, pp. 333–341

[32] : 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.

[33] : G.Dreux, J.Festa, «Nouveau Guide du Béton et Ses Constituants », 8ème Edition, Edition Eyrolles.1998.

[34] : Daoud Atef, «Etude expérimentale de la liaison entre l'acier et le béton autoplaçantcontribution à la modélisation numérique de l'interface », Thèse de Doctorat, Institut Nationale des Sciences Appliquées de Toulouse, Juin 2003

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

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

[37] : M. Venuat, « La pratique des ciments mortiers et bétons ». Edition le MONITEUR, 1976.15

[38] : J. Baron et R. Sautrey, « Le béton Hydraulique : connaissance et pratique». Presse de l'école ponts et chaussées. 1995. 16

[39] : M. El Barak, «Contribution de l'étude de l'aptitude à l'écoulement des bétons autoplaçant à l'état frais», thèse de doctorat, Université de Toulouse, 2005.

[40]: Khayat K.H., « Viscosity-Enhancing Admixtures for cement-based materials – An overview » Cement and Concrete Composites, 20, pp. 171-188, 1998. 18

[41]: MAILVAGANAM, N.P. (1984) miscellaneous admixtwes, tiré de: Concrete adniixture handbook, ~ropreties, science. and technolow - V.S. Ramachandran, Noyes Publication Park Ridge, New Jersey, US& p. 528-597.19

[42]: KAWAI, T. (septembre 1987) Non-dispersibe undemater concrete trringpolpers, 5 & International Congess on Polymers in Concrete, Brighton, England, 6 p.20

[43]: KHAYAT, K.R, (mars-avril 1995) Effects of antiwashout admütwes 02 fiesh conmete properties, AC1 Màterïals Journal, V.92, No. 2, 8 p.

[44]: SKAGGS, C.B., RAKZTSKY, W.G., WHITAKER, S.F., (1994) Applications of rheological modzflers and superplasticizers in cementitious system, Proceedines of the Fourth International Conference of the ACI, Montréal, Canada, p. 189-207.

[45]: EFNARC « The European guidelines for self-compacting concrete » The European Federation of Specialist Construction Chemicals and Concrete Systems, 2005, 68p.

[46]: Sonebi M. and Bartos P.J.M. « Filling ability and plastic settlement of self-compacting concrete » Materials and Structures, 2002, Vol 35, pp. 462-469.

[47] : Chapdelaine F. « Etude sur la mesure de la rhéologie du béton frais » Mémoire de Master (M.Sc.), 1998 Université de Laval, 126 pages. 21/m 5

[48]: P. Domone, « The slump flow test for high-workability concrete", Cement and Concrete Research, vol 28. N°2, pp. 177-182, 1998.

[49]: SCC, «Guidelines Task 9, End Product», Brite EuRam project BE 96-3801, Rational production and improved working environment through using SCC, February 2000.

[50] : AFGC, «Les, Béton Autoplaçants»: Recommandations Provisoires Edition AFGC 2000.

[51] : BOUKNI Bariza tenue au feu des bétons autoplaçants Mémoire de magister université Mentouri Constantine décembre 2007.

[52]: Burak Felekog¢, Selcuk Turkel, Bulent Baradan, "Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete". Building and Environment 2003

[53]: Assié S., Escadeillas G., Marchese G. and Waller V. « Durability properties of lowresistance self-compacting concrete » Magazine of Concrete Research, 2006, vol 58, pp. 1–7.

[54]: Nassif H.H., Najm H. and Suksawang N. « Effect of pozzolanic materials and curing methods on the elastic modulus of HPC » Cement & Concrete Composites, 2005, vol 27, pp. 661–670.

[55]: Persson B. « A comparison between mechanical properties of self-compacting concrete and the corresponding properties of normal concrete » Cement and Concrete Research, 2001, vol 31, p. 193-198.

[56]: Felekoglu B., Turkel S. and Baradan B. « Effect of water/cement ratio on the fresh and hardened properties of self-compacting concrete » Building and Environment, 2007, vol 42, pp. 1795–1802.

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

[58]: Gram H.E. and Piparinen 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, 1999, pp. 211-225.

[59]: S. Assié., G. Escadellas, G. Marchese. « Durability of self-compacting concrete » 3rd International Symposium on Self Copacting concrete, pp 665-662, Reykjavik, Iceland, 17-20 August 2003.

[60] : BOUKNI Bariza tenue au feu des bétons autoplaçants. Mémoire de magister université Mentouri Constantine décembre 2007.

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

[62]: RILEM "Self-Compacting Concrete. State-of-the-art report of RILEM Technical Committee 174-SCC", Edited by A. Skarendahl and O. Petersso, RILEM Publications, France, 2001.

[63]: Sedran T. and De Larrard F. "Optimization of self-compacting concrete thanks to packing model", Proceedings of the First International RILEM Symposium Self-Compacting Concrete, Stockholm, Suède, 1999, pp.321-332.

[64] : De Larrard F. "Structures granulaires et formulations des bétons", Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, Paris, avril 2000.

[65]: De Larrard F. and Sedran T. "Mixture-proportioning of high-performance concrete", Cement and Concrete Research, 2002, vol 32, pp.1699-1704.

[67]: Bui V.K., Montgomery D., Hinczak I. and Turner K. "Rapid testing method for segregation resistance of self-compacting concrete", Cement and Concrete Research, 2002, vol 32, pp.1489-1496.

[68]: Bui V.K., Akkaya Y. and Shah S.P. "Rheological Model for self-consolidating concrete", ACI Materials Journal, Novembre-Décembre 2002, vol 99, pp.549-559.

[69] : Jean-christophe Braquenier « Le Béton Autoplaçant ou Autocompactant », Recherche et Etude, pp14-22, Automne 2000.

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

[71]: Gruewald, S., Performance based design of self-compacting steel fiber reinforced concrete. 2004, Delft University of Technology: Netherlands. P. 233.

[72]: SWAMY, R. H. S, AHUJA, B. M, KRISHAMOORTHY, S., Behavior of concrete Reinforced with jute, coir, bamboo fibers. The international journal of cement composite and Light weight concrete, volume 5, p 13 N°1, 1984.

[73]:Nilson, L., Reinforced Concrete with Sisal and other vegetable fiber. Swedish Council for Building Research, document D14, 1975.

[74]: Ayer, T.S.R. and Mirihagalla, P.K., Elephant grass fibers and reinforcing fiber.Magazine of Concrete Research, Vol. 28, pp.162-67, 1976.

[75]:Coutts, R.S.P., Flax fibers as a reinforcement in cement mortar , the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5 N°4,pp 257-262, 1983

[76]: 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.

[77]: Bledzki, A. K and Gassan. J., Composites reinforced with cellulose based fibres, Elsevier, Progress in polymer science, volume 24, pp.221-274, 1999.

[78]: Durand G., "les bétons à base de fibres d'acier" CERILH stage26-02-1986 N° 6 p6 et Annales N°347 Février 1977 pp 48-49.

[79]: Dardare J., " Contribution à l'étude du comportement mécanique des bétons renforcés de fibres de polypropylène ", In : fibre reinforcedcement and concrete, RILEM

[80]:Poh W. " General creep-time equation." Journal of Materials in Civil Engineering.1998, Vol.10, n°2 p.118-120.

[81]:Alkhairi F.M., Naaman A.E. (1992), Compressive strength and modulus of high early strength fiber reinforced concrete, Fibre Reinforced Cement and Concrete, proceedings du 4e Symposium International de la RILEM, Sheffield, pp. 138-152.

[82]: ZHANG, M. H., CHEVRIER, R. L., MALHOTRA V. M., MIRZA, J. (1997.) Use of High-volume Fly Ash in Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Shotcrete Applications, CANMET - Durability of concrete, Proceedings International Conference, Sydney, Australia, pp. 681-722.

[83]: ROSSI P., RENWEZ S., BELLOC A. "Les bétons de fibres à ultra-hautes performances", Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, № 196, mars-avr.1995.

[84]:BENTALHA M, HOUARI H., (2007), Étude du comportement des matrices cimentaires renforcées de fibres métalliques sous chargement monotone croissant, Sciences technologie B – n°25, pp51-58.

[85]: DALLAIRE, E. (Août 1993) Étude du comportement à la flexion et à la compression de béton à haute performance renforcés de fibres d'acier, Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées, Spécialité : génie civil, Sherbrooke (Québec), Canada, 125 p.

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

[87]: 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.

[88]: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

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

[90]: 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.

[91]: Peterson, Ö. (1998) "Preliminary Mix Design", Final Report of Task 1, BriteEuram project (BE 96-3801) - Rational production and improved working environment through using SCC, Document RT1_v2.doc.

[92]: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.

[93]: Alcantara M., (2004) Béton auto-plaçant et fibrages hybrides: composition, rhéologie et comportement mécanique, Thèse doctorat LMDC

[94]: Alcantara M., Mouret. M., Pons. G., Granju.J-L., (2005) "Self-compacting concrete with hybrid fiber reinforcement: workability and mechanical behaviour", 4 th International Symposium on Self-Compacting Concrete, 17-20 August 2003, Chicago, USA.

[95]:Granju J-L., Sabathier V., Alcantara M., Pons G., Mouret M., (2004) "Hybrid fibre reinforcement of ordinary or self-compacting concrete", In: Proceedings PRO 39 of the Sixth International RILEM Symposium BEFIB, RILEM Publications, pp 1311–1320.

[96]:Kawamata A., Mihashi H., Fukuyama H., (2003) "Properties of Hybrid Fiber Reinforced Cement-based Composites", journal of advanced concrete technology vol.1, No.3, 283-290, November 2003

[97]: 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.

[98]: NF EN 933-1, 1997. « Essais pour déterminer les caractéristiques géométriques des Granulats. Partie 1:Détermination de la granularité. Analyse granulométrique par tamisage », AFNOR.

[99]: 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.

[100]:NF P18-555, (déc.1990). « Granulats- Mesures des masses volumiques, de la porosité, du coefficient d"absorption et teneur en eau des sables ».

[101]: NF P 18-598, (Oct. 1991). « Granulats- Équivalent de sable »

[102]:NA 458 : «Granulats, Essai LOS-ANGELES» 1ère édition /1990.

[103]: MEDAFLOW 145 Conforme à la norme AN 934-2 : TABB1, TAB 3.1 ET TAB 3.2 NA 774.

[104] : NF EN 12350-2, 1999, « Essai pour béton frais. Partie 2 : Essai d'affaissement », AFNOR.

[105] : NA 431, 1989, «béton frais, détermination de la consistance-essais d'affaissement » Norme algérienne

[106]: NF EN 12390-3, 2003, « Essai pour béton durci. Partie 3 : Résistance à la compression des éprouvettes », AFNOR.

[107]: NA427 ,1989 «Détermination de la résistance à la compression des éprouvettes» Norme algérienne.

[108]: NF P 18-412, 1981, «caractéristiques particulière des machines hydrauliques pour essais de compression.

[109] : NF P 18-407 « Résistance à la traction »

[110] : NA 428 : «Béton- Détermination de la résistance à la flexion des éprouvettes»1ère édition /20-08-1992.

[111]: ASTM C293 « Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Center-Point Loading) »

[112] : NF P 15-404, Normes AFNOR : « Essais pour béton durci - Partie 1 : forme, dimensions et autres exigences relatives aux éprouvettes et aux moules »1989.

[113] : 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 200

[114]: Mohammad Y, Singh SP, Kaushik SK. Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibers in fresh and hardened state. Constr- Build- Mater 2008; 22:956–65.

[115]: M.G. Alberti, A. Enfedaque, J.C. Gálvez, on the mechanical properties and fracture behavior of polyolefin fiber-reinforced self-compacting concrete, Const-Build-Mater- 55 (2014) 274–288.

[116]: Bensaid Boulekbache, MostefaHamrat, Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material, Const-Build-Mater 24 (2010)1664– 1671.

[117]: Kawamata A., Mihashi H., Fukuyama H., (2000) "Flexural failure properties of hybrid fiber reinforced cementitious composites", proceeding of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, No.63, 69-72.

[118]: Domagała L. Modification of properties of structural lightweight concrete with steel fibres. J CivEng Manage 2011; 17(1):36–44.

[119]: Kayli O, Haque MN, Zhu B. Some characteristics of high strength fiber reinforced lightweight aggregate concrete. Cem-Concr-Compos 2003; 25(2):207–13.

[120]: Bilodeau A, Kodur VKR, Hoff GC. Optimization of the type and amount of polypropylene fibers for preventing the spalling of lightweight concrete subjected to hydrocarbon fire. Cem-Concr-Compos 2004; 26:163–74.

[121]: Shafigh P, Mahmud H, Jumaat MZ. Effect of steel fiber on the mechanical properties of oil palm shell lightweight concrete. Mater-Des 2011; 32:3926–32.

[122]: Valeria Corinaldesi, GiacomoMoriconi, Characterization of self-compacting concretes prepared with different fibers and mineral additions, Cem-Conc-Comp 33(2011) 596–601.

[123]: G. Centonze, M. Leone, M.A. Aiello, Steel fibers from waste tires as reinforcement in concrete: A mechanical characterization, Const-Build- Mater 36 (2012) 46–57.

[124] : ROSSI P., (1998), Les bétons de fibres métalliques, Presses de l'école nationale des ponts et chaussées, France.

[125]: ElieAwwad, MounirMabsout, Studies on fiber-reinforced concrete using industrial hemp fibers, Cons- Build-Mate 35 (2012) 710–717.

[126]: Mahmoud Hassanpour, PayamShafigh, Hilmi Bin Mahmud, Lightweight aggregate concrete fiber reinforcement – A review, Cons-Build-Mate 37 (2012) 452–461.

[127]: M.G. Alberti, A. Enfedaque, J.C. Gálvez, on the mechanical properties and fracture behavior of polyolefin fiber-reinforced self-compacting concrete, Const-Build-Mater-55 (2014) 274–288.

[128]: Mohammadi Y, Singh SP, Kaushik SK. Properties of steel fibrous concrete containing mixed fibers in fresh and hardened state. Constr- Build- Mater 2008; 22:956–65.

[129]: BensaidBoulekbache, MostefaHamrat, Flowability of fibre-reinforced concrete and its effect on the mechanical properties of the material, Const-Build-Mater 24 (2010)1664 1671.

[130]: Kawamata A., Mihashi H., Fukuyama H., (2000) "Flexural failure properties of hybrid fiber reinforced cementitious composites", proceeding of AIJ Tohoku Chapter Architectural Research Meeting, No.63, 69-72.

[131] : Elhachem M., « Etude de l'influence de la fibre de fonte amorphe sur le retrait et le fluage du béton », Thèse Doct., Ecole Centrale Paris, 1990, 165p.

[132]: Edgington J., Hannant D.J., Williams R.I.T, Steel fiber reinforced concrete. », G.B. Building 1974.

[133] : Elhachem M., « Etude de l'influence de la fibre de fonte amorphe sur le retrait et le fluage du béton », Thèse Doct., Ecole Centrale Paris, 1990, 165p.

[134] : Houari H., Etude de l'influence de la fibre métallique sur le fluage et la fatigue du béton, Séminaire National de Génie Civil, Guelma, Algérie, 24-25 Oct. 1994, 10p.

[135]: Arabi. N, Redel. B, Melinge. Y, Jauberthie.R. International "Alkali resistant glass fibre reinforced cementations materials for patching applications" Proceedings of 1st Concrete Conference one to repair, France 15-17 JULY? 2003.

[136]: Swamy. R.N, Stravrides. H, Some properties of high workability steel fiber concrete. Sheffield 1975.

[137]: Mangat P.S, Azari M.M, A theory for the free shrinkage of steel reinforced cement matrices, Journal of Materials Sciences, 1984, Vol. 19, pp.2183-219

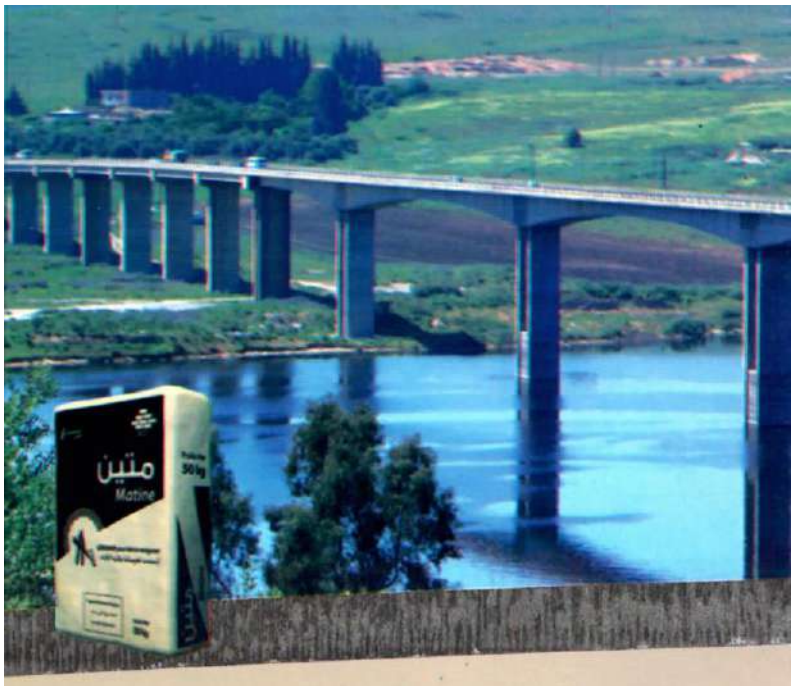
[138]: Dupin.R, Lanchon.R Aggregates, grounds, cements and concretes" Editions Casteilla 75005 PARIS 1995, pp 122-136.

ANNEXES

Annexe A : Tableau I.4 : Principales caractéristiques physiques et mécaniques Des fibres les plus utilisées

Fibres	*Diamètre (µm)*	*Long (mm)*	*densité*	*Résistance à la traction (Mpa)*	*Module d'élasticité (103 MPa)*	*Allongement à Laruptureen%*	*Coeff.DeDilatation (µ/m/°C)*	*RfeuTemp. Max °C*
Acier	5-500	20-80	7.8	1000-1500	200	3-4	11	1500
Fonte (ruban)	36x2600 de section	50-60	7.8	2500	140	1		1500
Verre	5-20	20-50	2.6	1500-300	80	2-3.5	9	800
Polypropylène	10-200	12-25	0.9	300-450	5-10	15-25	90	150
Polyester	-	-	1.4	700-850	8	11-13		
Polyamide	20-25	-	1.16	965	5.17	20	-	-
Amiante	0.02-20	5-10	2.5-3.4	3000	8-15	2-3	1	1500
Carbone	5-9	Variable	1.7-2	2000-3000	250-400	0.5-1.5	-	400-1500
Sisal	10-50	1.50	1.5		130	3	-	-
Cellulose	14-45	-	1.5	150-500	20-40	8-12	-	-
Jute	18-2000	-	1.45	350	-	3-4	-	-
Acrylique	5-17	-	1.18	200-1000	14.6-19.6	7.5-50	-	-
Kevlar	10-12	-	1.4-1.5	2000-3500	62-130	2.0-4.6	-	200
Coire	20-700	-	1.08	170	2.8	37.7	-	-

Annexe A : Fiche technique du ciment



Ciment

MATINE

Ciment pour béton exigeant

- Destiné aux bétons de performances avec une résistance caractéristique à la compression Rc 28> 25 MPa
- Compatible avec les différents adjuvants et ajouts cimentaires
- Approprié à la réalisation des bâtiments élancés, tunnels, barrages et ponts

Nous pouvons utiliser les proportions moyennes mentionnées ci-dessous dans le cas de l'absence d'une formulation étudiée.



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.

≈ 10ℓ ≈ ≈ 60ℓ

LAFARGE
لافارج

MATINE

Ciment pour béton exigeant

CEM II/A 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

Annexe C : Fiche technique du MEDAFLOW 145

NOTICE TECHNIQUE 1101

MEDAFLOW 145

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

Super plastifiant – Haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

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

CARACTERISTIQUES

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

PROPRIETES ET EFFETS

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

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

Sur béton durci :

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

DOMAINES D'APPLICATION

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

DOSAGE

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

MODE D'EMPLOI

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

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

Précaution d'emploi:
Manipulation non dangereuse.

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

Annexe D

Exemple de calcul de la composition du béton

Les données

Pour un volume de béton de volume V=33 litres

A. **Masses volumiques**

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

B. Coefficients d'absorption

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

Calcul d'humidité

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

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

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

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

Calcul des différents composants

A. Gravier

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

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

B. Sable

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

- Le pourcentage du gravier dans le béton :

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

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

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

- Le pourcentage du sable dans le béton :

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

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

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

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

C. Ciment

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

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

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

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

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

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

D. Superplastifiant

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

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

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

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

E. Eau

L'eau ajoutée au béton (**E**) est divisée en deux partie : la première partie (**E1**) est de 70% de (**E**) elle est ajoutée durant la première minute de malaxage et la deuxième partie (**E2**), elle de 30% de (**E**) est ajoutée au superplastifiant est l'ensemble est ajouté au mélange du béton durant la deuxième minute de malaxage.

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

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

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

- L'eau contenue dans le sable : e_1

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

- L'eau contenue dans le gravier : e_2

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

- L'eau contenue dans le superplastifaint : e_3

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

- L'eau à extraire: e

$$e = e_1 + e_2 + e_3$$

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

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

Avec :

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

Annexes auxiliaires

1. Les principales normes relatives aux produits de réparation

Normes [6]

Les principales normes relatives aux produits de réparation sont les suivantes :

Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique			
N° de normes	**Titre**	**Nature du liant**	**Année**
NF P 18-800	Définition, classification, conditionnement, marquage, conditions de réception	H-R	1989
NF P 18-802	Contrôle sur chantier	H-R	1992
Produits ou systèmes de produits destinés aux réparations de surface du béton durci			
NF P 18-840	Caractères normalisés garantis -Normes d'essais garantis- Normes		1993
NF P 18-852	Essais d'adhérence sur surfaces sciées	H-R	1993
NF P 18-853	Essais d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces sciées	H-R	1993
NF P 18-854	Essais de tenue aux chocs répétés sur surfaces sciées	H-R	1993
NF P 18-855	Essais de perméabilité aux liquides avec surfaces sciées	H-R	1992
NF P 18-856	Essais de tenue aux rayonnements U.V	R	1993
NF P 18-857	Essais de tenue aux chocs sur surfaces sciées après cycles	H-R	1993
NF P 18-858	Essais d'adhérence sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-859	Essais d'adhérence après cycles thermiques sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-860	Essais de tenue aux chocs répétés sur surfaces rugueuses	H	1993
NF P 18-861	Essais après cycles de gèl-dégel, de tenue aux chocs répétés sur éprouvettes à surface rugueuse	H	1993
NF P 18-862	Essai de perméabilité aux liquides sur éprouvette à surface rugueuse	H	1993
Ouvrages d'art, Normes sur les techniques de réparations			
NF P 95-101	Réparation et renforcement des ouvrages en béton et en maçonnerie- Reprise du béton dégradé- Spécifications relatives à la technique et aux matériaux utilisés		1990

H : produits hydrauliques
R : résines de synthèse

2. Programme de calcule des quantités exigences pour des BAP

Essais sur BAP

Composition et Résultat des Tests

entrée des data cellules en rouge
valeurs calculées cellules en noir

référence:

Date 05-févr-16

mesures d'humidité

Densités relatives		Gravier	2,6		Absorptions (%)			Pds Hum	Pds sec	% Humid
		Sable	2,6		Gravier	1,44	8/15	64,2	63,2	1,58
		Ciment	3,15				3/8	61,4	59,2	3,72
		Fines			Sable	1,2	Sable	46,6	45,5	2,42

gravier

Densité		2600	kg/m^3			% gravier	32,0	vol % de béton	
percent		32				Gravier	832	kg/m3	
8/15:3/8		0,330				8/15	206	kg/m3	
						3/8	626	kg/m3	

air		1	vol % de béton

Sable

volume mortier		67,0	vol % de béton		% Sable	30,2	vol % de béton	
Sable		45	vol % de mortier		Sable	784	kg/m3	

pate

volume		36,9	vol % de béton		% Eau	20,5	vol % de béton	
E/P volume		1,26			Eau	205	kg/m3	
Poudre		16,3	vol % de béton					
Ciment		100	vol % de poudre		Ciment	16,3	vol % de béton	
Fines		0	vol % de poudre		Ciment	514	kg/m3	
Densité relative poudre		3,15						
					% Fines	0,0	vol % de béton	
E/P Poids		**0,400**			Fines	0	kg/m3	

superplastifiant: MEDAFLOW 145

dosage		1	% liquid de poudre		superplast	5,14	kg/m3	

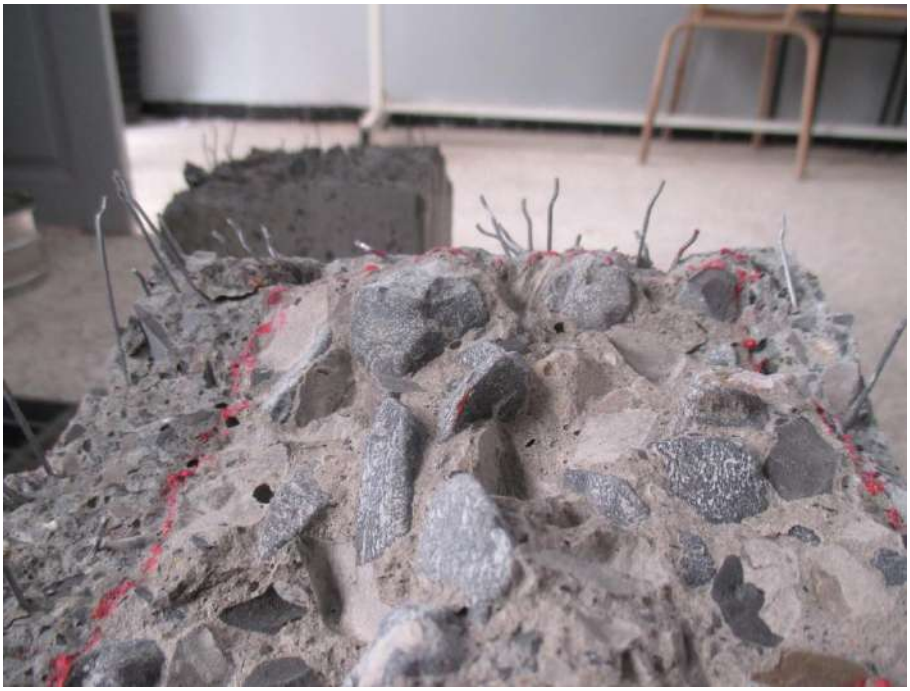
Mélange vol (litres) 1000 litres

Densité Béton		2340	kg/m3		Poids Mélange	2340,10	kg	

Poids Mélange

		prop.mél	Pds mél	absorption	humidité	extra eau	Poids		
		kg/m3	kg	%	%	kg	kg		
Gravier 8/15		206	206,44	1,44	1,58	0,29	206,73		
GravierGravier 3/8		626	625,56	1,44	3,72	14,24	639,80		846,53
Sable		784	783,90	1,2	2,42	9,54	793,44	SR	**317,38**
Ciment	CPA (ACC) 42,5	514	513,62				513,62	SC	**476,07**
Fines	Laitier	0	0,00				0,00		
Eau		205	205,45						
Superplast	MEDAFLOW 145	5,14	5,14		80	4,11	5,136		
composition eau							177,26	eau 1	124,082
								eau 2	53,178
total		2340	2340,1			28,19	2335,99		

3. Coupe d'une poutre réparée



1. Homogénéité de mélande

