



**Ministère de l'enseignement supérieure
et de la recherche scientifique
Université Mohamed Boudiaf - M'sila
Faculté de technologie
Département de GENIE CIVIL**



MEMOIRE

**Présenté pour l'obtention du diplôme de
MASTER**

FILIERE : Génie Civil

SPECIALITE : Matériaux

Présenté Par:

DJERAD KARIMA

CHOUYA AHLAM

Intitulé:

**Revue bibliographique sur la durabilité des bétons
autoplaçants(BAP) fibrés**

Dirigé par :

Dr. DJEBRI NOURA

Université de M'sila

Encadreur

Pr. RAHMOUNI ZINE EL ABIDINE

Université de M'sila

Co- Encadreur

Année universitaire:2019/2020.

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



REMERCIEMENTS

*La première chose on remercie le dieu pour le succès qu'il nous a
donné, la volonte et la patience tout au long de la période
d'étude*

En second lieu nous remercions aussi notre

*Encadreur «Mme. DJEBRI NORA», et Co-Encadreur «Pr.
RAHMOUNI. Zin ElAbidine» pour l'orientation, la confiance et la
patience tout long de ce travail.*

*Nos remerciements vont aussi le chef de département du génie
civil « Mr. BAALI LAÏD » qui nous encourage et a tous les
enseignants de département Nous tenons à exprimer notre
reconnaissance à tous*

nos amis et

*collègues et tous les employés du laboratoire de génie civil à
l'université de Mohamad Boudiaf surtout*

« bakhti yamna » et « wahiba ».

Ahlam et Karima





Dédicace

Je dédie premièrement mon travail à mes très chers parents :

« BELKACEM » et « SALIMA ».

Et ma grande Famille:

« DJERAD ».

Je dédie à mes frères :«

*SALAH EDDINE et
ABD ERRAHMEN» et à mes
sœurs « KHALISSA , BELQIS ,
TAWBA et DJEHINA ».*

Je dédie a mon mari

«LAMARA MOHAMED».

Je dédie à me chère amie

« CHOUYA AHLAM ».

DJERAD KARIMA



Dédicace

*Je dédie premièrement
mon travail à mes très
chers parents:*

« SALAH »

Et ma grande Famille:

«CHOUYA».

Je dédie à me frère:

«ZOUHIR»

et à mes sœurs.

Je dédie à me chère amie

«DJERAD KARIMA».

CHOUYA AHLAM

Résumé

Le béton autoplaçant (BAP) se distingue du béton conventionnel principalement par ces propriétés à l'état frais. C'est un béton fluide très déformable, homogène et stable qui se met en place sous l'effet gravitaire sans recours à aucune vibration. La formulation de ce type de béton est particulière, elle renferme un volume de pâte élevée, un dosage important en addition, une utilisation obligatoire de superplastifiant, un faible volume en gravillons et un rapport Gravier/Sable proche à 1. L'ajout des fibres métalliques améliore leurs propriétés mécaniques.

L'objectif de cette étude est de faire une synthèse bibliographique sur la durabilité des bétons autoplaçants fibrés en plus et comme exemple expérimentale d'évaluer les propriétés rhéologiques d'un béton autoplaçant formulé et renforcé par deux types de fibres métalliques (Fibres d'attacher et fibres ondule), afin de voir l'influence de ces fibres sur les propriétés du béton autoplaçants fibré à l'état frais.

Mots clés : Béton autoplaçant, Fibres métalliques, Propriétés rhéologiques, l'état frais, durabilité, agressions chimiques.

Abstract :

Self-compacting concrete differs from conventional concrete mainly in its fresh properties. It is a fluid concrete very deformable, homogeneous and stable which is put in place under the gravitational effect without recourse to a vibration. The formulation of this type of concrete is particular; it contains a volume of pulp high, a large dosage in addition, and a small volume Gravel / Sand ratio close to 1. The addition of metal fibres improves their mechanical properties.

The objective of this study is to make a bibliographical synthesis on the durability of self-placing concrete fibres in addition and as an experimental example of evaluating the rheological properties of a self-compacting concrete formulated and reinforced by two types of metal fibres (fibres to match and wavy fibres) in order to see the influence of these fibres on the properties of self-placing fibres-reinforced concrete in the fresh state.

Key Word: Self - compacting concrete, Metal fibres, Rheological properties, fresh condition, durability, chemical

ملخص:

تختلف الخرسانة ذاتية الدمج عن الخرسانة التقليدية بشكل رئيسي من خلال هذه الخصائص في الحالة السائلة إنها عبارة عن خرسانة سائلة شديدة التشوه، متجانسة و مستقرة تستقر تحت تأثير الجاذبية دون اللجوء إلي إي اهتزاز.

تعتبر صياغة هذا النوع من الخرسانة خاصة علي وجه الخصوص فهي تحتوي حجما كبيرا من المعجون جرعة عالية بالإضافة إلي استخدام الإجمالي للملدن الفائق، وحجم منخفض من الحصى ونسبة رمل/ حصى قريبة من 1 (الحصى/الرمل=1).

إضافة الألياف المعدنية يحسن خواصه الميكانيكية.

الهدف من هذه الدراسة هو عمل توليف بيليوغرافي حول متانة الخرسانة المدعمة بالألياف ذاتية الدمج بالإضافة إلى ذلك و كمثل تجريبي لتقييم الخصائص الانسيابية للخرسانة ذاتية الدمج المصاغة و المدعومة بنوعين من الألياف المعدنية (الألياف التي يتم إرفاقها و الألياف المتموجة) من أجل رؤية تأثير هذه الألياف على خصائص الخرسانة المسلحة بالألياف ذاتية التماسك في الحالة السائلة

الكلمات المفتاحية

الخرسانة ذاتية الألياف، ألياف معدنية، الخصائص الانسيابية، الحالة السائلة، الديمومة، العدوان الكيميائي.

SOMMAIRE

-Remerciements

-Dédicace

-Sommaire

-Liste des tableaux

- Liste des figures

INTRODUCTION GENERALE.....1

CHAPITRE I :Revue Générales Sur Le Béton Autoplaçant Fibré(BAPF)

I-introduction4

I -1:Le béton autoplaçant (BAP)5

I-1-1: Définition.....5

I-1-2 : Les principaux constituants des BAP.....6

I-1-2-1: Matériaux de base.....7

1 -Le ciment7

2- Les granulats8

3- L'eau 9

I-1-2-2 Les addition minérales..... 9

I-1-2-2-1 : Poudre de marbre 9

I-1-2-2-2 : l'effet de poudre de marbre.....10

1/ à l'état frais10

2/ à l'état durci10

I-1-2-3Lesadjuvant chimique.....10

Les superplastifiants11

I-1-2-4 Autres additions11

SOMMAIRE

I-1-3Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais	12
I-1-3-1 Rôle des adjuvants :	12
1-Utilisation de super plastifiant	12
2-Effets des superplastifiants sur les BAPs	13
a) Effet sur le béton frais	13
b) Effet sur le béton durcis	13
I-1-3-2- Un volume de pâte élevée	13
I-1-3-3Un faible volume de gravillons	14
I-1-4 Propriétés des BAP à l'état frais	15
I-1-4-1 Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP	15
I-1-4-2 Essai caractérisation des BAP	15
I-1-4-2-1Essais à l'état frais.....	15
1-Mobilité en milieu non confiné(Essai d'étalement)	15
2-Mobilité en milieu confiné (Essai de la boîte en L)	16
3-Stabilité (Essai de stabilité au tamis)	17
I-1-4-2-2 Propriétés du béton autoplaçants à l'état durci	18
1- Essai de compression	18
2- Essais de traction par flexion	19
3- Module d'élasticité	20
I-1-5 Les avantages et les inconvénients de BAP	20
I-1-6 Domaine d'utilisation des BAP	21
I-1-7 Fabrication, transport et mise en place des BAP	22
I-2 Béton de Fibres :	25
I-2-1 Définition.....	25

SOMMAIRE

I-2-2 Les fibres	26.
I-2-2-1 Définition les fibres	26.
I-2-2-2 Différents types de fibres	26
I-2-2-2-1 Les fibres métalliques	27
I-2-2-2-2 Propriétés mécaniques des fibres métalliques	28.
I-2-2-2-3 Domaine d'application des fibrés métalliques	29
I-2-2-3 Le rôle des fibres.....	30
I-2-2-4 Principe d'action des fibres	32
I-2-2-5 Les avantages du béton de fibres	33
I-3 les bétons autoplaçants fibrés.....	34
I-3-1 Introduction	34
I-3-2 Composition des BAPF	34
I-3-3 formulations des BAPF	35
I-3-4 Comportement mécanique des BAPF.....	35
I-3-4-1 Effet du volume des fibres.....	36
I-3-4-2 Effet de la longueur des fibres.....	36
I-3-4-3 Effet de l'aspect ratio et la forme géométrique	37
I-3-5 Influence des fibres sur les propriétés des BAPF à l'état frais	37
I-3-6 ORIENTATION ET DISTRIBUTION DES FIBRES	38
I-3-7 Comportement mécanique des BAP fibrés	39
1- Comportement à la compression et à la traction.....	39
2- Comportement à la flexion	40
I-3-8 Utilisation des BAP fibres dans les structures.....	41
I-4 CONCLUSION	42

Chapitre II: La Durabilité Et Les Milieux Agressifs

Généralités.....	45
II.1. Définition.....	46
II. 2. Durabilité et économies:	46
II. 3. Béton durable et béton résistant:	47
II .4 Durabilité des bétons renforcés de fibres.....	48
II. 4.1 Durabilité des bétons renforcés de fibres métalliques	48
II.5. Les attaques chimiques sur des bétons:	50
II.5.1. Différents types de Les attaques chimiques du béton :	51
II-5-1-1- Les attaques sulfatiques.....	51
II-5-1-1-1- Définition.....	51
II-5-1-1-2 Sources des sulfates.....	52
II-5-1-1-3 Mécanismes d'attaques.....	53
1/Processus d'attaque par les sulfates internes.....	54
2/Processus d'attaque par les sulfates externes.....	55
II-5-1-2Les dégradations dues à l'eau de mer.....	55
II-5-1-2-1-Définition de l'attaque marine.....	55
II-5-1-3- Attaque par les acides	58
II-5-1-3-1 Introduction	58
II-5-1-3-2 Sources des acides	59
II-5-1-3-3 Mécanisme d'attaque des acides.....	59
II-5-1-4 Attaque par les ions chlorures.....	61
II-5-1-4-1Introduction	61
II-5-1-4-2 Source de l'attaque des ions chlores.....	61
II-5-1-5La carbonatation.....	62
II-5-1-5- 1 Définition.....	62
II-5-1-6 L'alcali-réaction.....	63
II-5-1-6-1 Définition.....	63
II-5-1-6-2 Les différents types d'alcali-réaction	63
II-5-1-6-3 Conditions d'apparition de l'alcali-granulat	64
II-5-1-6-4 Source de l'attaque d'alcali réaction.....	65

SOMMAIRE

II-5-1-7La lixiviation en eau douce.....	66
II-5-1-7 -1 Définition	66
II-6 Conclusion.....	67

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés

III-Introduction.....	69
III .1. sable.....	69
III .1.1. origine du sable.....	69
III .1.2. caractéristique physiques des sables utilisés.....	69
III 1.2.1.Masse volumique absolue.....	69
III .1.2.2. masse volumique apparent.....	67
III .1.2.2.1. masse volumique apparent à l'état l'ache.....	67
III .1.2.2.2 . masse volumique à l'état compact.....	71
III .1.2.3. porosité.....	71
III .1.2.4. compacité.....	72
III .1.2.5. l'indice des vides.....	72
III 1.2.6. Equivalent de sable.....	72
III .1.2.7. teneur en eau.....	74
III .1.2.8. Degré d'absorption d'eau.....	75
III .1.2.9. Analyse granulométrique.....	76
III .1.2.10.Module de finesse.....	77
III .1.3.Les caractéristique chimique du sable	78
III .2.Gravier.....	79
III .2.1. Origine de gravier.....	79
III .2.1.1. Classes granulaires.....	79
III .2.1.2. Résistance à la compression de la roche d'origine.....	79
III .2.2. caractéristique physique du gravier utilisé.....	79
III .2.2.1. Masse volumique apparente.....	79
III .2.2.2. Masse volumique absolue.....	80
III .2.2.3. porosité , compacité et indice des vides.....	80
III .2.2.4. Degré d' absorption d'eau	81
III .2.2.5. Teneur en eau.....	81
III .2.2.6.Analyse granulométrique.....	81
III .2.3.Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés.....	83

SOMMAIRE

III .2.3.1. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles)	84
III .2.4. caractéristique chimique des graviers utilisés.....	85
III.3.Caractéristiques du ciment utilisé	86
III.3.1 . Caractéristiques physiques du ciment.....	86
III.3.2 . Caractéristiques chimiques du ciment	86
III.3.3 . Les caractéristiques minéralogiques	86
III.4. Les fibres métalliques	87
III.5. L'adjuvant	88
III.6.Le filler (marbre)	89.
III.7. L'eau de gâchage.....	90
III.8.Conclusion	91

Chapitre IV :Technique expérimentaux.

IV - Introduction.....	93
IV -1-Formulation de béton autoplaçant.....	93
IV -2- les constituants présents dans le mélange.....	93
IV -3- les composition des différents bétons d'étude.....	95
IV -4-Essais de caractérisations Rhéologiques des BAP.....	96
IV -4-1- l'état frais.....	96
IV -4-1-1 -Mesure d'étalement au cône d'abrams.....	96
IV -4-1-2- Essais de stabilité au tamis	99
IV -4-1-3- Essais de la boîte en L.....	101
IV -4-1-4-La masse volumique du béton auto-plaçant	103

SOMMAIRE

IV -5 Conclusion	104
-------------------------------	-----

Chapitre V: résultats et Analyses

V . Introduction.....	106
V .1. Résultats des essais à l'état frais.....	106
V . 1.1 Essais d'étalement au cône d'Abrams.....	107
V .1.2 Indice de ségrégation.....	108
V .1.3 Essais de boîte en L.....	108
V .1.4 La masse volumique.....	109
V .1.5 Conclusion	110
<i>Conclusion générale et perspective</i>	112

-Annexe

-Références bibliographiques

Liste des tableaux

CHAPITRE I :Revue Générales Sur Le Béton Autoplaçant Fibré(BAPF)

Tableau I-1-1.Classes d'étalement.....	15
Tableau I-1-2.Classe l'aptitude à l'écoulement.....	15
Tableau I-1-3.Classement de la formulation selon le pourcentage	16
Tableau I-1-4.Comparaison entre les essais de béton autoplaçant	16
Tableau I-2-1.Récapitulatif des différents types de fibres.....	25
Tableau I-3-1.Domainses d'application de BAPF	

Chapitre II: La Durabilité Et Les Milieux Agressifs

Tableau II.1. Facteurs influents sur la durabilité.....	48
Tableau II-2. mentionne les composants du béton menacés par la corrosion.....	60

Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés

Tableau III.1 . La masse absolue de sable.....	70
Tableau III.2 . La masse volumique apparente à l'état lâche.....	71
Tableau III.3. La masse volumique à l'état compact du sable.....	71
Tableau III.4. Porosité, compacité et indice des vides.....	72
Tableau III.5. La classification de la nature du sable	74
Tableau III.6 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.....	74
Tableau III.7: Teneur en eau de sable utilisé	75
Tableau III.8 . Absorption d'eau de sable utilisé.....	75
Tableau III.9 . Analyse granulométrique du sable.....	77
Tableau III.10. Modules de finesse du sable.....	78
Tableau III.11. Les Caractéristiques chimiques	78
Tableau III.12. Masse volumique apparente du gravier.....	80

SOMMAIRE

Tableau III.13.La masse volumique absolue du gravier.....	80
Tableau III.14. Porosité, compacité et l'indice des vides.....	81
Tableau III. 15 .absorption d'eau des graviers.....	81
Tableau III.16 .Teneur en eau des graviers	81
Tableau III.17. Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8).....	82
Tableau III.18 . Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16).....	83
Tableau III.19. Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.....	85
Tableau III.20 . Classification des roches en fonction du coefficient	85
Tableau III.21. Analyse chimique de la pierre concassé.....	85
Tableau III.22 . Caractéristiques physiques du Ciment.....	86
Tableau III.23 . Les compositions chimiques du Ciment.....	86
Tableau III.24 . Les compositions minéralogiques du Ciment.....	86
Tableau III.25 . Caractéristiques techniques des fibres métalliques à crochets.....	87
Tableau III.26 . Caractéristiques physiques du marbre.....	89
Tableau III.27. Caractéristiques chimiques du marbre.....	89
Tableau III.28.Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage.....	90

Chapitre IV :Technique expérimentaux.

Tableau IV.1. La composition des matériaux de béton.....	95
--	----

Chapitre V : résultats et Analyses

Tableau V.1. Résultats d'essais sur les bétons frais.....	106
---	-----

Liste des figures

CHAPITRE I :Revue Générales Sur Le Béton Autoplaçant Fibré(BAPF)

Figure I-1-1.Béton autoplaçant.....	6
Figure I-1-2.Composition d'un BO et d'un BAP, Aspect à l'état frais d'un BO et BAP.....	6
Figure I-1-3. Composition des BAP	7
Figure I-1-4.ciment utilisés pour fabrication des BAP.....	7
Figure I-1-5.Les Granulats utilisé dans les bétons autoplaçants.....	8
Figure I-1-6.Poudre de marbre....	9
Figure I-1-7.Les utilisations des superplastifiants.....	11
Figure I-1-8.Mode d'action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment.....	11
Figure I-1-9.Etalement et viscosité en fonction du dosage en super plastifiants.....	12
Figure I-1-10.dispersion des granulats par excès de pâte	13
Figure I-1-11.Relation entre l'étalement et la quantité de pâte d'un béton.....	13
Figure I-1-12.Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle	14
Figure I-1-13.Mesure de l'étalement des BAP.....	15
Figure I-1-14.Dimensions de la boîte en L (L-box).....	15
Figure I-1-15. Essai de stabilité au tamis.....	16
Figure I-1-16.Mesure de la résistance à la compression.....	18
Figure I-1-17.Mesure de la résistance à la traction par flexion.....	19
Figure I-1-18.Le pont Akashi Kaikyo.....	21
Figure I-1-19.La tour Landmark Tower	21
Figure I-1-20.Les mécanismes de transport des BAP.....	22
Figure I-1-21.Mise en place aisée du BAP par un seul ouvrier.....	23
Figure I-2-1. Modèle de composite à base de fibres	24

SOMMAIRE

Figure I-2-2.Géométrie fibres métalliques.....	26
Figure I-2-3. Exemple de fibres métalliques.....	26
Figure I-2-4.Différentes formes géométriques de fibres métalliques.....	28
Figure I-2-5.Utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels	28
Figure I-2-6.Illustration de l'apport du renfort par des fibres.....	29
Figure I-2-7. Principe de couturât d'une fissure.....	29
Figure I-2-8.Différents facteurs mécanique d'un béton renforcé de fibres.....	29
Figure I-2-9.Processus de fissuration du béton.....	30
Figure I-2-10.Action des fibres sur le développement des fissures dans un composite.....	31
Figure I-3-1.béton autoplaçants fiber.....	32
Figure I-3-2.Effets des fibres sur l'étalement des BAP.....	35
Figure I-3-3.Comportement à la traction de différentes compositions.....	37
Figure I-3-4.Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps.....	38
Figure I-3-5.Palplanches	40
Figure I-3-6.Un voussoir à base de BAP fibré.....	42
<u>Chapitre II: La Durabilité Et Les Milieux Agressifs</u>	
Figure II-1 : Indicateurs de durabilité d'une réparation en béton.....	46
Figure II-2: Mécanisme de corrosion des fibres	50
Figure II-3 : Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate.....	52
Figure II-4: L'origine des sulfates (interne ou externe).....	53
Figure II-5:L'attaque par les sulfates.	53
Figure II-6: Mécanismes d'attaques de sulfatiques au béton.....	54
Figure II-7-:La formation de l'étrangeté secondaire.....	54
Figure II-8: La formation de l'étrangeté externe.....	55
Figure II-9: l'agressivité chimique de l'eau de mer.....	56

SOMMAIRE

Figure II-10: Les différentes actions de l'eau de mer sur le béton.....	57
Figure II-11: des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.....	58
Figure II-12: L'attaque par les acides.....	60
Figure II-13 : Agression du béton par activité des chlorures.....	61
Figure II-14: Coupe théorique d'un mur en béton.....	62
Figure II-15 : Agression du béton par activité des d'alcali-réaction.....	63
Figure II -16.déclenchement de l'alcali-réaction.....	65
Figure II-17: Lixiviation du béton.....	67
<u>Chapitre III : caractéristique des matériaux utilisés</u>	
Figure III.1. Matériels utilisé pour l'analyse granulométrique.....	76
Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda.....	77
Figure III.3 Analyse granulométrique gravier 3/8.....	82
Figure III.4 Analyse granulométrique gravier 8/16.....	83
Figure III.5 Appareil de l'essai Los Angeles.....	84
Figure III .6 Fibres métalliques ondulées.....	87
Figure III .7: Fibres métalliques à crochets.....	88
Figure. III.8.filler (marbre)	89
<u>Chapitre IV :Technique expérimentaux.</u>	
Figure. 1 : Essai d'étalement d'un BAP.....	98
Figure. IV. 2 : Essai au tamis.....	99
Figure .IV.3 : Essai de boîte en L.....	102
Figure .IV.4 : Essai de Boîte en L exécutés au laboratoire.....	102
<u>Chapitre V : résultats et Analyses</u>	
Figure .V.1 : L'étalement en fonction des béton (BAP).....	107
Figure V.2 : l'indice de ségrégation en fonction des bétons BAP	108
Figure V.3 : le taux de remplissage en fonction des bétons (BAP).....	109
Figure .V.4: la masse volumique en fonction des bétons (BAP).....	109

INTRODUCTION GENERALE

INTRODUCTION GENERALE

Le béton est un matériau de construction qui trouve pratiquement son champ d'utilisation dans tous les domaines du génie civil.

Actuellement, il est sans doute le plus utilisé pour les avantages économiques et techniques qu'il présente.

La tendance actuelle des industriels du béton va de plus en plus vers l'utilisation des bétons autoplaçants. Ces bétons ont été initialement mis au point par des chercheurs de l'université de Tokyo vers les années 1980.

Les bétons autoplaçants ou BAP sont des bétons très fluides, homogènes et stables, ils se mettent en œuvre sans vibration ce qui constitue un grand avantage pour la réalisation des constructions. Un béton autoplaçant (BAP) permet de remplir des coffrages complexes où la densité en ferrailage est importante. Pour cela, les BAP doivent avoir des propriétés bien déterminées à l'état frais à savoir la fluidité (étalement au cône d'Abrams), la capacité de remplissage (boite en L) et la résistance à la ségrégation (stabilité au tamis). Pour assurer la stabilité rhéologique, l'utilisation des additifs organiques (super plastifiants) et minérales (fines) s'avère nécessaire.

Néanmoins, les recherches sur la compréhension du comportement rhéologique des BAP restent toujours d'actualité.

L'objectif d'obtenir un béton autoplaçant plus résistant et plus durable en la fait l'objet de nombreuses recherches dans laboratoire de génie civil.

La voie la plus évoquée dans la littérature pour pallier à la faiblesse de comportement en traction consiste en l'ajout de fibre dans la formulation du béton. Ces dernières jouent un rôle de renforcement qui compense la fragilité du béton par couture de la microfissuration et la macro fissuration. Les fibres ont aussi la capacité de contrôler l'ouverture des fissures, jouant le rôle d'absorbeurs d'énergie.

Dans la plupart des cas, les bétons autoplaçants (BAP) renforcés de fibres, contiennent seulement un type de fibre.

De plus, le développement durable exige des matériaux respectueux de l'environnement donc des matériaux naturels. En ce sens, les fibres métalliques utilisées comme renfort pour les

INTRODUCTION GENERALE

matériaux cimentaires constituent une option très intéressante pour l'industrie de la construction.

La revue de littérature montre qu'il y'a peu d'étude sur l'incorporation des fibres métallique dans les bétons autoplaçants. Les quelques études réalisées portent seulement sur la caractérisation classique à l'état frais et durci. Par contre des études portent sur le comportement à long terme et le comportement vis-à-vis de la durabilité suivant la nature des fibres métalliques, Les réponses du béton autoplaçant en termes de déformations à long terme et de comportement à élévation de la température peuvent être très différentes car ces fibres engendrent des porosités supplémentaires plus importantes que celle de béton témoin sans fibre. Cette étude a pour objectif de faire une synthèse bibliographiques sur la durabilité des bétons autoplaçants fibrés et comme exemple expérimentale d'évaluer les propriétés rhéologiques d'un béton autoplaçant formulé et renforcé par deux types de fibres métalliques (Fibres d'attacher et fibres ondule), afin de voir l'influence de ces fibres sur les propriétés du béton autoplaçants fibré à l'état frais.

A cet effet ce mémoire est divisé en deux grandes parties ; une partie bibliographique (théorique) et une partie expérimentale. Est subdivisée à son tour en cinq chapitres :

- **Introduction générale** : Problématique et objectifs.
- **Le premier chapitre** : Revue générale sur le béton autoplaçants, béton fibré les fibres et le béton autoplaçants fibré.
- **Le deuxième chapitre** : Une recherche bibliographique sur la durabilité et les milieux agressifs.
- **Le troisième chapitre** : présentation des caractéristiques des matériaux utilisés et les formulations des différents bétons d'étude.
- **Le quatrième chapitre** : Techniques expérimentales.
- **Le cinquième chapitre** : Résultats et discussions, résume les essais et les résultats d'exemple expérimentale réalisé durant notre étude.
- **Conclusion générale** : On présente les principales conclusions tirées à partir de recherche bibliographique et des résultats obtenus lors d'exemple expérimentale.

La présente petite partie expérimentale de l'étude s'est déroulée au sein de laboratoires de génie civil de l'université de M'silla. En raison des conditions de santé résultant de l'éclosion de l'épidémie COVID 19, ce qui nous a empêchés de terminer l'étude, nous avons donc été obligés d'étudier l'état frais seulement. Cette étude s'inscrit dans le contexte de la conception des BAP à base de matériaux locaux.

CHAPITRE I :
Revue Générales Sur Le
Béton Autoplaçant Fibré
(BAPF)

Revue Générales Sur Le Béton Autoplaçant Fibré (BAPF)

Introduction:

Ce chapitre présente en trois parties un aperçu détaillé sur le béton autoplaçant fibré on tant que nouveau matériau. Elle expose d'abord sur la 1^{ère} partie la définition de béton autoplaçant ainsi que sa formulation, cette partie fait une synthèse sur la description des constituants entrant dans la fabrication des BAP et les caractéristiques à l'état frais et durci, finalement, il met en relief les avantages apportés par les BAP et l'utilisation des BAP. La 2^{ème} partie expose le béton fibré, généralité sur les fibres et propriétés des fibres et la 3^{ème} partie comprend la formulation et la composition de BAPF, finalement l'utilisation des BAP fibrés dans les structures.

I.1. Le béton autoplaçant (BAP) :

I-1- 1 Définition :

Les BAP ont été développés dans les années 80 par des chercheurs de l'université de Tokyo au Japon et plus particulièrement par le professeur Okamura[1].

Les BAP se distinguent des bétons ordinaires principalement par leurs propriétés à l'état frais, qui sont le résultat d'une formulation spécifique. Cette dernière doit pouvoir concilier deux propriétés à priori contradictoires : une très grande fluidité et une bonne résistance à la ségrégation (stabilité). L'association française de génie civil définit dans ses recommandations provisoires les BAP comme des bétons (très fluides, homogènes et stables), [18] il se met en place par gravitation et sans l'utilisation d'un moyen de vibration [1].

Leur objectif était d'augmenter la cadence de travail en réduisant l'effectif du personnel sur chantier et le temps de mise en œuvre. L'utilisation de bétons très fluides, ne nécessitant pas d'apport d'énergie extérieur pour le serrage, est apparue comme une solution possible à ce problème c'est ainsi qu'est né le concept des bétons autoplaçants considérés comme un matériau très fluide, homogène et stable, qui se met en place dans des coffrages très ferrailleur ou complexes, grâce au seul effet de son propre poids et sans l'utilisation de moyen de vibration.

Il existe diverses appellations des BAP ("self-compacting concrète", traduit par béton Autoplaçant ou béton autonivellant), La première emploie le terme "béton autoplaçant", ou BAP, pour désigner les bétons destinés aux applications verticales et éléments massifs (voiles, poutres, piles, etc.). La seconde désigne sous l'appellation "béton autonivellant", ou BAN, les bétons destinés aux applications horizontales (dalles). On peut aussi trouver sous le nom de béton auto compactant.

Les BAP se développent aujourd'hui un peu partout dans le monde, et plus particulièrement en Europe, son utilisation se développe dans le domaine de la préfabrication et dans celui du béton près à l'emploi (B.P.E). En Algérie, ce type de béton présent un intérêt certain puis quels impératifs d'une meilleure qualité des ouvrages et aussi la complexité des coffrages commencent à se sentir de plus en plus ces dernières années [2].

Les BAP se distinguent par leurs propriétés à l'état frais. Ces propriétés se caractérisent principalement par :

- une mobilité en milieu non confiné (décrite par l'essai d'étalement) ;
- une mobilité en milieu confiné (décrite par la boîte en L) ;
- une stabilité (c'est-à-dire une résistance à la ségrégation et au ressuage [3]).



Fig. I-1-1. Béton autoplaçant [11].

I-1-2 Les principaux constituants des BAP :

Les constituants des BAP peuvent être assez différents de ceux des BO. Ils peuvent différer tant par leurs proportions que par leur choix. Étant donné le mode de mise en place des BAP, les constituants entrant dans la fabrication du BAP, selon leur utilisation, en trois catégories ; les matériaux de base (ciment, granulats et eau), les additions minérales, ainsi que les adjuvants chimiques.

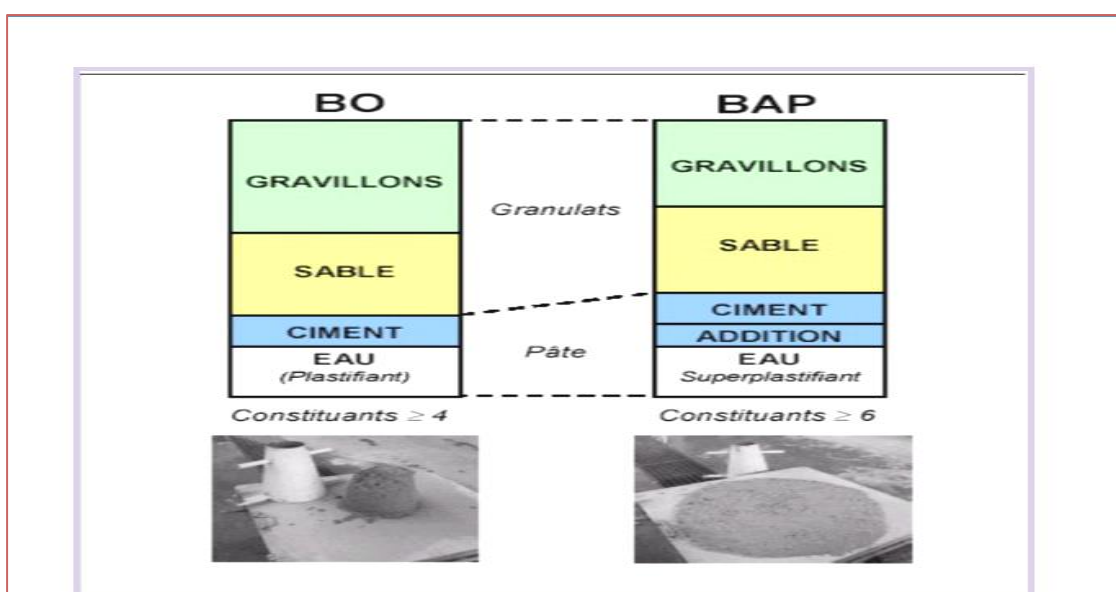


Fig. I-1-2. Composition d'un BO et d'un BAP, Aspect à l'état frais d'un BO et BAP.[5]

I-1-2-1 Matériaux de base :

Le ciment, les granulats, et l'eau forment les éléments de base de tous types de béton.

Ils sont qualifiés ainsi puisqu'ils sont historiquement les seuls constituants des bétons de nos ancêtres et parce qu'ils ont toujours les plus grosses proportions relatives dans le mélange de BAP. [6]

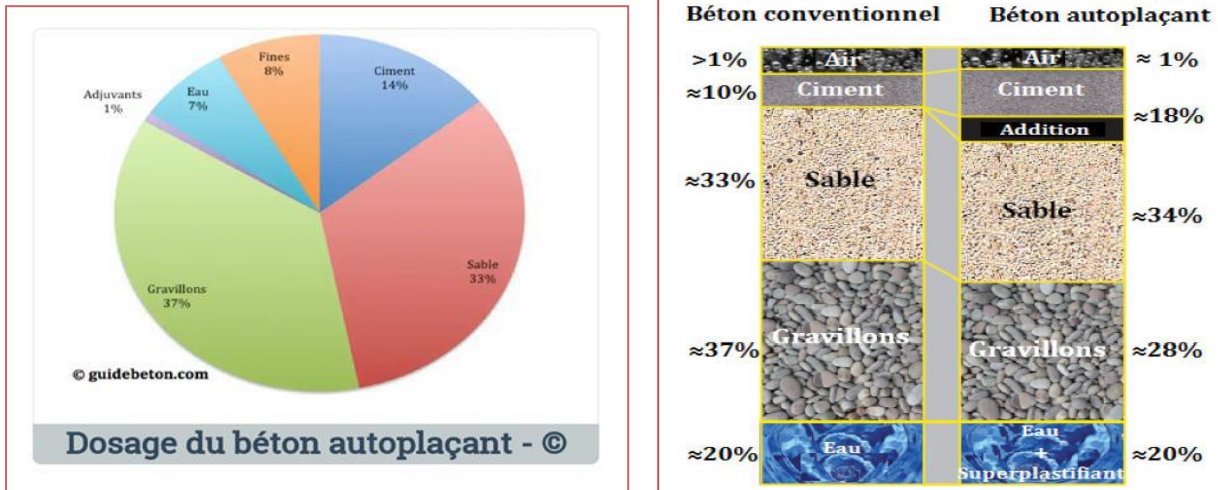


Fig. I-1-3. Composition des BAP [7].

1 -Le ciment :

Tous les types de ciment utilisés dans les compositions des bétons conventionnels peuvent être utilisés pour les bétons autoplaçants.

Généralement, le ciment le plus utilisés pour la confection du béton autoplaçant est le CEM I 42,5 qui contient au moins 95% de clinker et éventuellement un constituant secondaire, ou bien le ciment portland composé CEM II/A et B 42,5.

En principe tous les ciments conformes à la norme NF EN 197-1 conviennent pour la fabrication des BAP. [8]



Fig. I-1-4.ciment utilisés pour fabrication des BAP.

2- Les granulats

Les granulats sont définis comme l'ensemble de grains inertes compris

Entre 0 mm et 40 mm (sable, graviers) dont l'origine peut être naturelle ou artificielle.

Nous distinguons les granulats roulés extraits de ballastières naturelles ou de rivières, et les granulats concassés, obtenus à partir des roches concassées exploitées en carrières. [10]

Les granulats sont classés selon les dimensions des grains qui les constituent et la courbe granulométrique représente la distribution, en pourcentage, des poids des matériaux passants dans des tamis de dimensions normalisées.

Pour faciliter l'écoulement du mélange, la confection d'un bon béton autoplaçant utilise généralement des granulats roulés de rivières et un apport de fines (par exemple des fillers calcaires) plus importants.

Daufait quelles frottement entre les granulats limitent l'étalement et l'aptitude au remplissage des bétons, la quantité de granulats est donc limitée, en général le rapport granulats/sable exprimé en masse est de 1 dans un BAP ($\frac{G}{S} = 1$). Le risque de blocage dans un milieu fortement ferrillé augmente lorsque le D max augmente. Ainsi, le D max des granulats doit être compris entre 10 et 20 mm [6]



Gravier(3/8) ;(8/16)

Sable

Fig. I-1-5. Les Granulats utilisés dans les bétons autoplaçants.

3- L'eau :

L'eau de gâchage doit être propre et ne doit pas contenir de matière en suspension

Au-delà des tolérances réglementaires suivantes :

- ❖ 2g/l pour les bétons à haute résistance .
- ❖ 5 g/l pour les bétons à faibles résistances.

L'eau de gâchage ne doit pas contenir des sels dissous au-delà de :

- ❖ 15 g/l pour les bétons à haute résistance.
- ❖ 30 g/l pour les bétons à faibles résistances. [4]

La pâte doit assurer une mobilité suffisante mais doit aussi inhiber tout risque de ségrégation et de ressuage. Un BAP sera dès lors composé d'une quantité de fines élevée et d'une quantité

d'eau relativement faible (eau/ciment rarement supérieur à 0,55 voire 0,50 ($\frac{E}{C} = 0.55$). La fluidité souhaitée sera obtenue par l'utilisation de superplastifiants [10].

I-1-2-2 Les Additions Minérales :

L'emploi des pouzzolanes minérales pour faire des mortiers et des bétons est connu depuis l'Antiquité. Ces pouzzolanes désignent un grand nombre d'additions minérales aux origines diverses, mais qui présentent tous, le fait d'être fins et de réagir en présence d'eau et de chaux.

De nos jours Nous présentons additions minérale éventuelle qu'on peut utiliser dans les compositions des BAP [11] :

I-1-2-2-1 : Poudre de marbre :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire [12] et constitué principalement de cristaux de calcite.

La poudre de marbre est un déchet résultant de coupage, façonnage et lustration des pierres de marbre.



Fig. I-1-6. Poudre de marbre.

I-1-2-2-2 : l'effet de poudre de marbre:

1/ à l'état frais :

L'utilisation de la poudre de marbre comme addition minérale conduit à l'amélioration de la déformabilité et la capacité de remplissage et de passage des BAP ;

- ❖ L'augmentation du taux substitution du ciment par de la poudre de marbre contribue à la diminution de la stabilité du béton autoplaçant ;
- ❖ Le remplacement partiel du ciment par la poudre de marbre mène à l'augmentation du temps de maintien d'ouvrabilité ;
- ❖ Des BAP contenant la poudre de marbre présentent une rhéologie améliorée ;
- ❖ Du point de vue d'ouvrabilité et de rhéologie, un taux de remplacement de 10% est très bénéfique;
- ❖ La substitution de 10% du ciment par la poudre de marbre permet de réduire le coût de production du béton autoplaçant. [13]

2/ à l'état durci :

La résistance à la compression augmente à fur et à mesure que l'âge augmente et elle diminue avec l'augmentation du pourcentage de poudre de marbre incorporé.

Ceci est dû à la nature de la poudre de marbre qui appartient à la famille des fillers quasi inertes. Ces fillers sont composées principalement de CaCO_3 .

Cet élément accélère l'hydratation du C_3S , ce qui améliore les résistances aux jeunes âges.

Néanmoins, l'effet associé de ces fillers est la réduction du potentiel pouzzolanique qui cause la diminution des résistances à long terme.

Autrement dit que, si le filler poudre de marbre accélère l'hydratation des BAP au jeune âge, son effet a tendance à se stabiliser à long terme ; de plus, l'augmentation du dosage en filler ne semble pas avoir une influence significative sur le développement des résistances.

Des auteurs ont montré que la substitution du ciment par de la PM conduit à une diminution de la résistance à la compression, et ont trouvé des résistances, à 28 jours, qui varient entre 30 et 60 MPA. [3]

I-1-2-3 Les Adjuvant Chimiques :

Ce sont des produits chimiques organiques ou inorganiques qui, incorporés dans les bétons à des dosés précises du poids de ciment et selon leur plage d'utilisation indiquée par le fournisseur. Leur introduction dans le mélange engendre des phénomènes physico-chimiques très complexes et ils ont pour but d'améliorer les propriétés des bétons à l'état frais ou à l'état durci.

Les superplastifiants :

Un superplastifiants est un adjuvant qui, introduit dans un béton, un mortier ou un coulis, permet de réduire le dosage en eau et d'ajuster sa fluidité (augmenter l'affaissement au cône d'Abram), ceci entraîne une augmentation de la résistance mécanique.

A- augmentation de la fluidité (teneur en eau égale).

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

C-diminution de la teneur en eau et augmentation de la fluidité.

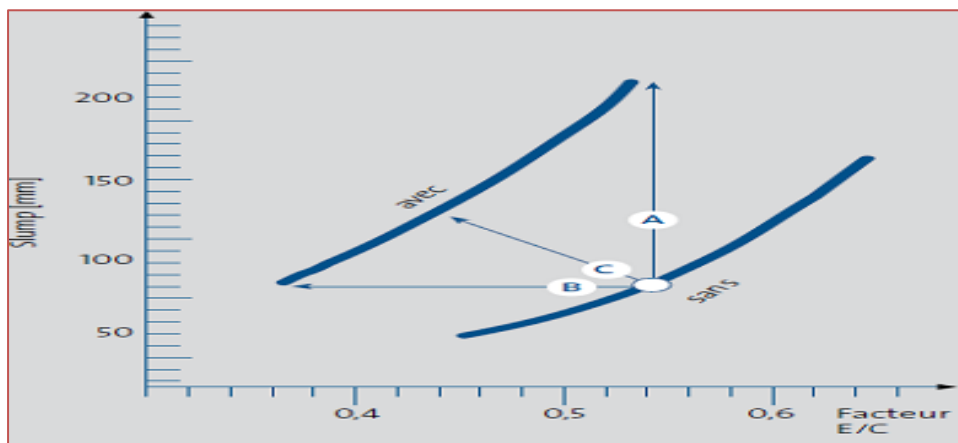


Fig. I-1-7. Les utilisations des superplastifiants. [14]

I-1-2-4 Autres additions :

En plus des additions minérales indispensables caractérisant la composition de la pâte de ciment du BAP, les additions inertes suivantes sont aussi parfois utilisées : les fibres.

I-1-3 Influence des paramètres de formulation sur les propriétés à l'état frais :

I-1-3-1 Rôle des adjuvants :

1-Utilisation de super plastifiant :

Les super plastifiants permettent d'obtenir des bétons très fluides. Ces fluidifiants ont le rôle de défloquant, ainsi les particules solides sont dispersées par combinaison d'effets électrostatiques et stériques et la proportion d'eau libre est plus importante.

Toutefois un dosage trop élevé (proche ou supérieur au dosage de saturation) peut augmenter la sensibilité du béton à des variations de teneur en eau vis-à-vis du problème de la ségrégation et du ressuage.

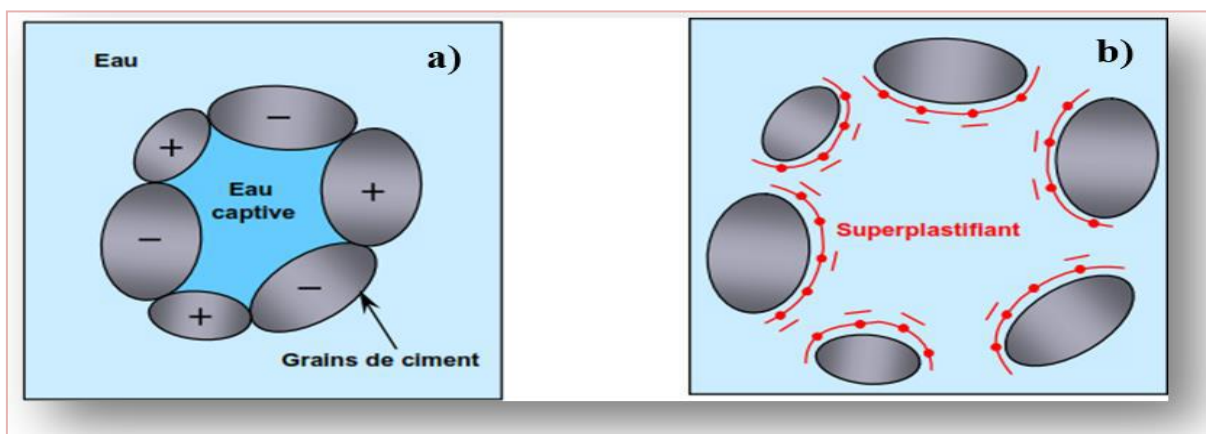


Fig. I-1-8. Mode d'action des super plastifiants - Défloculation des grains de ciment [7].

- L'ajout d'un super plastifiant aide à augmenter la fluidité.

La (Figure I-1-9) montre par exemple que l'étalement augmente très fortement à partir d'un certain dosage en super plastifiants.[6]

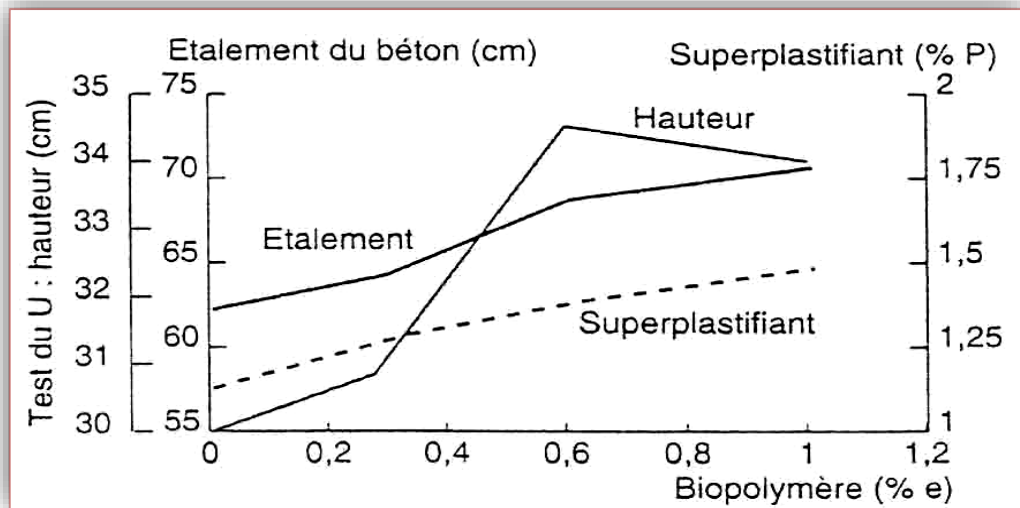


Fig. I-1-9. Etalement et viscosité en fonction du dosage en super plastifiants. [15]

2-Effets des superplastifiants sur les BAPs :

a) Effet sur le béton frais :

- Amélioration de l'ouvrabilité.
- Diminution de la teneur en eau.
- Maintien de l'ouvrabilité dans le temps.
- Diminution de ressuage et de la ségrégation.
- Amélioration de la pompabilité du béton.
- Réduction du retrait hydraulique.

b) Effet sur le béton durcis :

- Amélioration des résistances mécaniques à court et à long terme.
- Diminution du retrait.
- Amélioration de compacité du béton.
- Diminution de coefficient de compacité de la matrice du ciment.

I-1-3-2- Un volume de pâte élevée :

En considérant le béton comme un mélange de pâte et de granulats, il existe une quantité de pâte minimum nécessaire au remplissage des interstices entre les granulats. La quantité de pâte supplémentaire provoque une certaine dispersion des granulats, limitant ainsi les frottements inter granulaires, et confère au matériau sa fluidité. [16]

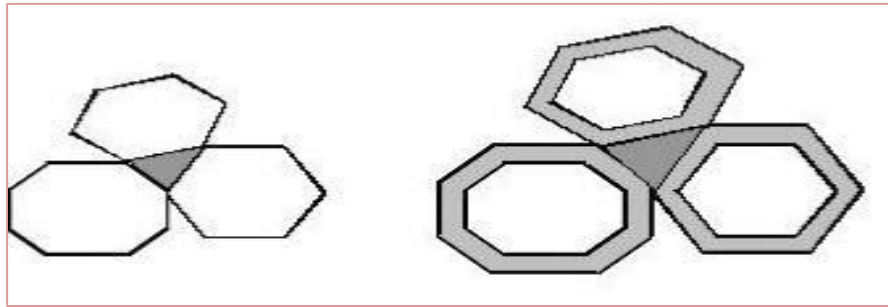


Fig. I-1-10. dispersion des granulats par excès de pâte [17].

Certains auteurs ont effectivement mis évidence l’existence d’une relation entre la quantité de pate de ciment et l’étalement du béton. [16]

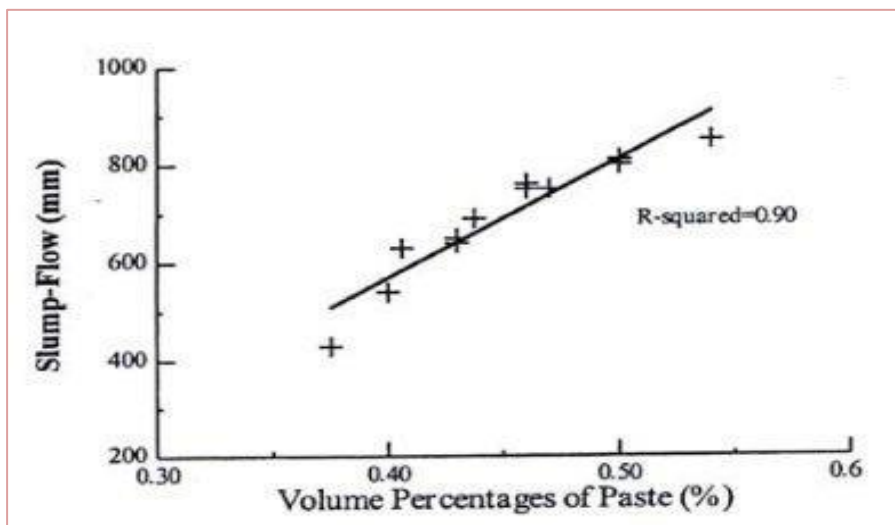


Fig. I-1-11. Relation entre l’étalement et la quantité de pâte d’un béton.

I-1-3-3 Un faible volume de gravillons :

Lors de l’écoulement du béton dans des zones confinées, les gros granulats ont tendance à bloquer le passage et à interrompre l’écoulement du béton. Pour minimiser les risques de blocage, on opte pour des granulats de diamètre inférieur à 20mm (le diamètre maximal doit être compris entre 10 et 20 mm). Pour les BAP le rapport massique gravier /sable est proche de 1 (G/S=1). [16]

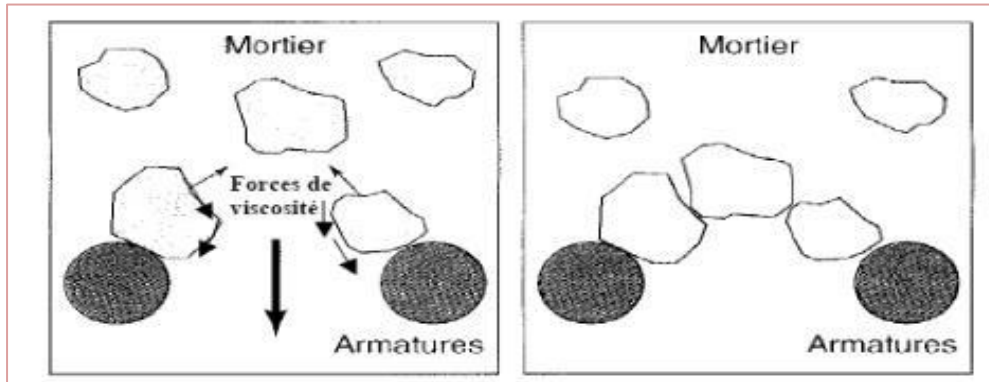


Fig. I-1-12. Phénomène de blocage des granulats au droit d'un obstacle [10].

I-1-4 Propriétés des BAP à l'état frais :

I-1-4-1 Caractéristiques rhéologiques fondamentales des BAP :

Pour évaluer les propriétés et les qualités à l'état frais d'un béton auto-plaçants, plusieurs types d'essais normalisés et non normalisés ont été proposés. Certains évaluent la consistance et la déformabilité, tandis que d'autres s'intéressent aux mesures de la stabilité du béton. De nombreux tests simples ou empiriques ont été mis au point. Ces tests ont pour but de mieux caractériser le comportement du béton auto-plaçants ou de valider son utilisation.

I-1-4-2 Essai caractérisation des BAP :

I-1-4-2-1 Essais à l'état frais :

En France, trois essais de caractérisation des bétons auto-plaçants à l'état frais ont été recommandés par l'Association Française de Génie Civil « AFGC » en juin 2000 [18]. Initialement provisoires, ces recommandations sont devenues par la suite des essais de référence pour valider une formule de BAP.

L'ouvrabilité des bétons auto-plaçants se décompose en trois caractéristiques :

- La mobilité en milieu non confiné (décrit par l'essai d'étalement) ;
- La mobilité en milieu confiné (décrit par la boîte en L) ;
- La stabilité (résistance à la ségrégation et au ressuage).

1-Mobilité en milieu non confiné :

❖ Essai d'étalement [NF EN 12350-8] :

-L'essai d'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton.

La fluidité des BAP peut être caractérisée par la mesure de l'étalement au cône d'Abrams (essai d'étalement ou slump flow).

Des valeurs cibles de l'ordre de 600 à 750 mm correspondent à l'étalement moyen conseillé d'un BAP.

La valeur cible d'étalement doit être définie en fonction des caractéristiques de la formulation et des conditions et méthodes de mise en œuvre. Cet essai caractérise la mobilité du BAP en milieu non confiné.

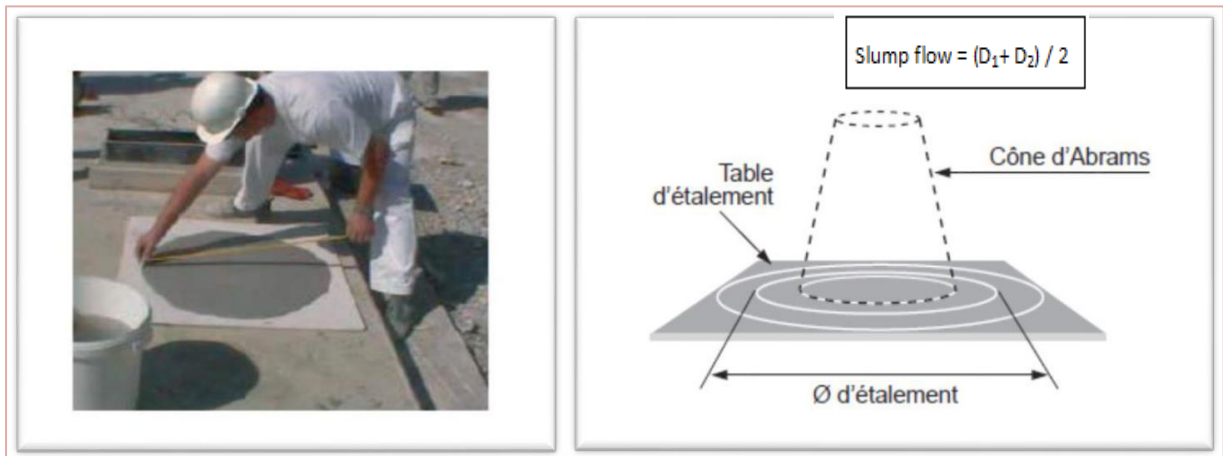


Fig. I-1-13. Mesure de l'étalement des BAP.

Tableau I-1-1. Classes d'étalement

La norme NF EN 206-9 prévoit une répartition des BAP en trois classes :

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

2-Mobilité en milieu confiné :

❖ **Essai de la boîte en L [NF EN 12350-10] :**

Cet essai est destiné à tester la faciliter l'écoulement du matériau en milieu confiné. On remplit la partie verticale de la boîte en L de béton, on mesure la différence de la hauteur dans les parties verticales et horizontales et on exprime le résultat en termes de taux de remplissage H_2/H_1 comme il est montré dans la (Figure I-1-14).

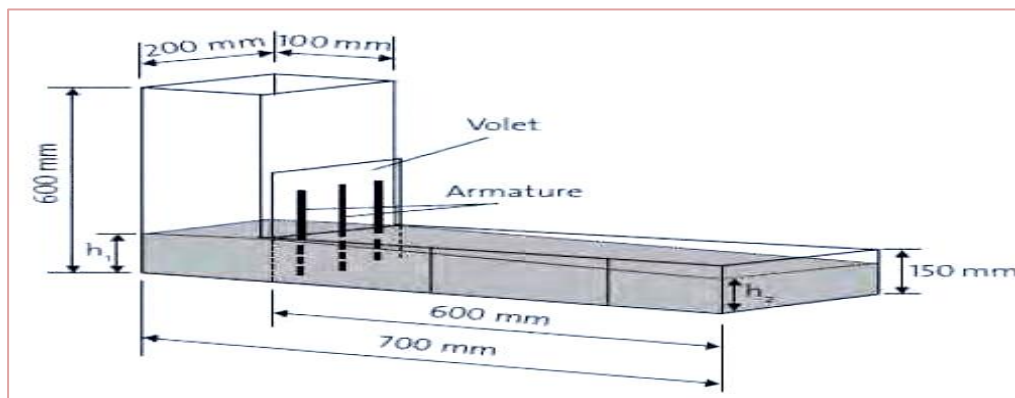


Fig. I-1-14. Dimensions de la boîte en L (L-box)

Tableau I-1-2. Classe l'aptitude à l'écoulement.

Classe	Taux de remplissage H2/H1
PL1	≥ 0,80 avec 2 armatures
PL2	≥ 0,80 avec 3 armatures

3-Stabilité :

Si les capacités de remplissage et de passage sont primordiales pour l’aspect autoplaçant du béton, il faut en revanche que ce béton soit suffisamment homogène et stable pour que les propriétés du béton durci soient conformes aux attentes, il faut donc que la ségrégation et/ou le ressuage soient faibles aussi bien en phase dynamique que statique, un essai et deux observations permettent d'apprécier la stabilité. [4]

❖ **Essai de stabilité au tamis [NF EN 12350-11]:**

-L’essai de stabilité au tamis au figure de sou vise à qualifier les bétons vis-à-vis du risque de ségrégation. Le principe de cet essai est de mesurer la quantité de passage de laitance travers les mailles du tamis de 5mm. Cet essai peut être utilisé durant la formulation d’un BAP en laboratoire, ou pour contrôler la stabilité du béton livré sur chantier.



Fig. I-1-15. Essai de stabilité au tamis.

Le critère de la stabilité des BAP:

- $0 \leq \Pi \leq 15\%$, alors la stabilité est satisfaisante.
- $15 < \Pi \leq 30\%$, la stabilité est critique.
- $\Pi > 30\%$, la stabilité est très mauvaise. [18]

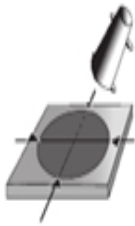
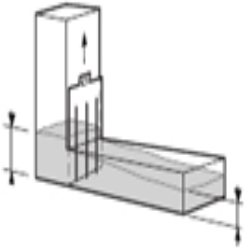

✚ **Le pourcentage de la laitance** = $\frac{\text{la masse de laitance}}{\text{la masse de l'échantillon}} \times 100\%$

Tableau:I-1-3.Classement de la formulation selon le pourcentage [19].

% de laitance \mathcal{T}	Classement de la formulation
$0 \leq \mathcal{T} \leq 15$	Stabilité satisfaisante
$15 < \mathcal{T} \leq 30$	Stabilité critique
$\mathcal{T} > 30$	Stabilité très mauvaise (béton inutilisé)

➤ Comparaison entre les essais de béton autoplaçant. [19].

Tableau I-1-4.Comparaison entre les essais de béton autoplaçant [19].

Appellation des essais	Norme	Principe	Schéma
Essai d'étalement (Slump-flow test)	pr EN 12350-8	Moulage manuel d'un tronc de cône et mesure, après démoulage sur une surface plane, du temps d'étalement au diamètre 500 mm et du diamètre d'étalement du BAP.	
Essai de la boîte en L (L-box test)	pr EN 12350-10	Remplissage manuel de la partie verticale de la boîte, et mesure après ouverture de la trappe à la base, de la facilité du BAP à traverser le ferrailage et à s'écouler dans la partie horizontale de la boîte.	
Essai de satabilité au tamis	pr EN 12350-11	Déversement du BAP sur un tamis d'ouverture 5 mm et mesure de la masse du passant à travers le tamis.	

I-1-4-2-2 Propriétés du béton autoplaçants à l'état durci :

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

- 1-Les essais de compression ;
- 2-Les essais de traction par flexion ;

1- Essai de compression NF EN206-1:

Les essais de mesure de la résistance à la compression sont réalisés sur des éprouvettes cubiques 10x10x10 cm³ conformément aux prescriptions de la norme, Ce test fournit la force de compression [N] qui génère la rupture de l'échantillon (Figure I-1-16). La contrainte de

compression à la rupture [Pa] est déduite de cette force en divisant par la surface de la section sollicitée [20].



Fig. I-1-16. Mesure de la résistance à la compression.

2- Essais de traction par flexion : NF P18-408

Cet essai très utilisé permet de simuler le type de sollicitation le plus courant dans les éléments des ouvrages (**Figure I-1-17**). Cet essai a aussi pour but de déterminer la résistance à la traction du béton. Les éprouvettes utilisées pour ce type d'essai sont propres uniquement aux mortiers, elles sont prismatiques de dimensions 7x7x28 cm.

La résistance à la traction par flexion est obtenue par l'application de la formule de résistance

des matériaux suivante : $\sigma = \frac{Mf \times a}{2I}$,

Avec le moment de flexion : $MF = \frac{F \times L}{4}$, où

F: la charge de rupture, **L**: la portée, **I**: l'inertie de flexion, **a**: le côté du prisme. [20].



Fig. I-1-17. Mesure de la résistance à la traction par flexion (capacité 150 KN).

3- Module d'élasticité :

Les différents matériaux de BAP peuvent montrer un différent comportement de relation contrainte-déformation si les BAP contiennent une basse quantité de gros granulats on se réfère à la formule réglementaire du module ($E_{ij} = 11000 f_{cj}^{1/3}$), celui-ci ne dépend que de la résistance du béton. Ainsi, à résistance égale, un béton autoplaçant aurait donc le même module qu'un béton vibré [7].

I-1-5 Les avantages et les inconvénients de BAP :

I-1-5-1 Les avantages de BAP :

Les BAP présentent de nombreux avantages.

❖ Avantages techniques :

- Facilité et rapidité la mise en œuvre du béton à sens vibration.
- Réalisation d'éléments de forme complexe.
- Très fluide (classe S5 au sens la norme NF EN 206-1).
- absolument homogènes.
- Bétonnage en milieux fortement ferrillés.

❖ Avantages économiques :

- Réduction du coût de main d'œuvre et du temps de bétonnage.
- Absence de systèmes de vibration réduisant ainsi les coûts et les nuisances sonores dans et au voisinage du chantier.

❖ Avantages écologiques :

- Valorisation des déchets de construction (récupération de ces déchets au niveau des chantiers, industries, carrières, stations de concassage).
- Diminution de la quantité de CO₂ émise par l'industrie cimentaire (due à la réduction de la quantité de ciment nécessaire au BAP) [11].

I-1-5-2 les inconvénients de BAP :

- La raison essentielle qui ne favorise pas l'utilisation des BAP est due au fait que l'utilisation de super-plastifiant et de fines étant nécessaire,

Ceci se traduit par une augmentation du coût.

- L'emploi des BAP pour la réalisation de grandes structures peut s'avérer économique dans la mesure où le coût supplémentaire engendré par les additions et les adjuvants est vite compensé par les gains réalisés sur la main-d'œuvre et les délais d'exécution.

I-1-6 Domaine d'utilisation des BAP :

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

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

- Densités de ferrailage importantes.
- formes et géométries complexes : voiles, courbes,..... .
- voiles minces et de grande hauteur : piles de pont,..... .
- voiles complexes avec de nombreuses réservations ou de grandes ouvertures.
- Exigences architecturales et qualité de parement particulière [4].

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

Le pont Akashi Kaikyo (**Figure I-1-18**), le plus long pont suspendu au monde (3910 m) ou 390000 m³ de béton autoplaçant ont été versés dans les coffrages des fondations et des piliers très congestionnés sans vibration.



Fig. I-1-18.Le pont Akashi Kaikyo.

La tour Landmark Tower (**Figure I-1-19**), ou un béton autoplaçant d'une excellente déformabilité a été mis en place avec succès dans 66 colonnes de 40 m de hauteur chacune.



Fig. I-1-19.La tour Landmark Tower [21].

I-1-7 Fabrication, transport et mise en place des BAP :

I-1-7-1 Fabrication :

Pour la fabrication d'un BAP, notamment pour l'introduction de ses différents constituants, on appliquera les mêmes procédures que celles recommandées dans le cas du béton vibré bien entendu en les adaptant aux conditions locales dans chaque cas particulier.

Une attention spéciale doit être accordée à l'humidité des granulats, dont les variations devraient être le plus possible limitées. Des sondes d'humidité dans les silos granulats sont vivement conseillées à cet effet, afin de permettre une adaptation automatique de l'ajout d'eau dans le mélange .C'est la raison pour laquelle on se base généralement sur un temps de malaxage de 120 secondes. [22]

I-1-7-2 Transport des BAP :

En raison de sa fluidité élevée, le béton autoplaçants doit être transporté en camion malaxeur. Comme dans le cas d'un béton vibré, la fluidité du béton peut se modifier durant le transport, la manière et l'ampleur de cette modification sont fonction de plusieurs paramètres :

Le type d'adjuvant, la durée de transport, le dosage en eau et la température.

Dans une certaine mesure il est possible de corriger ces modifications pour vérifier les exigences d'ouvrabilité souhaitées au moment du déchargement sur chantier.

Dans le cas de rajouts d'adjuvant dans le camion, il est recommandé de respecter impérativement le temps de malaxage minimal recommandé pour assurer la dispersion de l'adjuvant et sa répartition homogène dans l'ensemble du chargement de béton. En revanche tout ajout d'eau est à proscrire. [22]



Fig. I-1-20. Les mécanismes de transport des BAP. [16]

I-1-7-3 Mise en place :

Par rapport au béton vibré, la mise en place du béton BAP est grandement facilitée et peut généralement être réalisée par une seule (Figure I-1-21) personne, et selon trois méthodes différentes :

- La première méthode est celle utilisée pour les bétons ordinaires vibrés, la mise en place se fait à l'aide d'une goulotte. Pour limiter le phénomène de ségrégation favorisé par ce procédé il convient de fixer la hauteur de chute maximale du béton à 5m.

- La deuxième méthode consiste à utiliser un tube plongeur immergé dans le béton frais, dans la partie inférieure du coffrage.

- La mise en place des BAP peut se faire par pompage, par cette troisième méthode il y a réduction du bullage et obtention de parements lisses. [22]



Fig. I-1-21. Mise en place aisée du BAP par un seul ouvrier. [16]

- Pour réussir les ouvrages en béton autoplaçants il est capital d'appliquer scrupuleusement les recommandations de fabrication, de transport et de mise en œuvre.

I-2 Béton de Fibres :

I-2-1 Définition:

On appelle « béton de fibre », le mélange homogène d'une matrice minérale (mortier ou béton) et d'éléments de renforts discontinu sous forme de fibres [8]. BF C'est un matériau composite constitué de granulats agglomérés par un liant. Il est le matériau de prédilection dans le génie civil car il présente de nombreuses caractéristiques avantageuses pour la construction de structures, notamment sa résistance en compression élevée. Néanmoins, il s'agit d'un matériau au comportement fragile sensible à la fissuration qui conduit à la diminution des performances mécaniques à des niveaux de déformation faibles [23].

En combinant les fibres avec les BAP, il en résulte un BAP fibré (BAPF) avec des propriétés particulières à l'état frais et à l'état durci. L'incorporation des fibres dans les compositions des bétons autoplacants va étendre leurs avantages : comme l'amélioration des résistances mécaniques notamment la résistance à la traction par flexion, et la limitation des fissurations. Cependant les propriétés des BAP à l'état frais, les fibres peuvent être altérées. En effet, les fibres réduisent la maniabilité du béton frais caractéristique fondamentale des BAP, ce qui constitue une barrière devant leur utilisation.

Le caractère et la performance des BAPF changent dépendamment des propriétés du béton et des fibres. Les propriétés des fibres sont généralement leur concentration, leur dimension, leur orientation et leur distribution dans le béton. [8]

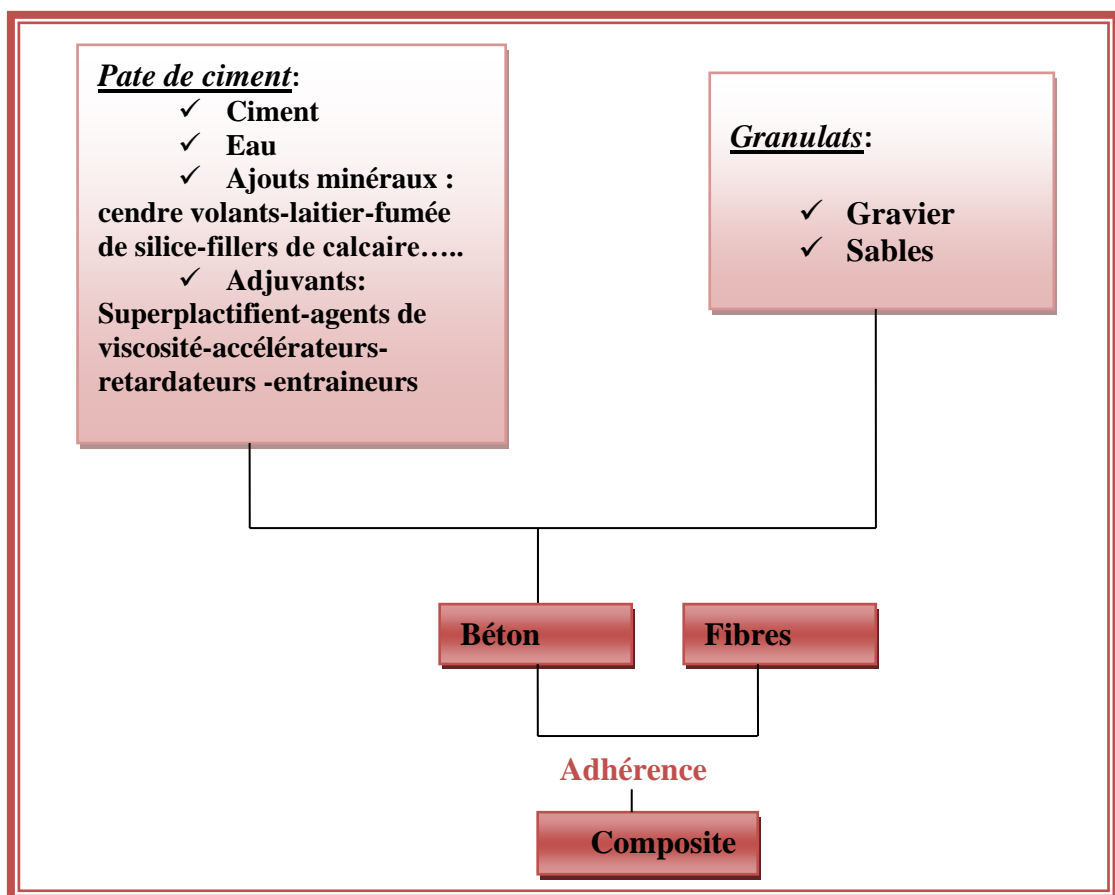


Fig. I-2-1. Modèle de composite à base de fibres [8].

I-2-2 Les fibres :

I-2-2-1 Définition les fibres :

Les fibres sont définies comme des éléments discontinus, de nature variable, des formes sensiblement cylindriques, d'un diamètre et longueur variable. Elles sont réparties dans la matrice soit d'une façon aléatoire ou orientation préférentielle. Généralement les fibres sont aussi utilisées pour définir le constituant élémentaire des structures textiles.

Par ailleurs, on distingue la fibre de longueur réduite ou fibre courte, de 20 à 150 mm, et la fibre de grande longueur ou filament continu.

Il existe un grand nombre de fibres qui se différencient par leur origine (naturelles, artificielles et synthétiques), leur forme (droite, ondulée, aiguille, ...etc.), leur dimension (macro ou micro - fibre) et aussi par leurs propriétés mécaniques.

Cependant, pour faire un choix de fibres à utiliser pour des applications, il est nécessaire de tenir compte de la compatibilité de la fibre avec la matrice, et la mode de performance du composite.

I-2-2-2 Différents types de fibres :

L'introduction des fibres dans le béton entraîne une amélioration des caractéristiques mécaniques à l'état durci. Les fibres utilisées dans la fabrication des bétons sont classées en quatre grandes familles selon leur nature et leur propriété mécanique :

-fibres minérales : verre, carbone.

-fibres métalliques : acier, inox, fonte.

-fibres organiques : polypropylène, acrylique.

-fibres naturelles : Hévéa, Sisal, jute ...

Les fibres présentent des caractéristiques et des propriétés différentes : forme des fibres (plate, ondulée...), état de surface (lisse, rugueuse...), dimensions (diamètre, longueur...) et l'adhérence qui garantissent des caractéristiques mécaniques spécifiques aux ouvrages renforcés de fibres. [24]

Tableau: I-2-1.Récapitulatif des différents types de fibres.

<i>Fibres naturelles</i>		<i>Fibres artificielles</i>	
Végétales	Animales	Minérales	Organiques
Lin	Poil	Laitiers	Polypropylène
Chanvre	Laine	Carbone	Polyamides
Celluloses	Soie	Métaux (acier, fonte)	Polyesters
Sisal		Verres spéciaux	Acrylique
		Amiante	

I-2-2-2-1 Les fibres métalliques :

Les fibres métalliques sont de types et de formes variées et présentent une très bonne compatibilité avec le béton. Les fibres métalliques caractérisées par un module d'élasticité élevé, par conséquent, offre au béton une meilleure résistance à la traction, au choc et améliore sa ductilité en augmentant son pouvoir de résister aux déformations dues à la rupture, de même donne une ténacité appréciable,

leurs formes et leurs dimensions améliorent leur ancrage et leur adhérence (fibres, copeaux, fibres tréfilées, ondulées, déformées aux extrémités, en tête de clou) (Figure I-2-2). [12]

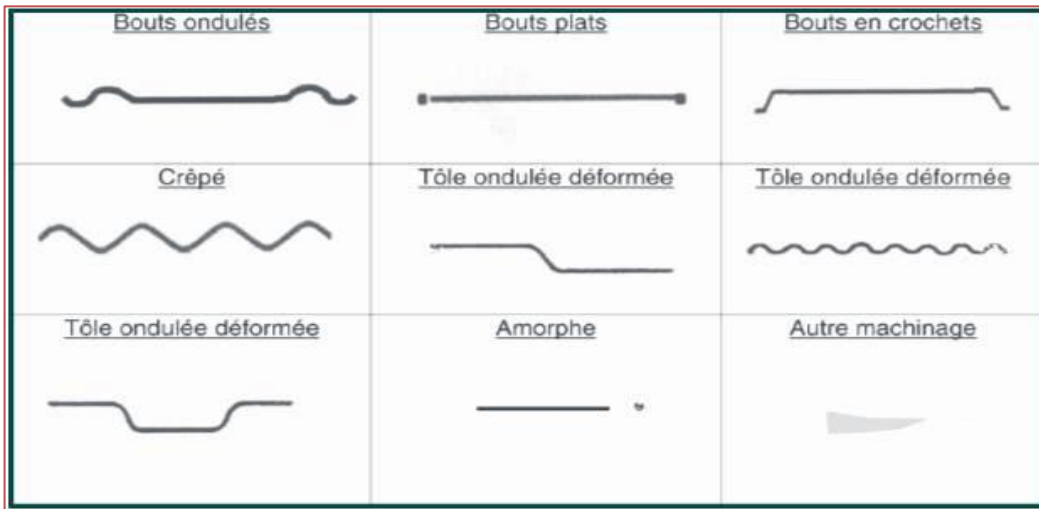


Fig. I-2-2. Géométrie fibres métalliques. [21]

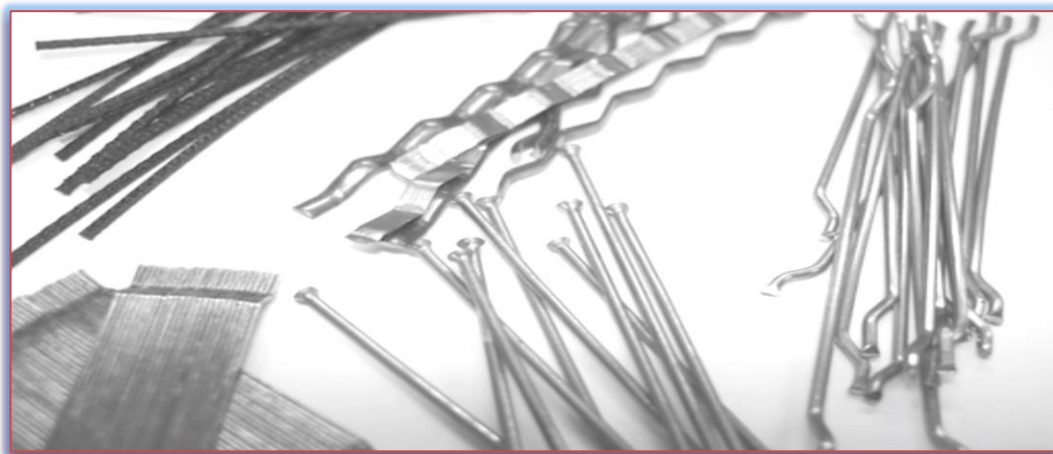


Fig. I-2-3. Exemple de fibres métalliques.

I-2-2-2-2 Propriétés mécaniques des fibres métalliques :

Les fibres ont une influence importante sur le comportement mécanique du béton fibreux, leur incorporation peut augmenter les résistances, en traction, en flexion et particulièrement au cisaillement en résistant aux efforts de traction. Offrent plus de ductilité et de ténacité.

Leur géométrie est très variable (figure I-2-4). Les fibres les plus utilisées sont les fibres droites.

C'est l'adhérence de ces fibres avec la matrice cimentaire qui diminue la fragilité du béton par amélioration du comportement post fissuration.

Il existe des fibres à crochets. Leurs extrémités recourbées développent un ancrage et dissipent une énergie de fissuration par plastification de la fibre [25] et par frottement à l'interface avec la matrice. On trouve aussi des fibres ruban, des fibres à tête d'ancrage ou encore des fibres ondulées dont, qualitativement,

les modes de fonctionnement sont les mêmes que ceux cités précédemment.

L'avantage des fibres à crochets ou ondulées est qu'elles développent un ancrage supplémentaire en plus de l'adhérence avec la matrice les rendant plus efficaces que les fibres droites. Cependant, ce type de fibres peut engendrer la formation d'oursins durant la fabrication entraînant une répartition non homogène dans le béton.

Les fibres droites sont généralement utilisées pour pallier à ce problème mais, ne fonctionnant que par adhérence avec la matrice, leur efficacité s'en ressent. [25]

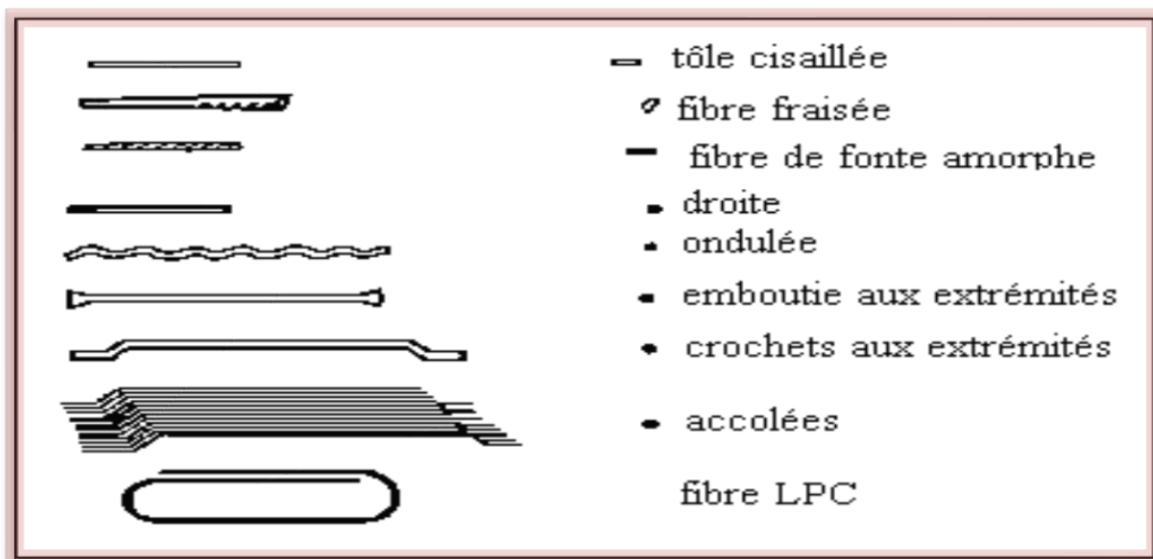


Fig. I-2-4. Différentes formes géométriques de fibres métalliques.

I-2-2-2-3 Domaine d'application des fibrés métalliques :

Ils sont utilisés :

- Dans les dallages et les sols industriels.
- Pour la fabrication des tunnels, de coques.
- Pour réaliser des bétons projetés (la réparation de revêtements de tunnels et galeries).
- Le confortement de parois de soutènement en béton).
 - Pour la réalisation de produits préfabriqués.
 - Pour la confection de mortier de réparation.



Fig. I-2-5. Utilisation des fibres métalliques dans les dallages industriels [26]

I-2-2-3 Le rôle des fibres :

Les fibres ont généralement pour rôle de renforcer ou remplacer l'action des armatures traditionnelles en s'opposant à la propagation des microfissures. Elles peuvent également dans certaines applications remplacer les armatures passives. Selon les fibres utilisées (forme et nature) et les ouvrages auxquels elles sont incorporées,

Ce rôle se traduit par des améliorations relatives à :

- la cohésion du béton frais ;
- la déformabilité avant rupture;
- la résistance à la traction par flexion ;
- la tenue au feu ;
- la ductilité et la résistance post fissuration ;
- la résistance aux chocs ;
- la résistance à la fatigue ;
- la résistance à l'abrasion;
- la résistance à l'usure;
- la résistance mécanique du béton aux jeunes âges ;
- la réduction des conséquences du retrait par effet de couture des microfissures ;

✚ Le contrôle de la propagation d'une fissure dans un matériau en état de service en réduisant l'ouverture des fissures, comme schématiquement illustré par la **(Figure I-2-6 a)**. [27]

-La transformation du comportement fragile d'un matériau en un comportement ductile qui accroît la sécurité lors des états de chargement ultimes **(Figure I-2-6 b)**. [27]

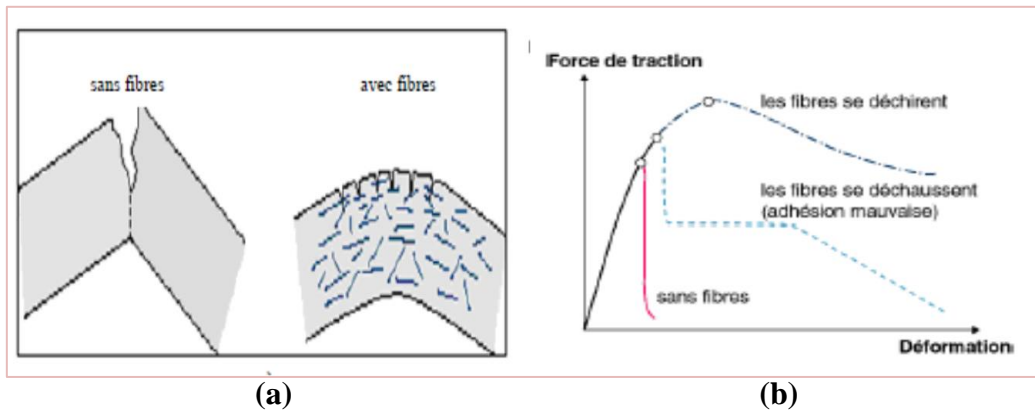


Fig. I-2-6. Illustration de l'apport du renfort par des fibres. [28]

Le principe de couturassions des fissures et limitation de leurs ouvertures est comme montré en (Figure I-2-7), les fibres qui traversent la fissure offrent une résistance résiduelle (résistance au-delà de la fissuration), ces fibres se déforment aux extrémités ancrées qui se redressent graduellement avec l'augmentation du chargement au-delà de la charge de fissuration.

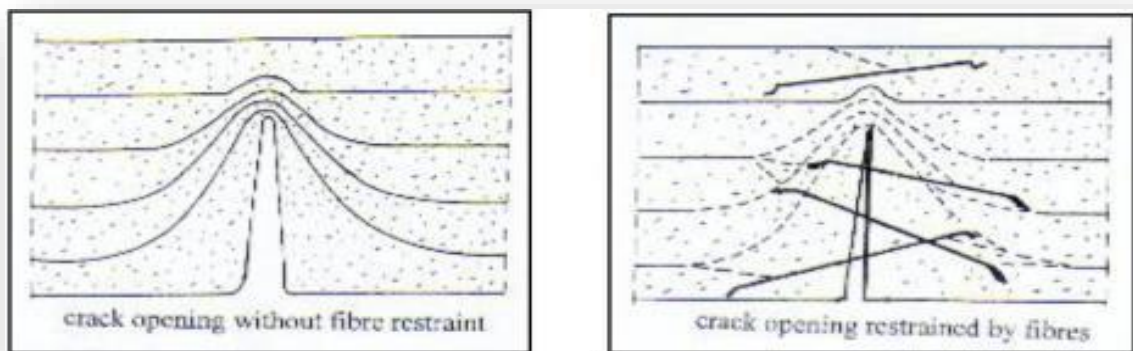


Fig. I-2-7. Principe de couturât d'une fissure.

En réalité, les fibres ont des effets sur les performances mécaniques des bétons dans tous les modes de rupture. La (Figure I-2-8) illustre les différents facteurs influant sur le comportement d'un béton renforcé de fibres.

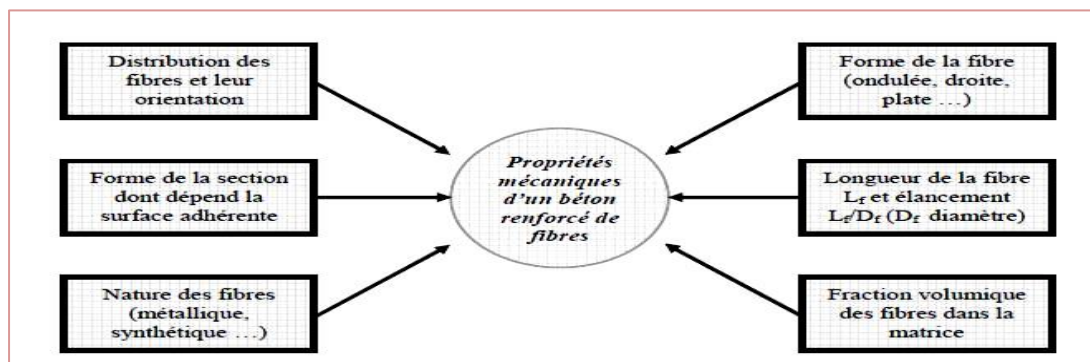


Fig. I-2-8. Différents facteurs influant sur le comportement mécanique d'un béton renforcé de fibres.

I-2-2-4 Principe d'action des fibres :

Le principe d'action des fibres se manifeste à deux échelles :

Le matériau et la structure, considérons une pièce de béton renforcé de fibres soumise à un effort de traction, on peut distinguer 3 phases sur la courbe contrainte - déformation qui représente son comportement (Figure I-2-9), une première phase où l'on observe la formation de microfissures qui se développent très tôt, généralement dans des zones de moindre résistance mécanique comme l'interface entre les granulats et la matrice (auréoles de transition), la longueur de ces fissures est de l'ordre du diamètre des granulats, leur largeur de l'ordre du micron, durant cette phase, les fibres sont inactives, la deuxième phase correspond au développement des microfissures qui résultent de la coalescence des microfissures. a ce stade, des contraintes sont transférées aux fibres qui contribuent à limiter la propagation des fissures.

Cette étape est suivie par la propagation d'une microfissure (phase 3) séparant l'éprouvette en deux blocs, et provoquant ainsi la ruine de l'éprouvette. [29]

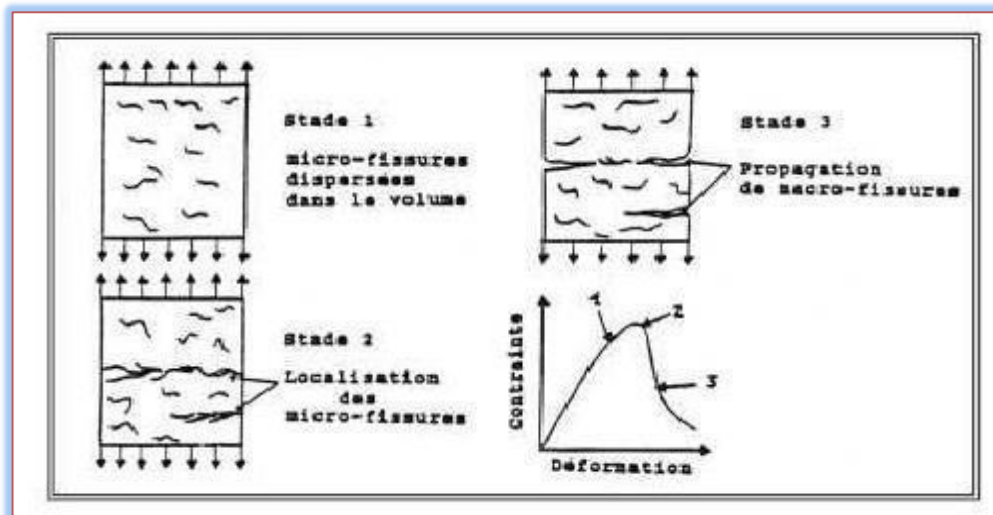


Fig.: I-2-9.Processus de fissuration du béton.

-La (Figure I-2-10) illustre le principe de couture des fibres à travers une fissure dans la matrice.

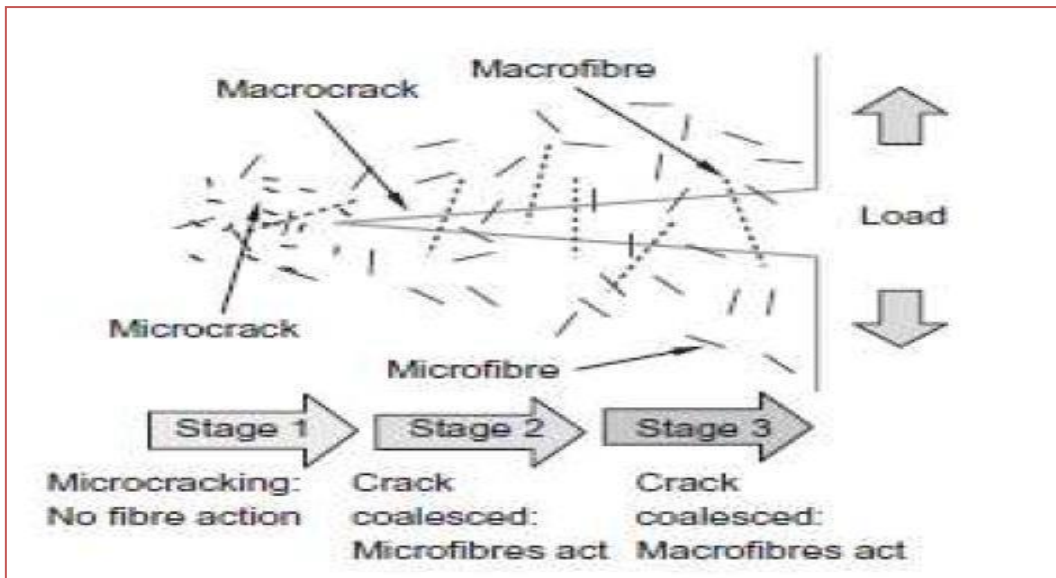


Fig. I-2-10. Action des fibres sur le développement des fissures dans un composite.

[28]

I-2-2-5 Les avantages du béton de fibres :

Les avantages de l'utilisation des fibres dans le béton sont présentés selon l'aspect technique et économique.

a) Aspect technique :

L'utilisation d'un béton fibré est avantageuse principalement au niveau du contrôle de la fissuration ainsi que du support de charge, tout dépendamment du type de fibres et du dosage utilisé.

Les principaux avantages techniques sont :

- Un renforcement tridimensionnel uniformément distribué à travers le béton.
- Une augmentation de la ténacité grâce au comportement en post fissuration (résistance résiduelle).
- Une énergie d'absorption élevée.
- Une résistance aux impacts élevée.
- Une résistance à la fatigue élevée.
- Une augmentation de la résistance en cisaillement. [12]

b) Aspect économique :

Les principaux avantages économiques des bétons fibrés sont :

- Une réduction des intervenants sur le chantier, ce qui implique une réduction du coût de mise en place et du temps de construction.
- Une optimisation du dimensionnement.

I-3 les bétons autoplaçants fibrés :

I-3-1 Introduction :

Les BAP sont de nouveaux types de béton sa haute ouvrabilité et de bonne cohérence par rapport à d'autres types de bétons. [30]

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

Ces propriétés ont été mises en évidence par différents essais à l'état frais, par exemple l'essai d'étalement qui permet d'évaluer notamment le risque de blocage pour bien déterminer l'effet des fibres, cet essai a également été effectué avec un béton autoplaçants de référence.

Les bétons autoplaçants fibrés doivent avoir les mêmes propriétés de base que les BAP non fibrés: étalement maximal etc..... [4]

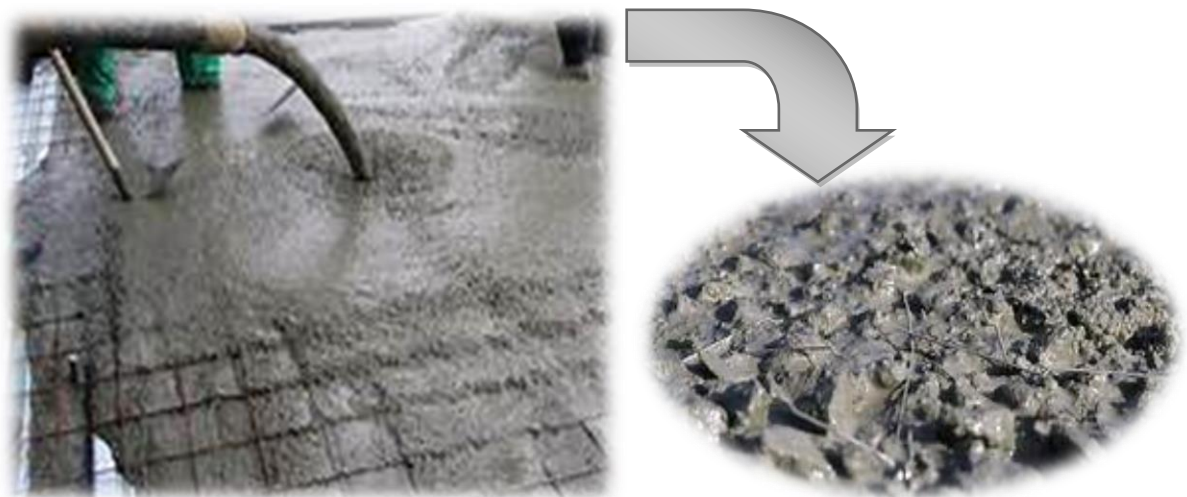


Fig. I-3-1. béton autoplaçants fibre.

I-3-2 Composition des BAPF :

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

Les paramètres touchant sur le comportement du béton dans l'état frais ont été variés dans plusieurs études expérimentales pour trouver leur effet sur les caractéristiques principales du BAPF. [31]

I-3-3 formulations des BAPF :

La conception du mélange est souvent basée sur quelques principes de base: augmenter la teneur en pâte, le dosage en superplastifiants et le contenu des granulats fins à l'allongement et au volume croissant de fibres.

ROSSI et al [32] ont approché la conception du mélange des matrices de béton autoplaçants renforcé de fibres sur une façon plus systématique: ils ont optimisé le squelette granulaire, le contenu et les caractéristiques de la pâte doivent être tenus en compte pour lier l'ouvrabilité et la composition du mélange.

La distribution homogène et l'orientation des fibres sont souvent assurées mais rarement étudiées.

La condition sur les caractéristiques principales du BAP demeure la même pour les BAPF, l'obtention des BAPF peut être faite de différents points de: la capacité de remplissage; le comportement de post-fissuration; la classe de résistance à la flexion par fendage et les coûts [33]

Rossi et Harrouche ont proposé une méthode de conception pour optimiser le squelette granulaire du béton de tissu renforcé qui a été basé sur la méthode Baron-Lesage. Ils ont fait toute prétention: d'abord, le béton le plus réalisable est obtenu au cas où le squelette granulaire serait optimisé. En second lieu, le premier juge varie indépendamment de la nature ou du volume de la pâte de ciment [4].

I-3-4 Comportement mécanique des BAPF:

Pour améliorer quelques propriétés mécaniques des bétons autoplaçants (résistance à la traction, à la flexion, ...), des fibres sont incorporées. Ce renforcement peut influencer le comportement de ces derniers à l'état frais et durci.

Les fibres influent directement sur l'ouverture de la fissure et donc sur la rigidité et la ductilité après fissuration. Au préalable, il convient de définir ce qu'on entend par un béton témoin lorsqu'on cherche à le comparer à un béton de fibres. La démarche généralement adoptée consiste à fabriquer un béton et à le comparer au même béton auquel on a mélangé des fibres.

L'effet des propriétés des fibres qui ont une influence directe sur les propriétés mécaniques des BAPF telle que la flexion et la compression et qui ont fait l'objet de quelques recherches sont résumées ci-après:

I-3-4-1 Effet du volume des fibres:

Pour les bétons fibrés, le concept de la ductilité est souvent utilisé pour caractériser leur rendement. L'objectif principal de l'utilisation des fibres dans les matériaux composites (béton, mortier...) est l'amélioration du comportement structural en traction.

Khayat et al [34] ont noté une amélioration de la résistance à la flexion de prismes 100×100×350 mm des BAPF par rapport au béton conventionnel.

Mueller [34] GAO et al [37] trouvent que l'une des raisons de l'augmentation de la résistance en flexion est le volume des fibres V_f . Le V_f est le paramètre responsable direct sur le comportement de la matrice BAPF à l'état durci.

Yadegaran et al [36] ont prouvé que l'inclusion de fibres synthétiques de 12 mm de longueur dans les BAP réduit la résistance à la compression à différents âges. Dreux et al [37] ont conclu que les fibres augmentent la résistance à la compression.

Sahmaran et al [38] ont constaté que la résistance à la compression augmente avec l'augmentation du volume des fibres surtout dans le cas où les fibres seraient de petite taille. Par contre Banthia et al [38] et ZHANG et al [39] ont observé que l'effet des fibres sur les BAP n'est pas clair ou sensible.

I-3-4-2 Effet de la longueur des fibres :

Les travaux entrepris par ZHANG et al [39] le béton pour les applications de béton projeté contenant 60% de cendres volantes en substitution partielle avec le ciment, ont montré que l'augmentation de la longueur des fibres L_f a conduit à une augmentation de l'indice de ténacité, et par conséquent une augmentation de la résistance résiduelle à 14 jours d'âge. Mais, un résultat inverse inexplicable a été obtenu à 91 jours. Les différents essais ont montré que la résistance à la flexion du béton de fibres est indépendante de L_f [39].

ZHANG et al ont constaté que la charge de la fissure était légèrement influencée par des fibres de polypropylène.

DREUX et al [37] ont mentionné que les différents tests ont prouvé une légère augmentation de la résistance à la compression lors de l'utilisation des fibres courtes en raison de leurs meilleures homogénéités dans la matrice béton.

I-3-4-3 Effet de l'aspect ratio et la forme géométrique :

L'aspect ratio (L_f / D_f) affecte également le comportement en flexion du béton. Cependant, l'influence de ce paramètre sur lui-même dépend du V_f et la géométrie de la fibre. Généralement, pour les bétons ordinaires, la résistance à la flexion augmente avec l'augmentation de (L_f/D_f) [40]. Avec l'utilisation de diverses formes de fibres, il est difficile de séparer l'aspect ratio de la géométrie des fibres. Pour un (L_f / D_f) donné, la ténacité des bétons de fibres varie sensiblement fonction de la géométrie des fibres utilisées [40]. BALAGURU et al [41] ont suggéré pour les bétons ordinaires (30MPa), que les fibres les plus performantes sont: les fibres à crochets, embouties aux extrémités, ondulées, et les fibres droites GAO et al [35] ont observé que la ténacité à la flexion augmente avec l'augmentation de la (L_f / D_f).

Lou et al [42] ont étudié l'effet de cinq types de fibres d'acier avec différents (L_f / D_f) et V_f sur la résistance à la compression. Les auteurs ont constaté que lorsque l'aspect ratio augmente, la résistance augmente. Des résultats similaires ont été trouvés par GAO et al [35] en utilisant des fibres d'acier dans les bétons légers et à haute résistance.

I-3-5 Influence des fibres sur les propriétés des BAPF à l'état frais :

Une étude réalisée par Grünewaldd a réalisé un programme dédié aux propriétés des BAP fibrés en fonction de la teneur en fibres, du type de fibres (métallique et polypropylène avec différentes géométries) et du rapport massique sable/granulat, pour la composition de référence, le rapport sable/granulats de 40% était utilisé car considéré comme optimal pour la compacité du béton, après les différents essais d'ouvrabilité réalisés sur les différentes compositions des bétons à l'état frais, les conclusions ci-après ont été tirées.

Effet sur l'étalement :

L'analyse de ces résultats montre que l'étalement diminue lorsque la teneur en fibres augmente, le degré de diminution dépend de la teneur en sable dans composition de référence, on remarque aussi sur la (Figure I-3-2a) une ovalisation de la galette pour les compositions renforcées de fibres métalliques ayant une grande surface spécifique, ce qui indique que l'étalement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions, en outre, pour certaines compositions

(Voir Figure I-3-2b) avec des fibres plus longues, une ségrégation des granulats et des fibres au centre de la galette a été remarquée, la (Figure I-3-2c) illustre l'aspect de la galette dans le cas intermédiaire, provoquant ainsi une ovalisation de la galette et une accumulation des particules au milieu. [22]

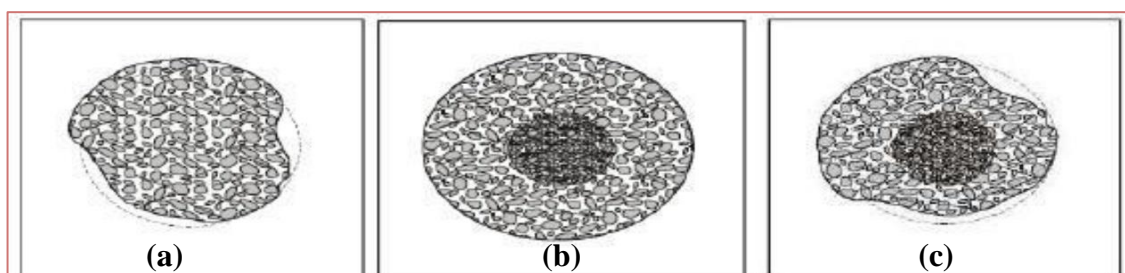


Fig. I-3-2. Effets des fibres sur l'étalement des BAP.

I-3-6 Orientation Et Distribution Des Fibres :

L'orientation et la distribution des fibres affectent les performances et les caractéristiques des BAP fibrés à l'état durci.

Peterson [43] 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. [44]

Groth et Nemegeer 1999 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 autoplaçants 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 [45] cité par [29].

I-3-7 Comportement mécanique des BAP fibrés :

La résistance à la traction, à la flexion et à la compression sont des caractéristiques mécaniques qui permettent de définir le comportement d'un béton autoplaçants durci. L'ouverture des fissures est influencée par les fibres, alors la rigidité et la ténacité d'un matériau dépendent du dosage et de la nature des fibres utilisées.

1-Comportement à la compression et à la traction :

La résistance à la compression n'était pas significativement sensible à l'adjonction de fibres dans un BAP, la résistance au jeune âge est quelque peu faible, probablement due à un effet retard de l'hydratation des mélanges et/ou des fillers, lié aux adjuvants. Néanmoins, à long terme, la résistance correspond à celle d'un béton ordinaire avec un même rapport E/L.

Les résistances à la compression visées à 28 jours ont été atteintes pour tous les types de bétons, avec une très légère diminution des rapports (R_{COMP}/R_{TRAC}) entre 7 et 28 jours.

Cette réduction modérée est probablement due à l'amélioration de l'adhérence des fibres avec

Le béton dans le temps, mécanisme dont dépend fortement la résistance à la traction, les auteurs en ont tiré les principales conclusions ci-après.

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

Les fibres synthétiques, glissantes, seront mises en tension plus progressivement et vont ponter les microfissures 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. [22]

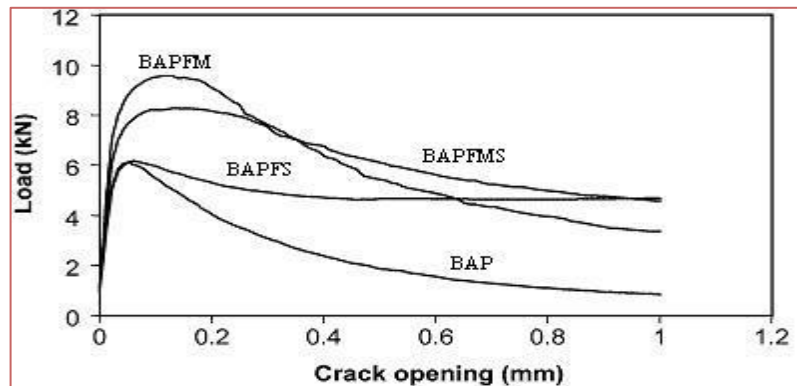


Fig. I-3-3. Comportement à la traction de différentes compositions.

2- Comportement à la flexion :

Une augmentation de la quantité de fibres conduit à une amélioration de la rigidité, et du comportement en flexion des bétons auto-plaçants renforcés de fibres.

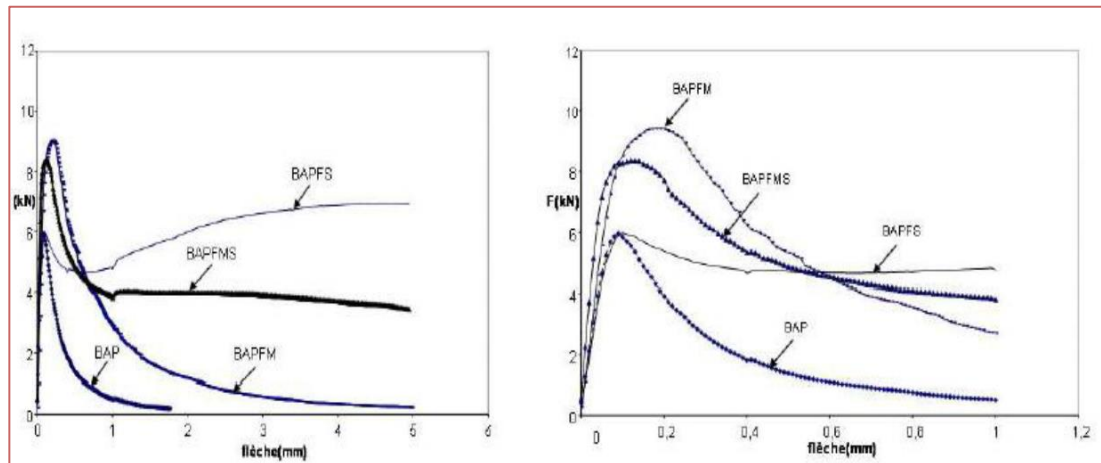
Les études effectuées sur le comportement mécanique en flexion sous l'influence de deux types de fibres (métalliques de type Fibrilleux (FM) 30x1, 6 x 0,03 mm et synthétiques de type polypropylène (FS) 50x1, 6x0, 4 mm). Les dosages utilisés étaient de 20 kg/m³ pour FM ; 9 kg/m³ pour FS et (10 FM + 4,5 FS) kg/m³ pour un fibrage mixte (compositions qui seront plus tard utilisées dans nos essais). Les résultats obtenus sont détaillés ci-après.

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

-Les fibres synthétiques « FS » n'ont pas permis d'augmenter la capacité portante, elles confèrent tout de même au système une résistance résiduelle post-pic maintenue jusqu'à des ouvertures des fissures très larges L'association des deux types de fibres peut donc constituer un compromis efficace pour améliorer la résistance à la flexion des BAP et prolonger le plateau de la capacité portante résiduelle des structures jusqu'aux larges ouvertures des fissures.

Les BAP semblent conférer une adhérence fibre-matrice supérieure par rapport au béton vibré, que ce soit avec des fibres métalliques ou synthétiques.

Les (Figures I-3-5) illustrent la différence des comportements entre les différents bétons en flexion en terme de courbe force-flèche. [22]



a) détail jusqu'à une flèche de 6mm

b) détail jusqu'à une flèche de 1mm.

Fig. I-3-4. Résistance à la flexion du béton renforcé de fibres en fonction du temps.

(Kawamata et al, 00) ont expliqué que l'augmentation du taux de fibres métalliques entraîne une amélioration de la résistance mécanique en flexion. Dans ce travail, les chercheurs ont ajouté des fibres métalliques avec des longueurs différentes 8, 16, 24 et 32 mm et un taux volumique optimal en fibres égale à 1%.

I-3-8 Utilisation des BAP fibres dans les structures :

Les Différentes applications de BAPF sont présentées dans le tableau :

Tableau I-3-1.Domains d’application de BAPF.[26]

<i>Applications</i>	<i>Intérêt apporte par l’adjonction des fibres dans le béton</i>
Canalisation et coques minces faiblement sollicitées	- Amélioration de la tenue des pièces aux jeunes âges - Modification des variations dimensionnelles, lutte contre les fissurations
Dallages, chaussées en béton, Dallages manufacturés, et tous éléments structuraux soumis à la Flexion	- Diminution de 40% de l’ouverture de fissures - L’augmentation de la rigidité après fissuration - Augmentation de la résistance au cisaillement - Augmentation de la résistance à l’usure
Éléments structuraux soumis à la compression (poteaux, pieux, fondations, ...etc.	- Amélioration de la charge ultime - Pas de rupture catastrophique
Structures soumises à des sollicitations pulsionnelles ex : piste d’un aéroport	- L’énergie absorbée est plus importante - La durée de choc est augmentée - Loi de comportement du matériau est fortement Modifiée
Réparation des revêtements routiers, tablier de ponts	- Amélioration de la résistance aux chocs - Amélioration de la déformabilité
Parties exposées aux fortes variations de température et même aux très hautes températures	- Remplacement avec succès du revêtement réfractaire - Diminution le coût de réparation des éléments Réfractaires
Stabilisation des parois rocheuse, les talus, les tunnels, les galeries souterrains. Parois rocheuses et les talus,	- Évite le travail de fixation du grillage ordinairement employé. - Diminution du coût de réparation de stabilisation des

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

-Palplanches :

A l'origine, les palplanches étaient réalisées en bois (maintenant en acier). Il s'agissait de pieux faits de planches qu'on enfouissait dans la terre pour former un encaissement dans l'eau. ‘ SPANBETON ‘, un producteur hollandais d’éléments en béton préfabriqués propose aujourd’hui des palplanches en béton. Ces éléments sont précontraints et renforcés avec des barres en acier.

Comparés à ceux en acier, les éléments en béton sont plus durables et peuvent être employés comme partie portante de la charge d'une structure. Des études ont été réalisées à l'université de technologie de Delft avec pour objectif la production de palplanches précontraintes sans armatures classiques, Le programme était composé de quatre parties:

-étude préliminaire sur les caractéristiques d'un mortier de haute résistance avec les fibres métalliques.

-optimisation d'une géométrie de palplanches, en combinant les aspects structural et économique, (le calcul a montré que les palplanches en bétons autoplaçants fibrés seraient économiques si le prix de la composition était inférieur à 450 euros/m³).

-optimisation d'une composition basée sur l'étude de [Sato et al 2000], développée par [Grünewald et al 2002], satisfaisant tous les critères de conception, (plusieurs essais ont été effectués sur les caractéristiques du mélange optimisé à l'état durci).

-faisabilité de la nouvelle palplanche

La (**Figure I-3-5**) permet de comparer les palplanches élaborées à base de béton autoplaçants renforcé de fibres (Dra mix OL 13/0,16, Vf =125 kg/m³) à celles à base de béton ordinaire: on remarquera une diminution significative de l'épaisseur des éléments fibrés.

Les palplanches précontraintes en béton autoplaçant renforcé de fibres présentent plusieurs avantages par rapport celles avec un béton standard : le coulage et le remplissage sont facilités, le stockage exige moins d'espace, et un nombre plus élevé d'éléments peut être transporté avec un camion (plus légers et moins encombrants).Enfin, la mise en place dans la terre est plus aisée (moins de résistance à l'enfoncement dans le sol [22]).



Figure I-3-5. Palplanches précontraintes à base de mortier autoplaçants fibré (a), béton armé ordinaire (b).

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

-Voussoirs :

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

A titre d'exemples récents et non des moindres, on peut citer les incendies du tunnel du Mont Blanc et du tunnel sous la Manche. Les fibres peuvent contribuer à limiter la détérioration et la désagrégation du béton. L'interface fibre – matrice cimentaire contribue à la décompression du béton (exutoire de la vapeur) et d'autant plus efficacement que les fibres

Sont réparties dans tout le volume, y compris au voisinage immédiat de la surface de la structure.

Des voussoirs renforcés de fibres métalliques ont été testés avec succès dans plusieurs projets d'infrastructures. Dans la plupart des cas, on peut se passer du renfort de barres, simplifiant ainsi le procédé de production.

Une des études de référence sur les BAP fibrés dans des voussoirs a été menée par [Grünwald et al 2003]. Elle présente deux volets : le procédé de production et l'effet de l'écoulement sur l'orientation des fibres, ainsi que les conséquences de cette orientation sur les caractéristiques mécaniques du béton.

Deux voussoirs ont été réalisés avec des BAP renforcés de fibres et deux différents types de fibres métalliques ont été employés : Dra mix 80/60 BN ($L_f/D_f= 80$, $L_f=60$ mm) et Dramix 45/30 BN. Les compositions étudiées sont renforcées par 60 kg/m^3 de fibres et elles se distinguent uniquement par la géométrie de la fibre utilisée. La composition présentant des caractéristiques d'un BAP, les voussoirs n'ont pas été vibrés. La **(Figure I-3-6)** montre la qualité des surfaces après décoffrage d'un voussoir en béton autoplaçants renforcé de fibres. [22].



Figure I-3-6. Un voussoir à base de BAP fibré.

I-4.CONCLUSION :

On peut tirer de ce chapitre :

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

De nombreuses structures actuelles se caractérisent par la complexité de leur architecture (formes variables et courbures multiples), ainsi que par une forte concentration d'armatures, ce qui rend souvent difficile l'utilisation des bétons de plasticité conventionnelle. Afin d'adapter les bétons à ces ouvrages, des recherches ont été menées au cours des dernières années dans le but de développer des formulations de béton se caractérisant par une haute ouvrabilité, tout en étant stables (ségrégation, étalement), avec de bonnes caractéristiques mécaniques et de la durabilité.

Ainsi, des bétons autoplaçants (BAP) ont été développés afin la mise en place soit réalisée sans vibrations, seulement sous l'effet de la gravité, d'où le qualificatif d'autoplaçants.

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

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

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

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

CHAPITRE II:

La Durabilité

Et

Les Milieux Agressifs

II-La Durabilité De Béton

Généralités:

Un ouvrage doit résister au cours du temps aux diverses agressions ou sollicitations (physiques, mécaniques, chimiques...), c'est-à-dire aux charges auxquelles il est soumis, ainsi qu'aux actions diverses telles que le vent, la pluie, le froid, la chaleur, le milieu ambiant... tout en conservant son esthétique. Il doit satisfaire, sans perdre ses performances, aux besoins des utilisateurs au cours du temps.

Il devient possible de définir des objectifs de durabilité et de choisir avec précision les caractéristiques du béton en fonction de l'agressivité du milieu dans lequel se trouve l'ouvrage et d'optimiser ses caractéristiques afin de les adapter à la durée d'utilisation souhaitée. Les spécifications concernent la nature et le dosage minimal en ciment, la compacité minimale, la valeur maximale du rapport Eau/Ciment, l'enrobage minimal des armatures et la teneur maximale en chlorures dans le béton.

Les connaissances actuelles sur les ciments et les bétons permettent d'optimiser et d'adapter la composition et la formulation des bétons aux contraintes environnementales auxquelles ils seront soumis, tout en respectant les critères de performances mécaniques.

Les ouvrages en béton disposent aujourd'hui d'un support normatif complet, constitué de normes européennes et de référentiels français. Cet ensemble de textes couvre :

- ❖ Le dimensionnement des ouvrages en béton,
- ❖ Les constituants du béton : la norme NF EN 197-1 pour les ciments, les normes NF EN 12620 et XP P18-545 pour les granulats et la norme NF EN 934-2 pour les adjuvants),
- ❖ La durabilité des bétons : norme NF EN 206-1, fascicule de documentation FD P18-011, recommandations sur l'alcali-réaction, le gel-dégel, la réaction sulfatique interne,
- ❖ Les produits en béton : norme NF EN 13369,
- ❖ L'utilisation du béton dans les ouvrages : Fascicule 65A, DTU....

Ces normes et référentiels se complètent de manière cohérente et permettent in fine de mieux appréhender et de mieux maîtriser la durabilité des structures en béton. [10]

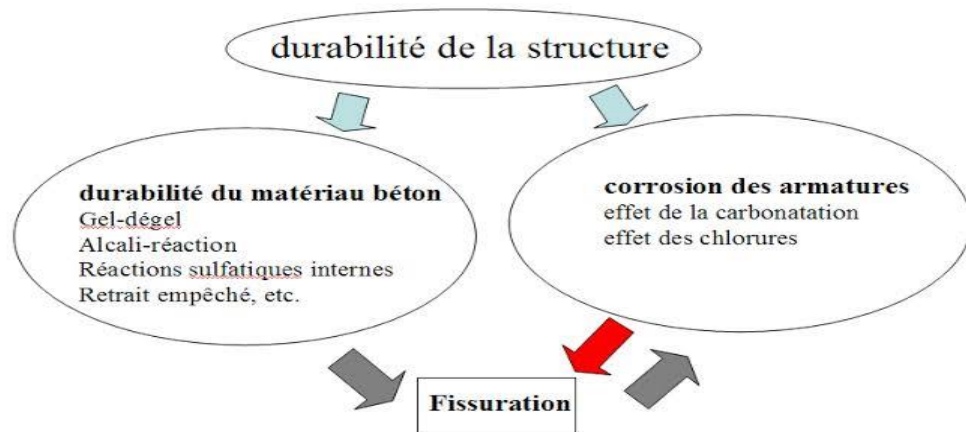


Fig. II-1 : Indicateurs de durabilité d'une réparation en béton.

II.1. Définition La durabilité de béton:

La durabilité d'un béton est de pouvoir conserver sa résistance et de continuer de remplir sa fonction tout au long de sa durée de vie utile pas à une durée indéfinie, il en résulte que le béton doit résister aux mécanismes de dégradation auxquels il peut être exposé, tels que les cycles de gel-dégel et certaines formes d'attaques chimiques.

La mauvaise durabilité se manifeste par une détérioration qui peut résulter de facteurs externes ou de phénomènes internes du béton, les actions peuvent être mécaniques, physiques ou chimiques, Ces dernières sont causées par les (réactions alcali-silice et alcali-carbonate, les attaques chimiques externes sont causées par la présence d'ions agressifs tels que les chlorures, les sulfates et les gaz carboniques ainsi que de nombreux gaz et liquides d'origines naturelles ou industrielles). Il convient de noter avant toutes choses que la détérioration du béton est rarement attribuable à une seule cause: le béton peut souvent se comporter de façon satisfaisante en dépit de certaines déficiences, mais lorsqu'un facteur défavorable s'ajoute, les désordres apprêteront. [47]

II. 2. Durabilité et économies:

La durabilité est un objectif de qualité pour l'ingénieur, et le métier de ce dernier consiste à atteindre les objectifs fixés au moindre coût. Il en résulte deux règles qui permettent de concilier au mieux économie et durabilité.

Règle 1 : l'expérience du temps : Toute innovation doit être évaluée par comparaison avec ce qui est connu pour avoir subi avec succès l'épreuve du temps.

Règle 2 : la communication des règles de comparaison : Les règles de comparaison entre l'innovant et le traditionnel doivent donner lieu à une délibération intra et

interprofessionnelle en vue de déterminer celle qui, à chaque époque, paraissent les mieux adaptées.

De nos jours, l'application de la *règle 1* se fait principalement dans les laboratoires et la règle 2 se traduit par l'élaboration de normes, de codes et de règlements. Le fondement d'une approche économique de la durabilité réside donc dans le lien nécessaire entre les résultats expérimentaux et le cadre normatif. [11]

II. 3. Béton durable et béton résistant:

La porosité est le paramètre de premier ordre qui caractérise la texture du Béton, ce n'est pas évidemment pas le seul paramètre, mais c'est celui qu'il faut fixer avant d'étudier tous les autres. Il conditionne presque toutes les propriétés du béton et, en premier lieu, sa résistance mécanique.

La résistance aux efforts de compression est la propriété principale du béton, celle qui permet son utilisation comme matériau de construction. Plus faible est la porosité, plus grande est la résistance. Mais presque toutes les autres propriétés du béton dépendent de ce même paramètre de premier ordre. Toutes choses égales par ailleurs, le béton le plus résistant sera aussi le plus rigide, le plus dur, etc. Serait-ce aussi le plus durable ?

Pour évaluer expérimentalement la durabilité du béton, il faut étudier son comportement vis-à-vis d'un certain nombre de mécanismes susceptibles de le dégrader. On peut traiter la question comme la durabilité du béton face au sulfate, à l'alcali-réaction..., aux environnements agressifs.

Une façon pratique d'y parvenir est de toujours partir de la résistance aux efforts de compression pris comme critère global et de discuter de la durabilité en deux temps :

- ✓ toutes choses égales par ailleurs, en comparant des bétons qui ne diffèrent que par leur résistance ;
- ✓ puis à résistance constante, en examinant les paramètres spécifiques de la durabilité.

Il y a donc avantage, en vue de l'objectif de durabilité, à choisir la classe de résistance du béton en fonction de l'agressivité du milieu, d'autant plus élevée que le milieu est plus agressif. D'un point de vue pratique, cela signifie que c'est l'exigence de durabilité qui peut.

On peut considérer qu'un niveau de résistance adapté au milieu environnant est un premier critère de qualité qui doit être complété par d'autres conditions. En effet, tous les bétons de même résistance à la compression ne sont pas également durables. A résistance égale, il existe des différences parfois importantes, entre les bétons. Au simple critère de résistance, il faut ajouter d'autres considérations.

D'abord, la résistance (et ainsi la porosité) n'est qu'un critère de premier ordre qui doit être complété par d'autres mesures comme, par exemple, la perméabilité ou la diffusion, la distribution des tailles de pores. En effet, un autre facteur majeur est la dimension des pores.

A porosité égale, les agents agressifs pénètrent d'autant plus difficilement que les pores sont fins. Or, la finesse des pores dépend du rapport E/C, du ciment (CHF-CEM III/A, CLC-CEM V/A et B, CLK-CEM III/C comparés au CPA-CEM I et CPJ-CEM II/A), des additions minérales (poudre de marbre), de L'exposition du béton (dessiccation, carbonatation) et même de la dimension et de la nature des granulats. [48]

II .4 .DURABILITÉ DES BÉTONS RENFORCÉS DE FIBRES :

II. 4.1 Durabilité des bétons renforcés de fibres métalliques :

La durabilité du béton est liée à la facilité de pénétration des substances telles que le dioxyde de carbone, les chlorures, l’oxygène et l’eau. Les problèmes liés à la compacité du matériau influent sur l’altération des composants du béton. Le béton peut être attaqué par plusieurs facteurs, qui le dégradent plus ou moins. Ceux-ci peuvent être classés comme endogènes et exogènes et leurs origines sont variables (Tableau II.1).[46]

Tableau II.1. Facteurs influents sur la durabilité

<i>Origine</i>	<i>Endogène</i>	<i>Exogène</i>
<i>Chimique</i>	-Hydratation -Alcali-réaction	-Carbonatation -Pénétration d’agents agressifs
<i>Physique</i>	-Auto dessiccation -Chaleur d’hydratation	-Température -Hygrométrie
<i>Mécanique</i>	Granulats	-Sollicitations de service -Sollicitations accidentelles

La seule problématique de durabilité spécifique aux bétons renforcés de fibres métalliques est la corrosion des fibres. Si l’on doit faire une comparaison avec les bétons non fibrés, le phénomène est assez similaire à la corrosion des armatures de béton armé Deux situations sont à prendre en compte dans l’analyse de la corrosion des fibres métalliques, et de ses conséquences :

- le cas où la fibre ne traverse pas une fissure débouchant en surface.
- le cas où la fibre traverse une fissure débouchant en surface.

Cas n°1 :

Le béton assure la protection des fibres vis- à -vis de la corrosion. En fait deux

Processus peuvent altérer cette protection :

- l'évolution de la phase aqueuse interstitielle dont le pH diminue à la suite de la Transformation des composés hydratés du ciment et qui n'offre plus la protection souhaitable à la fibre métallique. C'est principalement la réaction de carbonatation du béton, à partir du dioxyde de carbone contenu dans l'air qui est impliquée dans ce processus :

- la pénétration d'agents agressifs, notamment les ions chlore jusqu'au niveau des fibres

Il faut noter que, parmi les deux mécanismes d'altération, la carbonatation est un phénomène général pour les superstructures, tandis que la pénétration des chlorures est spécifique à certains environnements..

Cas n°2 :

C'est un cas sensible au regard des conséquences mécaniques potentielles relatives à la corrosion des fibres. C'est également un cas sur lequel il n'existe pas d'analyse approfondie et claire. L'analyse présentée se base sur les travaux de DUVAL concernant le rôle de la fissuration dans le béton d'enrobage des armatures classiques de béton armé vis-à-vis de l'évolution du processus de corrosion de ces armatures (le mot fibre va remplacer armature dans ce qui suit).

De nombreuses études ont été consacrées à la détermination d'une largeur critique de fissure à partir de laquelle la vitesse de corrosion s'accroît de façon significative par rapport à un béton non fissuré. L'observation d'ouvrages en service et des expériences de laboratoire montre qu'il n'y a pas, statistiquement, de relation directe entre l'ouverture de fissure et le degré de corrosion, lorsque cette ouverture ne dépasse pas 0.3 à 0.4 mm.

L'explication qui est généralement avancée est la suivante : à l'endroit où la fissure la traverse, la fibre se trouve du fait de la carbonatation, à un pH plus faible qu'ailleurs. La corrosion va donc s'y faire préférentiellement. Mais, très rapidement les salissures et les produits de la corrosion vont obstruer le fond de la fissure, qui est rappelons le, très peu ouverte, ce qui contribue à freiner la corrosion (figure II-1). [46]

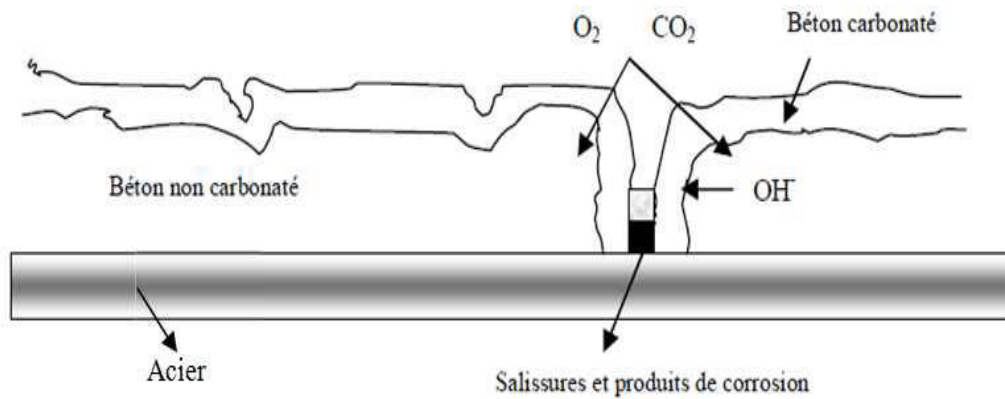


Fig. II-2: Mécanisme de corrosion des fibres en présence de fissure, et sans pénétration des chlorures. [46]

II.5. Les attaques chimiques sur des bétons:

La durabilité est tout aussi importante que les caractéristiques mécaniques pour le matériau béton. Cette propriété est définie (dans un cadre très général) par la capacité du matériau à maintenir ses caractéristiques physiques et performances mécaniques dans des conditions de sécurité satisfaisantes pendant la durée de vie prévue pour l'ouvrage compte tenu des conditions de services existantes et de l'environnement dans lequel il évolue. Le paramètre régissant la durabilité est bien entendu la perméabilité. Plus cette dernière est réduite et mieux sa durabilité en sera augmentée.

Pour évaluer la durabilité « potentielle » d'un béton, il est nécessaire de connaître les mécanismes susceptibles de conduire à sa dégradation, et la résistance du matériau vis-à-vis de ces dégradations.

Les principaux processus chimiques à la base des dégradations du béton, pour la majorité des attaques chimiques, sont généralement regroupés en trois catégories :

- A- L'hydrolyse ou la lixiviation (dissolution) des hydrates.
- B- Les échanges ioniques entre les hydrates et le milieu agressif.
- C- La formation de produits expansifs à l'intérieur du béton. [47]

Les agressions chimiques que peuvent rencontrer les matériaux à matrice cimentaires sont très variées.

De par sa porosité et la composition chimique de la solution interstitielle, des Échanges de matière peuvent se produire et être à l'origine d'une évolution de la composition solide de la pâte de ciment. Ces phénomènes de transport et de réaction s'effectuent à l'échelle de la microstructure de la pâte de ciment. Parmi une multitude de causes de dégradation des matériaux cimentaires, figurent les attaques.

II.5.1. Différents types de Les attaques chimiques du béton :

- 1) Les attaques sulfatiques;
- 2) Les dégradations dues à l'eau de mer;
- 3) Attaque par les acides ;
- 4) Attaque par les ions chlorures;
- 5) La carbonatation;
- 6) L'alcali-réaction;
- 7) La lixiviation en eau douce;

II-5-1-1-Les attaques sulfatiques:**II-5-1-1-1- Définition:**

La résistance du béton aux attaques des sulfates est l'un des facteurs les plus importants pour sa durabilité.

Le problème est aussi ancien que le béton et on a commencé à l'étudier il y a déjà près de 100ans.

L'attaque sulfatiques est accompagnée d'une précipitation de produits sulfatés dits «secondaires» dont la formation est postérieure à l'hydratation du ciment, d'une expansion importante et de détériorations chimique-mécaniques (modification des propriétés de transport et de la porosité, fissures, pertes de Résistance et de cohésion).

Ceci conduit à la ruine du matériau cimentaire, à plus ou moins long terme en fonction de l'attaque (nature, teneur et concentration des sulfates au contact) et du ciment utilisé.



Figure II-3 : Des cas pathologiques d'éléments en béton en contact de sulfate.

II-5-1-1-2 Sources des sulfates:

Les sulfates peuvent être d'origine naturelle, biologique ou provenir de pollutions domestiques et industrielles. Dans certaines régions (comme l'Afrique du nord, les prairies canadiennes, ..) où les sols contiennent du gypse ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) ou de l'anhydrite (CaSO_4), on peut en rencontrer des concentrations élevées supérieures à 5%.

- Les eaux souterraines en contact avec ces sulfates peuvent se charger en ions SO_4^{-2} .
- Les sols alluviaux ou argileux peuvent aussi contenir des pyrites qui s'oxydent en sulfates au contact de l'air et de l'humidité avec la formation d'acide sulfurique.
- Les sulfates peuvent aussi provenir de la décomposition biologique aérobie de substances organiques contenant du soufre (engrais, plantes).[49]

Les sources de sulfates peuvent aussi être internes :

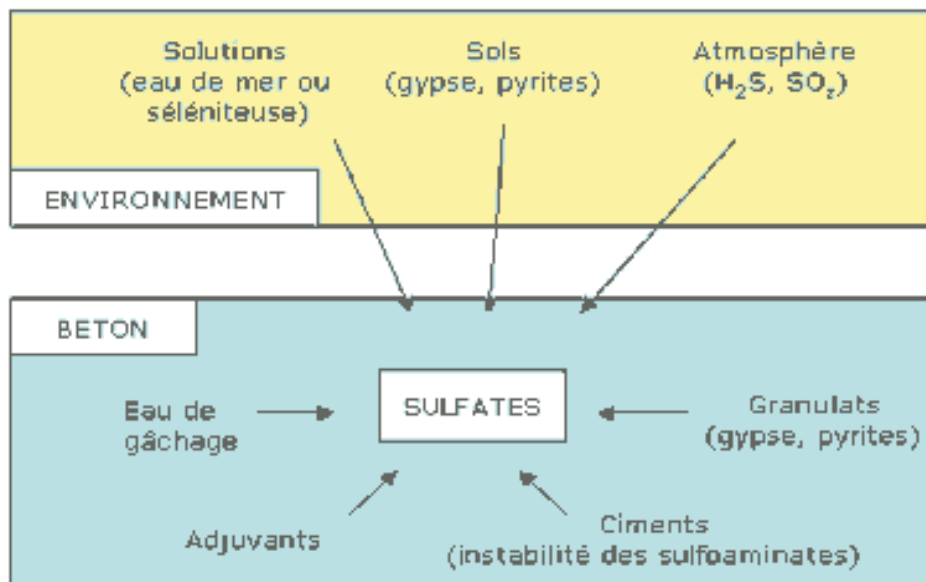


Figure II-4: L'origine des sulfates (interne ou externe).

II-5-1-1-3 Mécanismes d'attaques:

Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque sulfatique

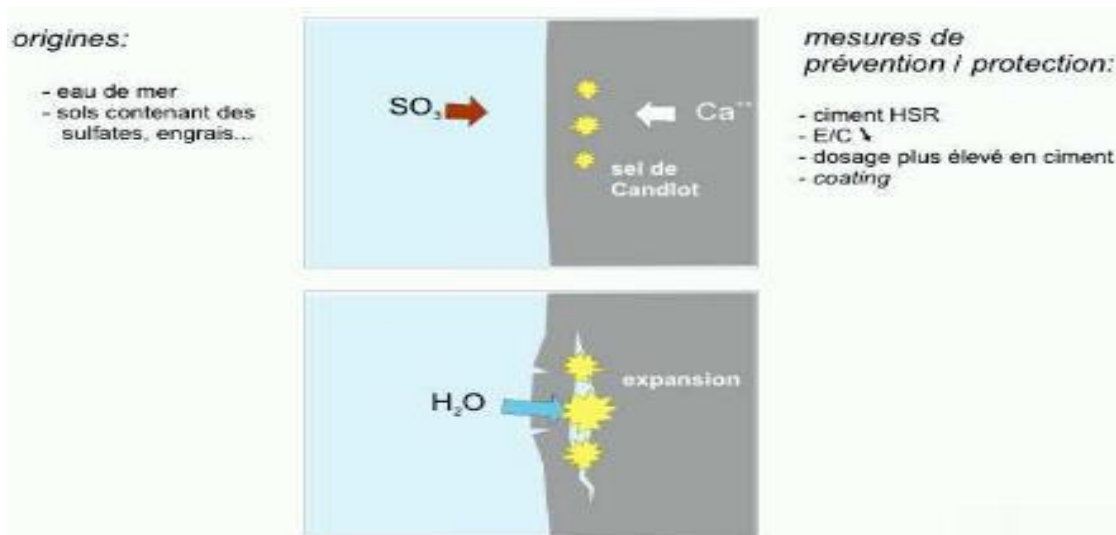


Figure II-5:L'attaque par les sulfates. [48]

Les sulfates peuvent détériorer le béton selon deux mécanismes physico-chimiques :

- Expansion
- Perte des propriétés liantes des C-S-H.

Les aluminates et la portlandite sont les deux produits les plus sensibles à l'attaque par les sulfates.

Mécanismes d'attaques de sulfates multiples

- Internes au béton.
- Externes au béton. [48]

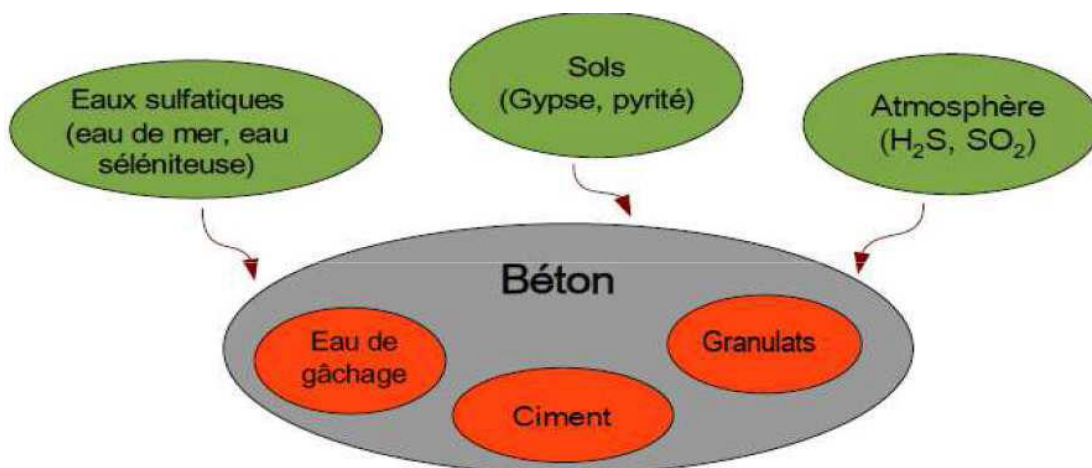


Figure II-6: Mécanismes d'attaques de sulfatiques au béton [50]

1/Processus d'attaque par les sulfates internes :

La dégradation des bétons par les sulfates est due principalement à des phénomènes d'expansion en relation avec la cristallisation d'étrangeté,

dite étrangeté secondaire. La formation de cette étrangeté expansive est à distinguer de l'étrangeté primaire, obtenue au premier stade de l'hydratation des ciment sportland par réaction du gypse, car cette étrangeté primaire n'est jamais expansive. Schématiquement, la formation de l'étrangeté est résumée ci-après :

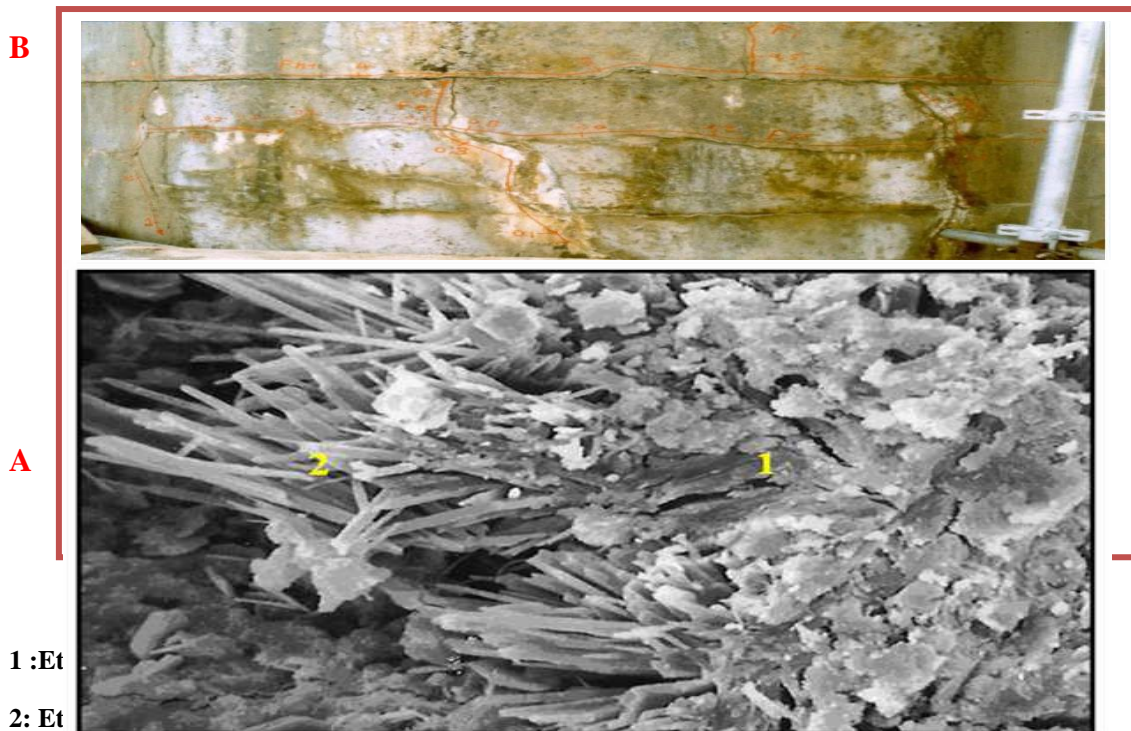


Figure II-7:-**B**/réseau de fissures dans une pile de pont en contact avec l'eau, endommagée par la formation différée d'ettringite.

2/Processus d'attaque par les sulfates externes :

Au travers du développement qui suit, ce type de dégradation sera abordée autant par son aspect phénoménologique que par les conséquences et les moyens de s'en prémunir en agissant sur des paramètres de formulation.

Les études en laboratoire ont conduit à mieux définir les différentes étapes du processus qui entraîne la dégradation du béton :

- Mise en contact de la surface du béton avec la solution agressive.
- Pénétration des anions SO_4 , par diffusion limitée à une zone superficielle.
- Pénétration du cation associé et réaction de substitution : cation (Mg^{+2} , Na^{+2} , $NH_4...$), Ca^{+2} et formation de gypse en solution ou cristallisé, suivant les concentrations en SO_4 .
- et en $Ca(OH)_2$.
- Réaction ponctuelle des ions sulfates avec les aluminates anhydres (C_3A) ou hydraté (C_4AH_x et $C_3ACASO_4H_{12}$).

- Fissuration par effet de coin due aux pressions de cristallisation de l'étrangeté.
- Accentuation de la pénétration des sulfates à la faveur des fissures.
- Progression de l'attaque suivant un front de dégradation, dont l'épaisseur a tendance à s'élargir au cours du temps
- Destruction plus au moins complète du béton.[52]



Figure II-8: La formation de l'étrangeté externe. [50]

II-5-1-2 Les dégradations dues à l'eau de mer

II-5-1-2-1 Définition de l'attaque marine:

Les environnements maritimes sont parmi les milieux naturels les plus agressifs vis-à-vis des matériaux à matrice cimentaire. En termes de composition chimique, par exemple, la présence d'ions étrangers à la solution interstitielle, tels que les ions chlore ou magnésium peut conduire à la formation de précipités, la dissolution ou la modification de la structure de certaines phases, au sein de la matrice cimentaire.

A l'échelle de structures en béton armé, des risques de corrosion des armatures sont à considérer, à la suite de la pénétration d'ions chlore ou d'un abaissement du pH de la solution interstitielle.

L'eau de mer est intrinsèquement un milieu modérément agressif chimiquement. Toutefois, dans les zones de marnage et d'aspersion, soumises aux cycles d'humidification/ séchage ainsi qu'aux effets mécaniques des vagues, le milieu doit être considéré comme fortement agressif.

L'eau de mer est constituée de sels chargés en ions chlorures de composés sulfatiques contenant les ions sulfates (SO_4^{2-}), etc. Ces ions sont nocifs au béton lorsqu'ils pénètrent en son sein.

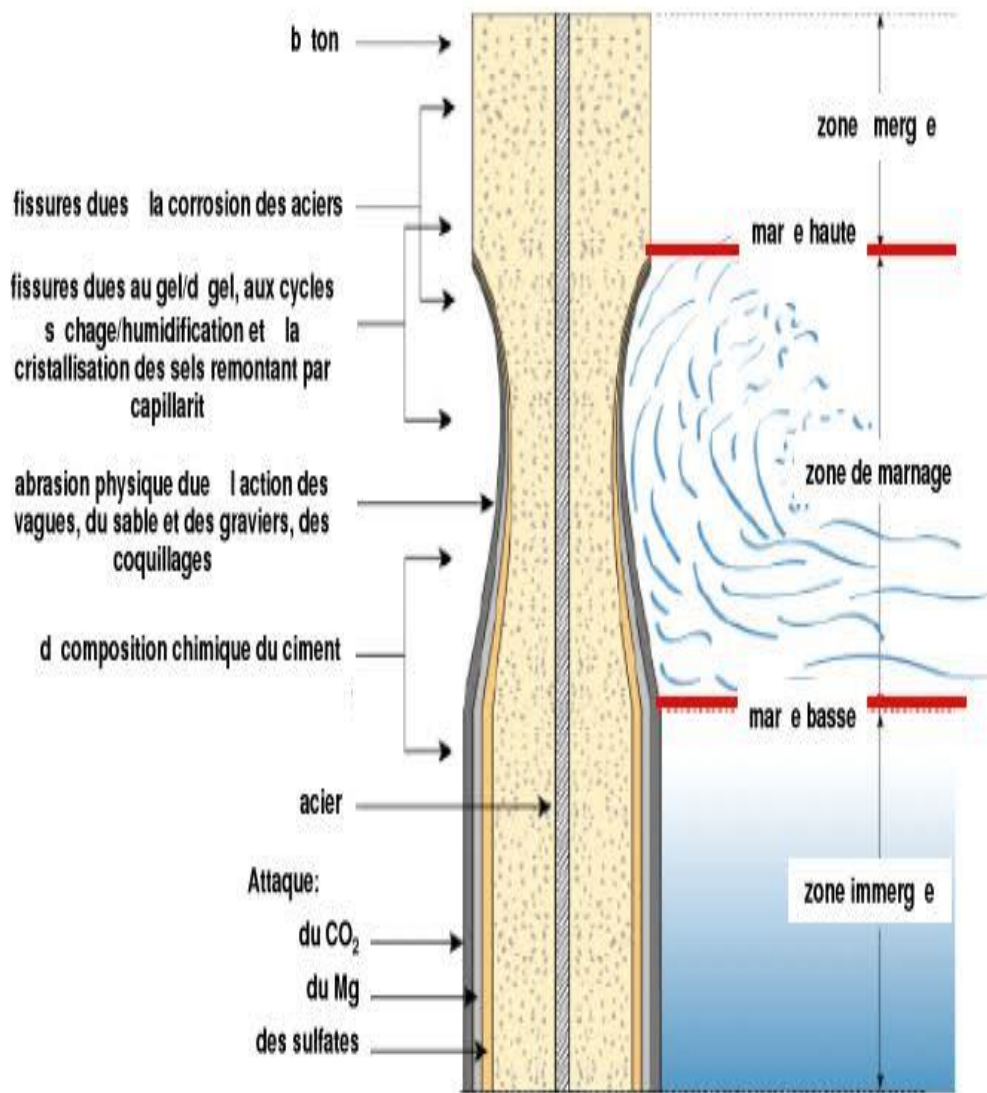
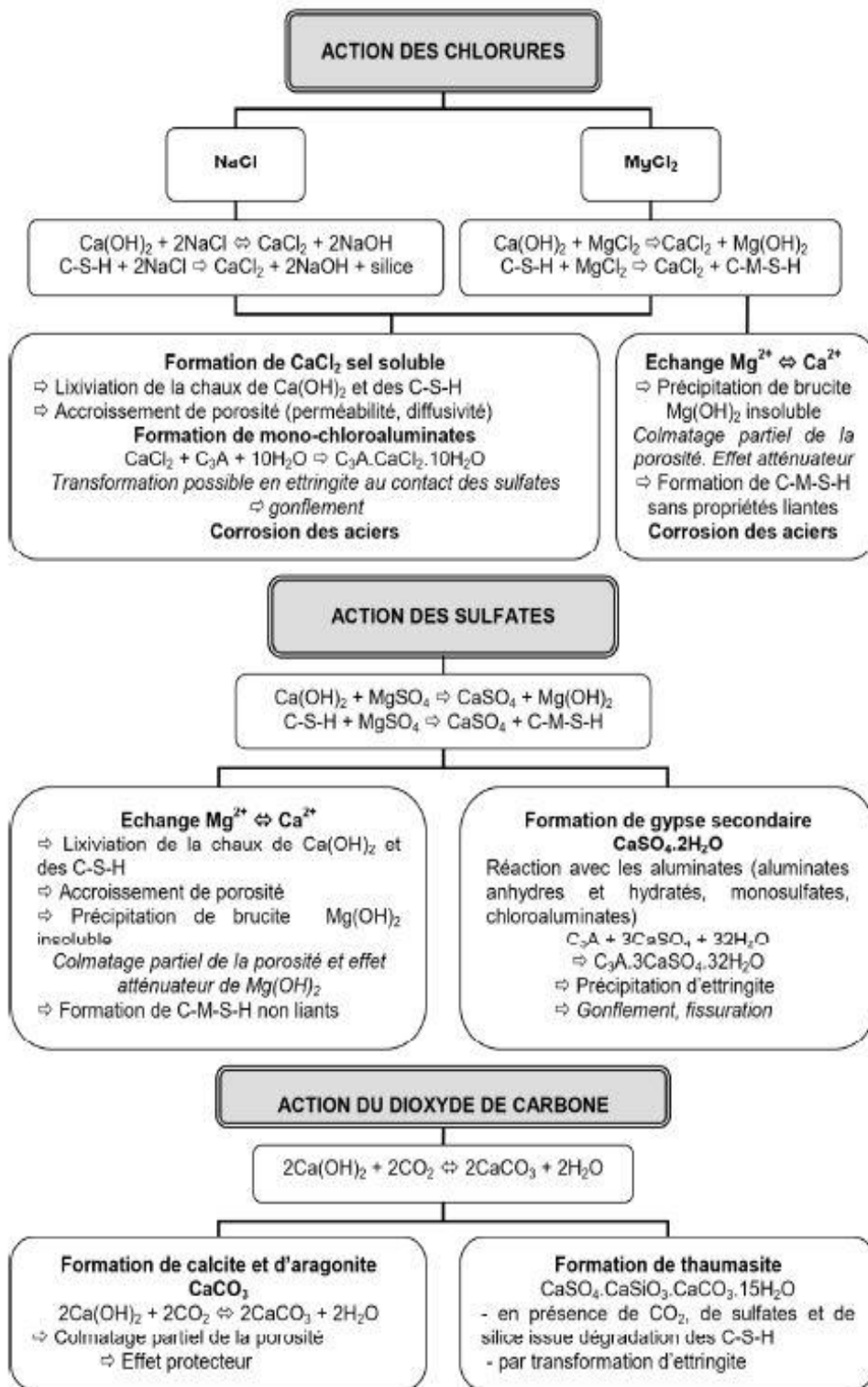


Figure II-9: l'agressivité chimique de l'eau de mer.[53]



Résumé des différentes actions de l'eau de mer sur le béton

Figure II-10: Les différentes actions de l'eau de mer sur le béton. [52]

II-5-1-3- Attaque par les acides :**II-5-1-3-1 Introduction :**

Attaques acides se font principalement suivant un mécanisme de dissolution. Suivant le cas, le phénomène de dissolution peut être accompagné de la précipitation du sel formé lors de la réaction base + acide si le sel est peu soluble.

Ce sel peut avoir un effet colmatant et ralentir les réactions de dissolution.

Le produit final de dégradation par un acide peut-être un gel de silice résultant de la décalcification totale des C-S-H qui, selon Grube et al, peut avoir un rôle protecteur à la surface du béton et ralentir les réactions.

Ces auteurs insistent également sur le fait que les conditions de transport de l'agent agressif sont plus importantes que sa concentration.[48]



Figure II-11: La détérioration des silos-tours en béton due à l'attaque des acides d'ensilage.

II-5-1-3-2 Sources des acides :

Les milieux acides les plus fréquents sont :

- Les eaux naturelles dans les tourbières et les marécages, où le pH peut s'abaisser jusqu'à 4 ;
- Les milieux industriels : dans les industries chimiques ainsi que les industries Agroalimentaires
- Les réseaux d'égouts : l'activité bactérienne conduit au dégagement d'hydrogène sulfuré par la transformation des produits soufrés qui, combiné à l'humidité atmosphérique se condensent sous forme d'acide sulfurique qui va attaquer le béton.
- Les pluies acides, qui contiennent principalement de l'acide sulfurique et de l'acide nitrique, ayant un pH entre 4.0 et 4.5, peuvent provoquer la dégradation de la surface exposée du béton.
- Calciques, aluminiques ou ferriques, ainsi que des acides siliciques colloïdaux (gels de silice).[49]

II-5-1-3-3 Mécanisme d'attaque des acides :

Le béton est très alcalin en nature, il est extrêmement susceptible à l'attaque de L'acide.

Le mécanisme pour ce processus est très simple. De façon générale, les réactions chimiques et/ou l'élimination physique n'endommage qu'un ou deux composants de la pâte de ciment.

Le tableau II-2: mentionne les composants du béton menacés par la corrosion.[47]

<i>Composants du béton</i>	<i>Désignation</i>	<i>Formule chimique</i>
<i>Pâte de ciment</i>	-Hydroxyde de calcium (CH)	-Ca(OH) ₂
	-Silicate de calcium hydraté(CSH)	-3CaO·2SiO ₂ ·3H ₂ O
	-Aluminate de calcium hydraté	-3CaO·Al ₂ O ₃ ·6H ₂ O
	-Aluminate de calcium ferrique hydraté	-6CaO·Al ₂ O ₃ ·Fe ₂ O ₃ ·12H ₂ O
<i>Granulats</i>	-Calcaire (Carbonate de calcium)	-CaCO ₃
	-Dolomite	-Ca Mg(CO ₃) ₂
	-Grès amorphe	-SiO ₂ ·xH ₂ O

On distingue deux types de détérioration:

- a- L'agression résolvante ;
- b- Le gonflement; [48]

❖ Le schéma suivant résume les différentes étapes de l'attaque acide

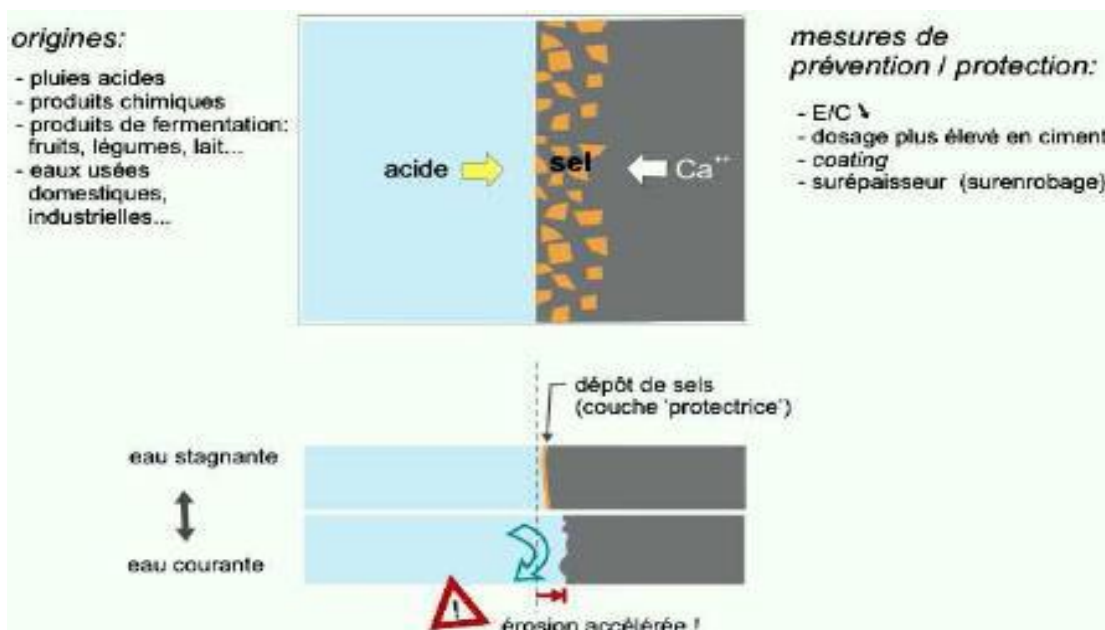


Figure II-12: L'attaque par les acides.

II-5-1-4 Attaque par les ions chlorures:**II-5-1-4-1 Introduction :**

La corrosion des armatures générée par les ions chlorures est la principale cause de dégradation des structures en béton armé. Les chlorures agissent dans les mécanismes de corrosion en diminuant la résistivité de l'électrolyte et en permettant un amorçage plus rapide de la corrosion en dé passivant la couche superficielle. La corrosion qui en résulte sous forme de piqûres à la surface de l'acier est une corrosion localisée. Les chlorures agissent aux zones anodiques, de surface bien plus petite que celles des zones cathodiques, et la vitesse de corrosion sur les zones anodiques s'en trouve fortement augmentée. Une fois la corrosion amorcée, il est bien plus difficile d'y remédier que dans le cas de la carbonatation car le processus est auto catalytique.[48]



Figure II-13 : Agression du béton par activité des chlorures. [54]

II-5-1-4-2 Source de l'attaque des ions chlorures :

Les chlorures présents dans le béton peuvent provenir de deux sources différentes. Soit ils sont présents au moment du gâchage : utilisation d'eau contenant des chlorures ou agrégats contaminés. Soit ils proviennent de l'environnement (atmosphère marine, sels de déverglaçage, produits chimiques) et ont diffusés dans le béton.

Les chlorures existent sous deux formes dans le béton :

- Les chlorures libres qui sont dissous dans la solution interstitielle
- Les chlorures piégés ou liés qui sont combinés à des hydrates du ciment et à des agrégats, ou absorbés physiquement sur les parois des pores. On considère que seuls les chlorures libres peuvent diffuser et jouer un rôle actif dans le processus de dépassivation et de corrosion des armatures. [48]

II-5-1-5 La carbonatation :

II-5-1-5- 1 Définition de la carbonatation :

La carbonatation est un phénomène de vieillissement naturel qui concerne tous les bétons et qui conduit à la formation de carbonates de calcium par réaction entre les composés des ciments (principalement la portlandite) et le dioxyde de carbone atmosphérique (CO₂), présent dans l'air à un taux moyen de 0,03 % en volume, Ce taux est plus important en milieu urbain qu'en milieu rural.

Elle est un phénomène chimique présent dans l'épiderme du béton tout au long de sa vie. La combinaison de l'hydrate de chaux (contenu dans le ciment) et de l'acide carbonique de l'air forme du calcaire en libérant de l'eau, le pH du béton baisse et la corrosion des aciers commence à partir d'une distance de 25 à 30 mm à l'intérieur du béton, il n'y a plus d'échange gazeux grâce aux dépôts de calcaire de la pâte du ciment. Le pH reste stable à une valeur d'environ.

La corrosion ne se manifeste pas. Compte tenu de l'absence d'échanges gazeux, les bétons immergés ne carbonatent pas. Il est à remarquer que des manifestations de carbonatation peuvent survenir sur des faces intérieures de béton lors de climatisation et d'humidification de l'air ambiant.[47]

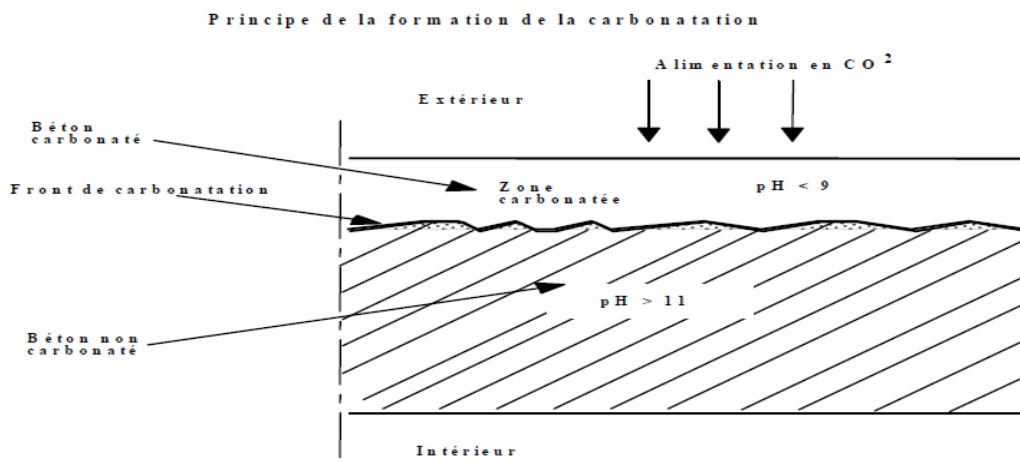


Figure II-14: Coupe théorique d'un mur en béton.[47]

II-5-1-6L'alcali-réaction :**II-5-1-6-1: Définition :**

L'alcali-réaction, que l'on appelle aussi communément réaction alcali-granulat, désigne la réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. Les conséquences macroscopiques de la réaction sont le gonflement des ouvrages atteints qui entraînent de la fissuration et la chute des caractéristiques mécaniques du béton. Ces phénomènes sont préoccupants pour les gestionnaires des structures atteintes car ils mettent en péril la sécurité des personnes et l'exploitation des ouvrages.

De plus, il n'existe aucun moyen d'arrêter la réaction. Ainsi, la prédiction de l'évolution du gonflement et des dégradations des ouvrages atteints et

L'évaluation de l'efficacité et de la périodicité des opérations d'entretien sont des points cruciaux.



Figure II-15 : Agression du béton par activité des d'alcali-réaction.

II-5-1-6-2 Les différents types d'alcali-réaction :

Il est admis que les alcali-réactions se présentent sous trois types : réaction alcali-silice (les plus fréquentes), réaction alcali-silicate, réaction alcali-carbonate.

a- Réaction alcali-silice (RAS) :

Certains granulats siliceux, lorsqu'ils sont constitués de silice amorphe, mal cristallisée ou microcristalline (par exemple des verres, de l'opale, de la calcédoine...) sont attaqués par la solution interstitielle qui occupe les pores du béton. La silice libérée réagit ensuite avec les alcalins Na⁺, K⁺ de cette solution interstitielle et l'on observe finalement, l'apparition de gels silice-alcalins s'ils renferment Si, Na (et ou K) ou calce-silice-alcalins s'ils contiennent, en plus, du calcium.

b- Réaction alcali-silicate :

La différence essentielle avec la réaction alcali-silice réside dans le fait que les granulats réactifs ne sont pas formés de silice libre mais sont des silicates variés (phyllo-silicates, tecto-silicates, sains ou altérés). En ce qui concerne les produits de la réaction, on admet qu'ils sont voisins de ceux apparus dans la réaction al cal silice ; des études plus anciennes signalaient que l'on n'observe pas la production de gels siliceux.

c- Réaction alcali-carbonate :

On désigne par cette expression la réaction manifestée par des calcaires dolomitiques qui renferment des impuretés phylliteuses. Sur le plan pratique, on retiendra que les expansions causées par cette réaction sont moins importantes que celles dues aux réactions alcali-silice et alcali-silicate sauf si le béton est soumis à des ambiances hivernales rigoureuses. [1]

II-5-1-6-3 Conditions d'apparition de l'alcali-granat :

Trois conditions doivent être simultanément remplies pour que ces réactions puissent avoir lieu. Il faut que :

- Le granulat soit potentiellement réactif.
- L'humidité relative excède 80 à 85%.
- La concentration en alcalins dépasse un seuil critique.[47]

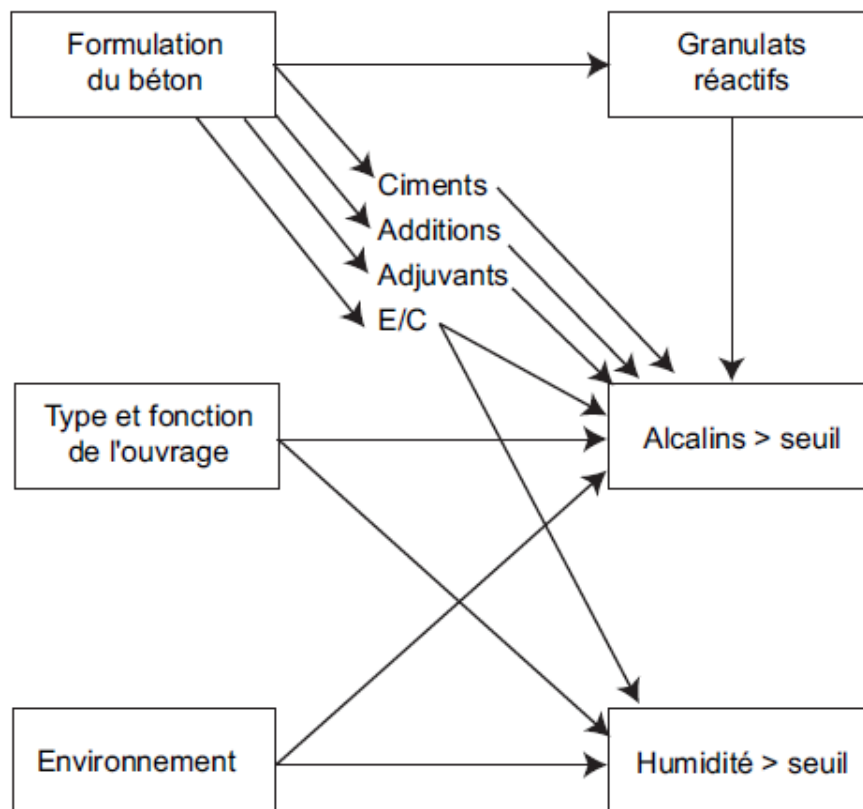


Figure II -16:facteurs intervenant sur l'apparition des 3 conditions nécessaires au déclenchement de l'alcali-réaction.[47]

II-5-1-6-4 Source de cette attaque :

Ces alcalins proviennent d'une part du ciment, et d'autre part, des autres constituants du béton (granulats, eau de gâchage, adjuvants,...).

Initialement, ils sont présents à l'état diffus dans les phases anhydres, et ils se dissolvent à l'état basique ($K+OH^-$, $Na+OH^-$) lors de l'hydratation.[1]

1:La Pathologie et manifestations externes :

-La dégradation du béton des ouvrages résultant du phénomène d'alcali-réaction a été répertoriée dans de nombreux pays. En général les désordres apparaissent à des échéances variables de deux à dix ans ou plus.

2:La pathologie et les manifestations externes se signalent par un ou plusieurs des symptômes suivants :

- Une fissuration ;
- Un faïençage à mailles plus ou moins larges ou en étoile ou une fissuration orientée suivant une direction fonction de la distribution des armatures ;
- Des exsudations blanches formées de calcite et parfois de gels translucides ;
- Des pustules ou cratères avec des éclatements localisés en forme de petits cônes résultant de la réaction de gros granulats superficiels qui sont visibles au fond des cratères d'éclatement;
- Des mouvements et déformations;
- Des colorations ou décolorations.[47]

II-5-1-7La lixiviation en eau douce :

II-5-1-7 -1 Définition :

La plupart des ouvrages peuvent être affectés par des eaux de ruissellement sous l'effet de la pluie, de l'eau de mer, des eaux souterraines et de la neige. Le béton comprend outre les granulats, la pâte de ciment qui est fortement basique avec un pH autour de 12,5 de par sa solution interstitielle. La pâte de ciment est composée de 15 à 20% de portlandite, de silicates de calcium hydratés, d'aluminates et de sulfo aluminates de calcium hydratés.

Les eaux de ruissellement sont en général moins basiques ce qui entraîne un déséquilibre entre le milieu extérieur et le béton. Cela produit des sels insolubles ou solubles (ce qui est plus préjudiciable) puisque la dissolution est associée à un lessivage de la chaux très soluble dans l'eau.

Ce phénomène, appelé lixiviation, s'accroît si le béton contient beaucoup de chaux comme le ciment Portland pur. Il entraîne des dégradations et une fragilisation du matériau en augmentant la porosité interne et en diminuant les propriétés mécaniques du béton. [54]



Figure II-17: Lixiviation du béton. [54]

Conclusion:

Dans cette étude bibliographique, nous avons passé en revue les points susceptibles de :

-La durabilité d'un béton n'est pas une de ses caractéristiques, mais plutôt sa réponse aux charges en service et aux conditions environnementales. Ainsi, la durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, mais aussi de l'agressivité de son environnement.

-Des bétons renforcés de fibres métalliques d'améliorer, sous certaines réserves, les capacités mécaniques du matériau initial béton

Ainsi les fibres améliorent le comportement du béton vis-à-vis de la fissuration. Elle lui confèrent ainsi un comportement ductile et la possibilité de conserver une forte capacité portante résiduelle pour de grandes ouvertures de fissure. Les fibres permettent de limiter le développement de la fissuration et ainsi d'augmenter la durabilité des bétons.

CHAPITRE III:
Caractérisation
des matériaux utilisés

CHAPITRE III : CARACTERISTIQUE DES MATÉRIAUX UTILISÉS**III. INTRODUCTION :**

Nous présente dans ce chapitre les d'efférent qualités et caractéristique des matériaux locaux utilisés, pour la confection du béton , les essais ont été exécutés au laboratoire de génie civil à l'université de m'sila .

Les matériaux utilisés sont :

- Le sable fin de la région de BOUSAADA (OUED MAITAR).
- Deus fraction de gravier concasse (3/8 , 8/16) l'origine calcaire .
- Ciment CPJ 42.5 provenant de la cimenterie de hammam dalaà " m'sila "
- L'adjuvant : MEDAPLAST SP 40 super plastifiant haut réducteur d'eau provenant de la société Granitex – Oued Smar.
- L'ajout : le filler (farine de marbre de fraction 0.08mm)
- Fibre métalliques
- L'eau de gâchage et conservation : eau potable fournie

III .1.SABLE :**III .1.1. origine du sable :**

Le sable a été soumis à plusieurs essais au laboratoire de génie civil de l'université de m'sila , suivant les normes françaises AFNOR .

III .1.2. caractéristique physiques des sables utilisés**III .1.2.1.Masse volumique absolue :**

C'est la masse d'un corps par unité de volume absolu de matière pleine (volume de matière seule, pores à l'intérieur des grains exclus), après passage à l'étuve à 105°C, notée et exprimée en (gr/cm³, kg/m³, T/m³)

➤ Mode opératoire :

- Remplir l'éprouvette échantillon graduée avec un volume d'eau $V_e=140$ ml
- Peser un échantillon sec $M= 120$ g de granulats
- Introduire les granulats dans l'éprouvette graduée en chassant les bulles d'air
- Lire le nouveau volume V

- Calculer la masse volumique absolue : $\rho_s = M/V_1$, $M=120\text{g}$, $V_1 = V - V_e$

- Refaire la mesure 3 fois

Tableau III.1 : La masse absolue de sable.

Essai	M (g)	Ve (cm ³)	V (cm ³)	ρ_s Moy (g/cm ³)
1	120	140	188	2.7
2	120	140	184	
3	120	140	182	

III .1.2.2. masse volumique apparente:

III .1.2.2.1. masse volumique apparente à l'état l'ache :

C'est la masse du matériau par unité de volume compris des vides existant entre les grains.

➤ Mode opératoire :

- on détermine la masse volumique apparente du sable à l'aide d'un entonnoir standardisé de capacité 2 à 2.5 litres.
- On remplit l'entonnoir avec du sable sec.
- On pèse le récipient vide M_1 .
- On place le récipient sous l'entonnoir à une distance de 10 à 15 cm et on le remplit avec du sable.
- Une fois le récipient est rempli, on nivelle la surface du sable et on pèse le tout. soit M_2 ce poids.
- Volume de récipient $V_r = 900\text{cm}^3$

La masse volumique apparente du sable est donnée par la formule suivante :

$$\rho_{app} = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

Tableau III.2 : La masse volumique apparente à l'état lâche en (g/cm³)

Essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _{app} (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
1	116.3	1500.8	1.54	1.53
2		1500.7	1.53	
3		1502.8	1.54	

III .1.2.2.2 . masse volumique à l'état compact :

C'est la masse du matériau par unité de volume après compactage compris les vides restant entre les grains. Généralement elle est supérieure à la masse volumique à l'état lâche.

➤ **Mode opératoire :**

Même méthode que celle de l'état lâche, après remplissage du récipient " après tassement " on soumet ce dernier à 30 secousses manuelles. On complète le remplissage du récipient après le tassement du sable, puis on nivelle ce dernier et on le pèse. Soit M₂ le poids de l'ensemble (sable + récipient), la masse volumique à l'état compacte est donnée par la formule suivant :

$$\rho_c = \frac{(M_2 - M_1)}{V_r}$$

M₁ : Masse du récipient; M₂ :Masse du récipient plus le sable; V_r : Volume du récipient.

Tableau III.3: La masse volumique à l'état compact du sable en (g/cm³).

Essais	M ₁ (g)	M ₂ (g)	ρ _c (g/cm ³)	ρ _{c moy} (g/cm ³)
1	116.3	1591.4	1.64	1.64
2		1590.5	1.64	
3		1598	1.65	

III .1.2.3. porosité : (NF P 18-554)

C'est le volume des vides entre les grains du sable. La porosité peut être déterminée par la formule suivant :

$$p(\%) = 100 - (\text{Masse volumique apparente} / \text{Masse volumique absolue}) * 100$$

$$P = (1 - \rho_{app} / \rho_{abs}) . 100\%$$

III.1.2.4. compacité :

La compacité d'un matériau est une proportion de son volume réellement occupé par la matière solide qui le constitue, c'est-à-dire le rapport du volume absolu des grains au volume apparent du matériau.

La compacité donnée par la formule :

$$C = \rho_{\text{app}} / \rho_{\text{abs}} = 100 - P$$

III .1.2.5. l'indice des vides :

L'indice des vides est le rapport entre le volume du vide et le volume de solide.

$$e = v_v / v_s = p / (100 - p)$$

Avec p en pourcent (%).

Les résultats de la porosité, la compacité et l'indice de vide sont regroupés dans les deux tableaux suivant :

Tableau III.4 : Porosité, compacité et indice des vides.

Porosité P(%)		Compacité C(%)		L'indice des vides E	
Lâche	Compact	Lâche	compact	Lâche	Compact
43	39	57	61	0.75	0.64

III .1.2.6. Equivalent de sable :NF P 18-598

Nous essayons de mettre en évidence la proportion d'impuretés argileuses ou ultrafines contenues dans le sable et le pourcentage de poussières nuisibles et les éléments argileux qui diminuent la qualité du béton et mortier.

➤ Mode opératoire :

- Tamiser une quantité de sable (masse supérieur à 500g).
- Prendre une pesée de 120g.
- Remplir l'éprouvette de solution la vante jusqu'au premier repère (10cm).
- A l'aide de l'entonnoir verser la pris d'essai (120g) dans l'éprouvette et taper fortement à avec la paume de la main afin de chasser toutes les bulles d'air et favoriser le mouillage de l'échantillon.
- Laisser reposer pendant 10 minutes

- Fermer l'éprouvette à l'aide du bouchon en caoutchouc et lui imprimer 90 cycles de 20cm de cours horizontale en 30 secondes à la main à l'aide d'un agitateur mécanique.
- Retirer ensuite le bouchon, le rincer avec la solution la vante au dessus de l'éprouvette, rincer ensuite les parois de celle-ci.
- Faire descendre le tube laveur dans l'éprouvette, le rouler entre le pouce et l'index en faisant tourner lentement le tube et l'éprouvette et en imprimant en même temps au tube un léger piquage. Cette opération a pour but de laver le sable et de faire monter les éléments fins et argileux. Effectuer cette opération jusqu'à ce que la solution la vante atteigne le 2^{ème} repère. laisser ensuite reposer pendant 20 minutes.

A / Equivalent de sable visuel (ESV):

- Après 20 minutes de dépôt de sable, lire la hauteur h_1 du niveau supérieur du flocculant jusqu'au le fond de l'éprouvette à l'aide d'une réglette.
- Mesurer également avec le réglet la hauteur h_2 comprise entre le niveau supérieur la partie sédimentaire et le fond de l'éprouvette.

$$ESV = h_2/h_1 * 100 (\%)$$

Ou' : $h_2 < h_1$ avec : h_1 :sable propre + éléments fins.

B / Equivalent de sable visuel (ESP) :

- Introduire le piston dans l'éprouvette et laisser descendre doucement jusqu'à ce qu'il repose sur le sédiment. a cet instant bloquer le manchon du piston et sortir celui-ci de l'éprouvette.
- Introduire le réglet dans l'encoche du piston jusqu'à ce que le zéro vienne buter contre la face intérieure de la tête du piston . soit h'_2 la hauteur lue et correspondant à la hauteur de la partie sédimentée.

$$ESP = h'_2/ h_1 * 100 (\%)$$

Ou': h'_2 : la hauteur du sable ($h'_2 < h_1$)

Tableau III.5: La classification de la nature du sable en fonction de l'équivalent de sable (E.S).[01]

E.S.V	E.S.P	Nature et qualité du sable
E.S < 65	E.S < 60	Sable argileux : risque de retrait ou de gonflement à rejeter pour des bétons de qualité
65 < E.S < 75	65 < E.S < 70	Sable légèrement argileux de propriété admissible pour des bétons de qualité courante quand on ne craint pas particulièrement le retrait
75 < E.S < 85	70 < E.S < 80	Sables propre à faible pourcentage de farine argileux convient parfaitement pour des bétons de haute qualité
E.S > 85	E.S > 80	Sable très propre : l'absence totale de fine argileuses risque d'entraîne d'un défaut de plasticité du béton qu'il faudra rattraper par augmentation du dosage en eau

Tableau III.6 : Résultats obtenus pour l'équivalent de sable.

Essais	h₁(cm)	h₂(cm)	E.S.V(%)	h₂'(cm)	E.S.P(%)
1	10	8.7	87	8.1	81
2	10.1	8.8	87.12	8.2	81.18
3	10	8.5	85	8.2	82

$$E.S.V(\%) = 86.37\% \quad ; \quad \text{Donc } E.S \geq \mathbf{85} \quad ; \quad E.S.P(\%) = 81.39$$

$$\text{Donc } E.S \geq 80$$

C'est un sable très propre l'absence totale de fines argileuses.

III .1.2.7. teneur en eau :NF P 18-555

Le sable à la capacité de retenir une quantité d'eau très grande (elle peut atteindre 20 à 25% de son poids), si son humidité est comprise entre la limite de 0 à 3%, on l'appelle sec.

➤ **Mode opératoire :**

- Peser un échantillon de sable humide, soit M_h son poids (2000g).
- Laisser l'échantillon dans une étuve à une température dans l'intervalle de 105°C à 110°C pendant 24 heures.
- Peser l'échantillon de nouveau, soit M_s son poids.

La teneur en eau du sable est :

$$W = [(M_h - M_s) / M_s] * 100 (\%)$$

- M_h : poids du sable humide en (g).
- M_s : poids du sable sec en (g) .

Tableau III.7: Teneur en eau de sable utilisé.

Essais	$M_h(g)$	$M_s(g)$	W (%)	$W_{moy}(\%)$
1	2000	1995	0.25	0.26
2	2000	1994	0.3	
3	2000	1995	0.25	

III .1.2.8. Degré d'absorption d'eau : NF P 18-555

Elle est le pouvoir d'un matériau d'absorber et de retenir l'eau, elle est définie en pourcentage d'après la formule suivante.

$$A = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100 (\%)$$

- M_1 : la masse du matériau sec en (g).
- M_2 : la masse du matériau saturé d'eau superficiellement sec en (g).

Tableau III.8 : Absorption d'eau de sable utilisé.

Essais	$M_1(g)$	$M_2(g)$	A(%)	$A_{moy}(\%)$
1	500	506	1.2	2.1
2	500	505	1	
3	500	507	1.4	

III.1.2.9. Analyse granulométrique : NA EN 993-1

L'analyse granulométrique a pour but de déterminer la grosseur et les pourcentages pondéraux respectifs des différentes familles des grains constituant l'échantillon, la distribution en poids des particules d'un granulat suivant leur dimension permet de déterminer sa continuité.



Figure III.1. Matériels utilisés pour l'analyse granulométrique

➤ **Mode opératoire :**

- Prélever (2kg) de matériau sable sec
- Peser chaque tamis à vide à 1g près, soit m_i la masse du tamis.
- Constituer une colonne de tamis propres et secs dont l'ouverture des maille est respectivement de haut en bas : (5-2,5-1,25-0,63-0,315-0,125-0,08-fond).
- Verser le matériau (sable sec) sur la colonne et la fixer soigneusement sur la machine d'agitation mécanique, agité pendant 5 minutes.
- Peser chaque tamis séparément à 1g près.
- Reprendre l'opération pour le tamis immédiatement.
- Ajouter le refus obtenu sur le sixième tamis à R1, soit R2 la masse du refus cumulé du tamis 2 ($R_2 = R_1 + \text{Refus partiel sur tamis}$).
- Poursuivre l'opération avec le reste des tamis pour obtenir les masse des différents refus cumulés R3,R4.....

Le tamisât cumulé est donné par la relation suivant : $T = 100 - R_c$

T: Tamisât en (%)

R_c : Refus cumulés en (%)

Les résultats obtenus sont représentés dans le tableau suivant :

Tableau III.9 : Analyse granulométrique du sable.

Tamis(mm)	Refus partiel(g)	Refus cumulés		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
5	1.1	1.1	0.055	99.945
2,5	154.7	155.8	7.79	92.21
1,25	131	286.8	14.34	85.66
0,63	105.3	392.1	19.605	80.395
0,315	522.9	915	45.75	54.25
0,16	875.3	1790.3	89.515	10.485
0,08	175.2	1965.5	98.275	1.725
Fond	8.7	1974.2	98.71	1.29

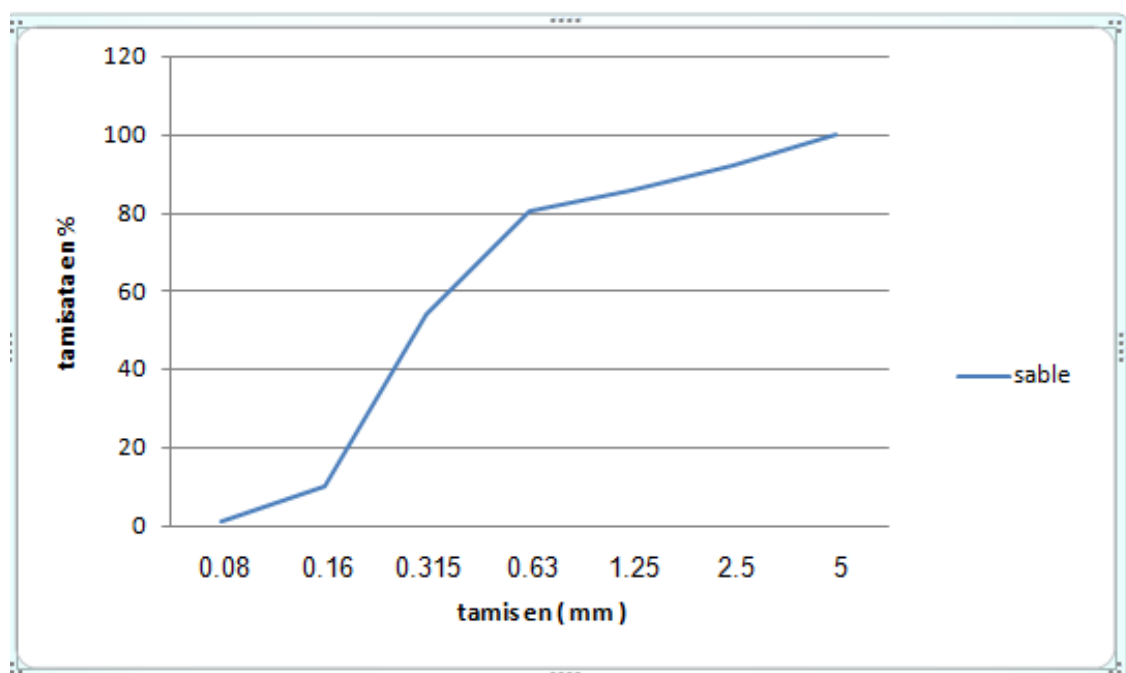


Figure III.2 : Courbe d'analyse granulométrique du sable de Boussaâda.

III .1.2.10. Module de finesse: NA EN 12620

C'est un facteur très important, qui nous permet de juger la grosseur du sable, il est exprimé par le rapport de la somme des refus cumulés des tamis de mailles : (0,16-0,315-0,63-1,25-2,5-5)

$$M_f = \sum(R_c)/100$$

R_c : Refus cumulé.

Tableau III.10: Modules de finesse du sable.[02]

Quantité du sable	Module de finesse
Gros	> 2.5
Moyen	2 à 5
Fin	1.5 à 2
Très fin	1 à 1.5

Les résultats obtenus sont :

$$M_f = (89,515 + 45,75 + 19,605 + 14,34 + 7,79 + 0,055) / 100$$

$$M_f = 1.77$$

On se basant sur cette classification on trouve le résultat suivant sable fin

$$1.5 < M_f < 2$$

C'est un sable fin .

III .1.3. Les caractéristique chimique du sable :

- **Caractéristique chimique du sable :**

La composition chimique de sable est établie en mars 2009, à la cimenterie Lafarge (M'sila). Elle est donnée au (**Tableau III.11**).

Tableau III.11 : Les Caractéristiques chimiques du sable.[03]

Eléments	Symboles	Teneur en (%)
Silice	SiO ₂	86.95
Chaux	CaO	6.33
Oxyde de ferrique	Fe ₂ O ₃	0.90
Alumine	Al ₂ O ₃	1.92
Oxyde de magnésium	MgO	0.53
Pente de fer	P.A.F	2.81
Sulfate	SO ₃	0.44

III .2.GRAVIER :

Dans ce paragraphe, on présente les caractéristiques du gravier utilisé dans notre étude.

III .2.1. Origine de gravier :

le gravier de base utilisé dans la confection du béton est obtenu, par concassage de la roche d'un carrière située à 25 km de M'sila, en allant vers B.B.B (carrière COSIDER).

III .2.1.1. Classes granulaires :

Les fractions du gravier sont :

- Fraction 3/8.
- Fraction 8/16.

III .2.1.2. Résistance à la compression de la roche d'origine :

La roche d'origine, est un calcaire compacte de résistance à la compression, égale à 160g/cm².

III .2.2. caractéristique physique du gravier utilisé :**III .2.2.1. Masse volumique apparente : [NF P 18 – 554]**

Le principe de cette mesure s'agit de remplir un récipient de volume intérieur connu et de peser la quantité de granulats correspondant.

➤ Mode opératoire :

- Verser le granulats dans le récipient choisi et le disposer sous tassement par couches horizontales successives.
- Araser la couche supérieur du granulat à l'aide d'une réglette que d'on anime

La masse volumique apparent est déterminée par la formule suivant :

$$\gamma = \frac{(M_2 - M_1)}{V} :$$

- V : volume du récipient.
- M₁ :le poids du récipient à l'état vide.
- M₂ : le poids du récipient plein de gravier.

Tableau III.12: Masse volumique apparente du gravier .

Gravier	V(l)	M ₁ (Kg)	M ₂ (Kg)	ρ (kg/l)	ρ _{moy} (kg/L)
3/8	7	2.920	12.753	1.405	1.424
		2.920	12.969	1.436	
		2.920	12.936	1.431	
8/16	10	3.486	17.528	1.404	1.392
		3.486	17.243	1.376	
		3.486	17.459	1.397	

III .2.2.2. Masse volumique absolue :

Mode opératoire :

le mode opératoire est le même que l'on a utilisé pour la masse volumique absolue du sable.

Est déterminée par la formule suivante : $\rho_s = M / V_1$, $M=300g$, $V_1 = V - V_e$,

Les résultats sont regroupés dans le (Tableau III.13)

Tableau III.13: La masse volumique absolue du gravier .

Gravier	Essais	M(g)	V _e (cm)	V (cm)	ρ (g/cm ³)	ρ _{moy} (g/cm ³)
3/8	1	300	300	410	2.72	2.68
	2	300	300	410	2.72	
	3	300	300	415	2.60	
8/16	1	300	300	415	2.60	2.64
	2	300	300	415	2.60	
	3	300	300	410	2.72	

III .2.2.3. porosité , compacité et indice des vides :NF P 18-554

On calcule les paramètres (Tableau III.14) est les mêmes formules que le sable.

Tableau III.14: Porosité, compacité et l'indice des vides.

Fraction du gravier	Porosité P (%)	Compacité C (%)	L'indice des vides (e)
3/8	47	53	0.88
8/16	48	52	0.92

III .2.2.4. Degré d' absorption d'eau : [NF EN 1097-6]

Les résultats obtenus en (Tableau III.15). que : $A = [(M_2 - M_1) / M_1] * 100$ (%)

Tableau III. 15 : absorption d'eau des graviers.

Gravier	M ₁ (g)	M ₂ (g)	A(%)	A moy(%)
3/8	500	509	1.8	1.77
	500	509.6	1.92	
	500	508	1.6	
8/16	500	505	1	0.9
	500	504	0.8	
	500	504	0.8	

III .2.2.5. Teneur en eau [NF EN 1097-6] :

Les résultats obtenus en (Tableau III.16). que : $W = [(M_h - M_s) / M_s] * 100$ (%)

Tableau III.16 : Teneur en eau des graviers .

Gravier	M _h (g)	M _g (g)	W(%)	W moy(%)
3/8	500	497	0.6	0.6
	500	495	1	
	500	499	0.2	
8/16	500	497	0.6	0.4
	500	499	0.2	
	500	498	0.4	

III .2.2.6. Analyse granulométrique [NF EN 933-5]:

Les résultats obtenus de chaque fraction du gravie, sont regroupés dans les tableaux ci-dessous :

✓ Fraction 3/8 (1.5 kg) :

Tableau III.17: Analyse granulométrique du gravier fraction (3/8).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
8	29	29	1.93	98.07
6,3	307	336	22.4	77.6
5	363	699	46.6	53.4
4	430	1129	75.26	24.74
3,15	233	1362	90.8	9.2
2,5	84	1446	96.4	3.6
Fond	35.3	1481.3	98.75	1.25

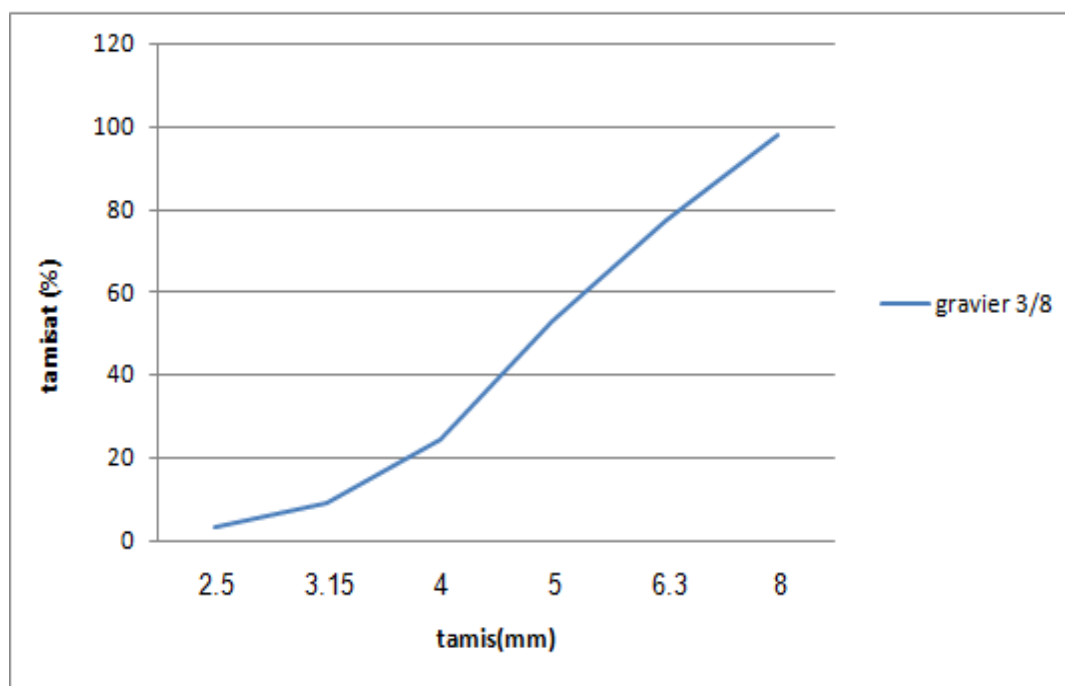


Figure III.3 Analyse granulométrique gravier 3/8.

✓ Fraction 8/16 (1.5kg) :

Tableau III.18 : Analyse granulométrique du gravier fraction (8/16).

Tamis (mm)	Refus partiel (g)	Refus cumulés (g)		Tamisât (%)
		(g)	(%)	
16	71.6	71.6	4.7	94
12.5	485.1	556.7	37.1	62.9
10	648.5	1205.2	80.3	19.7
8	241.7	1446.9	96.4	3.6
6.3	47.4	1494.3	99.6	0.4
5	2.4	1496.7	99.78	0.22
Fond	0.3	1497	99.8	0.2

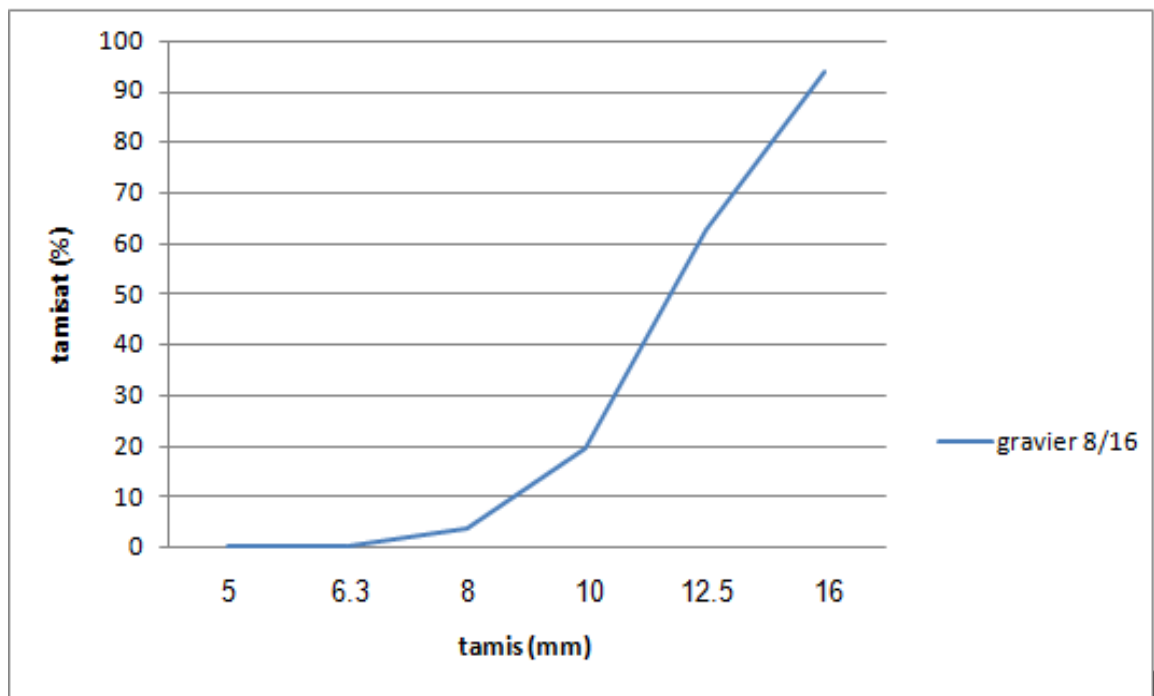


Figure III.4 Analyse granulométrique gravier 8/16

III .2.3.Les caractéristiques mécaniques des graviers utilisés:

Ce sont des essais importants pour les granulats routiers. En effet, le passage pépète de véhicules conduit à émousser, à polir progressivement les granulats et ainsi à diminuer l'adhérence des pneumatique sur la chaussée.

Ces caractéristiques permettent également d'estimer la qualité des granulats utilisés dans la confection de bétons.

III .2.3.1. Essai de résistance au choc (Essai Los Angeles) : NF P18-573.[04]

Comme l'essai précédent, cet essai renseigne sur la dureté des roches se basant sur un coefficient, appelé coefficient Los Angeles L_A , et sur le principe de l'effritement par abrasion.



Figure III.5 Appareil de l'essai Los Angeles.

Principe de l'essai :

l'essai consiste à mésuser la masse m d'éléments inférieurs à 1.6 mm, produits par la fragmentation du matériau testé (diamètres compris entre 4 et 50 mm) et que l'on soumet aux chocs de boulets normalisés, dans le cylindre de la machine Los Angeles en 500 rotations.

Formulation :

Si M est la masse du matériau soumise à l'essai, et m la masse des éléments inférieurs à 1.6 mm produits au cours de l'essai, la résistance à la fragmentation aux chocs s'exprime par le coefficient Los Angeles (L_A) :

$$L_A = (m/M) * 100.$$

Les résultats obtenus sont présents au tableau suivant :

Tableau III.19: Caractéristiques mécaniques du gravier utilisé.

Gravier	Masse initiale M (kg)	Masse m (kg)	Coeff de los Angeles L_A (%)
3/8	5	1.050	21
8/16	5	1.016	20.32

✓ **Classification :**

Le tableau III.20 suivant donne l'estimation de la dureté en fonction du coefficient L_A . [01]

Tableau III.20 : Classification des roches en fonction du coefficient L_A .

Coefficient L_A	Nature de los Angeles L_A
<20	Très dure
20 à 25	Dure
25 à 30	Assez dure
30 à 40	Mis dure
40 à 50	Tendre
<50	Très tender

Gravier 3/8 ($20 < L_A > 25$): c'est un gravier dure $L_A = 21\%$.

Gravier 8/16 ($20 < L_A > 25$): c'est un gravier dure $L_A = 20.32\%$.

III .2.4. caractéristique chimique des graviers utilisés :

La composition chimique du gravier de carrière COSIDER est établie en mars 2004, à la cimenterie de ACC (M'sila). Elle est donnée au (Tableau III.21). [05]

Tableau III-21: Analyse chimique de la pierre concassée.

ELEMENT	SiO ₂	AL ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	K ₂ O	Na ₂ O
TENEUR(%)	40.65	8.87	40.56	3.25	3.65	0.79	0.65	0.01

III.3. Caractéristiques du ciment utilisé :

Le ciment de base utilisé dans notre recherche, est un ciment portland composé de classe 42.5 provient de la cimenterie de Lafarge de M'sila. [03]

III.3.1. Caractéristiques physiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N - ES-)[EN 196-1]:

Tableau III.22 Caractéristiques physiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Les Caractéristiques physiques		Unité	Valeur
Masse volumique absolue		g/cm ³	3.1
Consistance normale		%	26 -28
La finesse (Blaine)		Cm ² /g	4000 – 4200
le Chatelier	A froid	mm	00
	A chaud		2
Temps de prise	Début	H : Min	2:30
	Fin		3:30
Résistance à la compression	2 jours	MPa	18
	7 jours		32
	28 jours		PLUS DE 42.5

III.3.2 . Caractéristiques chimiques du ciment utilisé (CEM III/A 42.5N-ES-)

Tableau III.23 Les compositions chimiques du (CEM III/A 42.5N-ES-).

Oxyde	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O
Teneur%	20.7	4.75	62.92	3.75	1.90	1.98	0.09

III.3.3 . Les caractéristiques minéralogiques du (CEM III/A 42.5N-ES) :

Tableau III.24 Les compositions minéralogiques du (CEM III/A 42.5N –ES-).

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Laitier
Teneur %	59	14	6	10	>60

III.4. Les fibres métalliques:

On a utilisé 2 type de fibres métallique

1) Le MEDAFAC qui est une fibre d'acier :

Les fibres utilisées sont des fibres métalliques fabriquées localement (Ghardaïa), d'acier ondulées (rubans) de section rectangulaire, de masse volumique égale à 1,05 g/cm³ et de longueur respective de 30 mm et de largeur 2 mm.[6]



Figure III .6 Fibres métalliques ondulées

2) Le fill d'attache :

Les fibres utilisées dans ce travail sont de nature, dimensions et géométrie variées. Ces fibres sont incorporées lors du malaxage. Elles constituent un composant filiforme ayant un rapport longueur sur diamètre L/Φ , faible, de faible longueur (25 à 50 mm), d'origine métallique et synthétique. À la différence des armatures traditionnelles, les fibres réparties dans la masse du béton permettent de constituer un matériau qui présente un comportement plus homogène. Selon leur nature, elles ont un comportement ont contrainte-déformation très différent. .[6]

Tableau III.25 Caractéristiques techniques des fibres métalliques à crochets

Caractéristiques	Résultats
forme	Crochets
Diamètre de la fibre	1,00 mm ($\pm 0,04$ mm)
Longueur de la fibre	Variables (50, 30) mm (+2/-3 mm)
Elancement (L/d)	25, 30, 50
Résistance à la traction typique	1 100 N/mm ²
Contenu/Sac	25 kg



Figure III .7: Fibres métalliques à crochets

III.5. L'adjuvant :

Dans notre étude nous avons utilisé l'adjuvant MEDAPLAST SP provenant de GRANITEX-Oued Smar, conformément à FN EN 934-2, Il est un réducteur d'eau de haute gamme, contenant un polycarboxylate modifié. Sa densité est de 1,2 g /cm³ et l'extrait sec est de 40%. C'est un fluidifiant.[07]

Grâce à ses propriétés le MEDAPLAST SP permet :

a)-Sur béton frais

- ✓ D'améliorer l'ouvrabilité à rapport E/C constant (pour un béton témoin ayant un étalement de 3 à 8 cm, MEDAPLAST SP permet d'obtenir un étalement de 12 à 20cm).
- ✓ Réduire la ségrégation.
- ✓ Diminuer le rapport E/C de 10 à 15%.
- ✓ Diminuer le dosage en ciment de 5 à 10%.

b) Sur béton durci

- ✓ Augmenter les résistances mécaniques.
- ✓ Accroître l'imperméabilité.
- ✓ Augmenter la cohésion granulats ciment.
- ✓ Augmenter la durabilité du béton.
- ✓ Obtenir de beaux bétons bruts au décoffrage

Il est également caractérisé par :

- Forme.....Liquide
- Couleur.....Marron
- PH.....8,2
- Densité..... 1,20 ±0,0

- Teneur en chlore.....<1g/L

III.6.Le filler (marbre) :

Le marbre est une roche métamorphique dérivée du calcaire, existant dans une grande diversité de coloris, pouvant présenter des veines, ou marbrures (veines et coloris sont dus à des inclusions d'oxydes métalliques, le plus souvent).[08]



Fig. III.7marbre Caractéristiques physiques de ce filler (marbre) sont présentées au (Tableau III.25) .[09]

Tableau III.26 : Caractéristiques physiques du marbre.

Propriété physiques	Fine marbre
Masse volumique apparent (g/cm ³)	0.83
Densité	2.67
Surface spécifique Blaine (cm ² /g)	448

Composition chimique est établie à la cimenterie Lafarge de M'Sila. Elle est donnée par le tableau suivant :

Tableau III.27: Caractéristiques chimiques du marbre.

Analyse chimique	Fines marbre
SiO ₂	1.47
CaO	55.3

MgO	0.01
Fe ₂ O ₃	0.14
Al ₂ O ₃	0.35
Na ₂ O ₃	0.12
K ₂ O	0.04
So ₃	0.01
Pert de feu	42.56

III.7. L'eau de gâchage Table des matières :

L'eau de gâchage utilisé est une eau potable du laboratoire de génie civil. [03]

Tableau III.28: Caractéristiques chimiques de l'eau de gâchage

La mesure	Teneur en eau (mg/l)
Le temps de prise d'échantillon	10/05/2005 (9 :25)
Degré de température	24.7
PH	7.78
Conductibilité	1799
Chlore Cl ⁻	234.3
Sulfate SO ₄	351.6
Magnésium Mg ²⁺	110.8
Calcium Ca ²⁺	267.2
Sédiment sec	1412
Eligibilité d'oxydation en eau	1024

La composition chimique a été établie le 10 mai 2005 à la cimenterie Lafarge de M'Sila

Conclusion:

Les essais physiques, les analyses chimiques et les analyses minéralogiques effectués dans les différents laboratoires donnent une idée générale sur les caractéristiques principales des matériaux servant à la formulation des bétons qui seront étudiés au chapitre suivant de point de vue rhéologique et mécanique.

La connaissance de ces caractéristiques nous aide d'une façon significative à commenter les résultats des essais expérimentale

CHAPITRE IV :

Techniques Expérimentales

Chapitre IV : Techniques Expérimentales

Introduction :

les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation , fabrication , mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications . certains points restent cependant à améliorer pour en étendre l'emploi.

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

La formulation d'un tel béton est donc plus complexe que celle d'un béton traditionnel et implique une composition spécifique.

Nous avons choisi de présenter différemment les caractéristiques des BAP et d'aborder la complexité du matériau selon ses trois principales caractéristiques :

- La fluidité
- L'homogénéité
- La robustesse

En plus de la capacité à se compacter de lui-même, les propriétés les plus importantes pour la mise en œuvre du BAP sont la fluidité, la viscosité, et la résistance envers la ségrégation.

L'existence de nombreux procédés pour effectuer le contrôle de ces propriétés sur béton frais. Ils vont du complexe et coûteux rhéomètre à béton, jusqu'au simple cône servant la mesure de l'étalement (Slump flow).

Il est possible de caractériser les propriétés rhéologiques d'un béton BAP au moyen du cône servant à la mesure du slump ainsi qu'au moyen de la boîte en L ou de l'entonnoir en V.

Les divers procédés d'essai fréquemment utilisés sont présentés ci- après.

IV.1. Formulation de béton auto plaçant :

Pour la formulation du béton auto plaçant nous n'avons pas suivi une formulation classique.

Nous avons respecté les conditions nécessaires permettant de garantir l'autoplacabilité tout en se basant sur des compositions proposées dans la littérature spécialisée.

Il s'agit de choisir les proportions des constituants dans 1m^3 de béton en ayant comme données les paramètres suivants :

- ✓ Un rapport **G/S = 1**.
- ✓ Un rapport **E/C = 0.5**.
- ✓ Un dosage en ciment plutôt élevé **C = 420 kg /m³**
- ✓ Un pourcentage déterminé en ajouts (superplastifiant, les fillers, ou encore les deux). Le filler **F=10%*C**, et le superplastifiant **SP40=2%*(C+F)**

IV.2. Les constituants présents dans le mélange :

$$\mathbf{G + S + C + E + F + SP = 1000 \text{ liters}}$$

Avec:

$$E/C = 0.5 \Rightarrow E = 420 * 0.5 = 210 \text{ kg/m}^3$$

La masse volumique de l'eau est 1000 kg/m^3 ce qui implique que

$$E = 210 \text{ l/m}^3$$

Si on prend un dosage en F de 10% C on

a

$$F = 10\% * C = 420 \text{ kg/m}^3 * 10\% = 42 \text{ kg/m}^3$$

Le filler utilisé est le marbre, et sa densité absolue égale à 2.67 Ce

qui nous donne en terme de volume : $42 / 2.67 = 15.73 \text{ l/m}^3$

Le dosage du super plastifiant est : $2\% * (C+F) = 2\% * (420+42) \text{ kg/m}^3 = 8.6 \text{ kg/m}^3$

La densité absolue du super plastifiant SP40 est égale à 1.2

Ce qui nous donne en terme de volume : $8.6 / 1.2 = 7.16 \text{ l/m}^3$

La densité absolue du ciment est égale à 3.1

Le volume du ciment est : $420 / 3.1 = 135.48 \text{ l/m}^3$

On peut calculer les proportions des graviers et du sable :

Le volume de la pate pour 1m^3 de béton est :

$$C + E + F + SP = 135,48 + 210 + 15,73 + 7,16 = 368.37 \text{ litres}$$

Le volume des granulats pour 1m^3 de béton est :

$$G + S = 1000 - 368.37 = 631.63 \text{ litres}$$

Avec $G/S = 1$

Avec $G/S = 1$

On a donc: $G = S = 315.815 \text{ l/m}^3$

Pour les deux fractions du gravier on a choisi d'utiliser 50% de G8/16 et 50% du G 3/8

Gravier (3/8) : $50\% = 157.907 \text{ l/m}^3$

Gravier (8/16) : $50\% = 157.907 \text{ l/m}^3$ et

pour le Sable : $S = 315.815 \text{ l/m}^3$ En

terme de poids on a :

Gravier (3/8) = $157.907 * 2.67 = 421.61 \text{ kg/m}^3$

Gravier (8/16) = $157.907 * 2.68 = 423.19 \text{ kg/m}^3$

Sable = $315.815 * 2.627 = 829.64 \text{ kg/m}^3$

Tableau IV.1: La composition des matériaux pour 1m^3 de béton.

Composant	Composant en volume (l/m^3)	Composant en masse volumique (kg/m^3)
Gravier 3/8	157.90	421.61
Gravier 8/16	157.90	423.19
Sable	315.815	829.64
Ciment	135.48	420
Eau	210	210
Super plastifiant SP40	7.16	8.6
Filler (marbre)	15.73	42

IV .3. Les compositions des différents bétons d'étude :

Nous avons confectionnés 4 mélanges différents de BAP.

BAPT : Béton auto plaçant témoin .

BAPF1 : Béton auto plaçant avec 0.5 % de fibres métalliques en fil d'attache de 5 de longueur .

BAPF2 : Béton auto plaçant avec 0.5% de fibres métalliques MEDAFAC de GRANITEX de 5 cm de longueur .

BAPF3 : Béton auto plaçant avec 0.5% de fibres métalliques fil d'attache de 5cm de longueur et 0.5% de fibres métallique MEDAFAC de GRANITEX de 5 cm de longueur .

.4.Essais de caractérisation Rhéologique des BAP :

IV .4.1. A l'état frais :

L'ouvrabilité des bétons se décompose en trois caractéristiques principales

- Mesure d'étalement au cône d'Abrams.
- Essais de stabilité au tamis.
- Essais de la boîte en l'écoulement en milieu confine.
- La masse volumique du béton auto-plaçant.

IV .4.1.1 Mesure d'étalement au cône d'Abrams:

IV .4.1 But L'essai:

d'étalement au cône permet de mesurer la consistance d'un béton.

IV .4.2 Appareillage :

Table d'étalement : table mobile, comportant un plateau plan et carré d'au moins 900 mm de côté, qui est destiné à recevoir le béton. Le plateau de la table d'étalement doit être recouvert d'une plaque en acier inoxydable, d'une épaisseur minimale de 2 mm, non attaquable par la pâte de ciment. Le plateau doit être conçu de façon à éviter toute déformation de la plaque en inox. Le centre de la table doit être marqué de deux cercles concentriques centrés de (210 ± 1) mm et de (500 ± 1) mm de diamètre.

Cône d'Abrams: moule en métal non directement attaquable par la pâte de ciment, d'une épaisseur min. de 1,5 mm. La paroi intérieure du moule doit être lisse, sans aspérités telles que des protubérances de rivets et sans déformations locales. Le moule doit avoir la forme d'un tronc de cône creux aux dimensions intérieures suivantes :

- diamètre de la base : (200 ± 2) mm ;
- diamètre du haut : (100 ± 2) mm ;
- hauteur : (300 ± 2) mm.

Les deux extrémités sont ouvertes, parallèles, et situées dans un plan perpendiculaire à l'axe du cône. Le moule doit être suffisamment lourd ou muni, à sa partie inférieure, de pattes d'appui afin de le rendre immobile durant le remplissage.[1]

Entonnoir, en matériau non absorbant et non directement attaqué par la pâte de ciment, ayant un collier permettant à l'entonnoir d'être placé correctement sur le cône d'Abrams spécifié ci dessus.

*Règle, graduée de 0 à 900 mm, avec des graduations de 5 mm, le zéro étant situé à une extrémité de la règle.

*Seau d'une capacité minimale de 10 litres et muni d'un bec verseur.

* Truelle.

*Chiffon humide.

* Minuterie ou horloge capable de mesurer à 1 s près.

* Main-écope.

* Niveau.

IV .4.3 Mode opératoire :

S'assurer que le plateau est placé sur un support stable et horizontal.

Humidifier la surface de la plaque ainsi que le cône d'Abrams (éliminer l'eau en excès avec le chiffon humide il y a lieu de ne plus avoir d'eau libre en surface de la plaque et du moule).

Placer et centrer le cône d'Abrams sur le plateau.

Prélever un échantillon de béton représentatif.

Le prélèvement est réalisé à l'aide d'un seau directement à la goulotte du mixer. S'il y a lieu d'utiliser une brouette, l'échantillon global doit être ré-homogénéisé à la main écope avant de constituer l'échantillon réduit (remplissage du seau).

Equiper la partie supérieure du cône de l'entonnoir. Remplir le cône en déversant de manière continue, à l'aide du seau, jusqu'à l'arase supérieure du cône.

Retirer l'entonnoir, araser si nécessaire à l'aide d'une truelle et nettoyer la plaque si nécessaire avec un chiffon humide.

Soulever le cône verticalement. L'enlèvement du moule doit se faire, par une remontée verticale régulière sans imprimer au béton un mouvement latéral ou de torsion, en maximum 5 s. Maintenir le moule au-dessus du béton minimum 10 s et à une hauteur (par rapport à la base du moule) de maximum 30 cm. L'ensemble des opérations, depuis le début du remplissage jusqu'à l'enlèvement du moule, doit être réalisé sans interruption et terminé en moins de 150 s.

Une fois que le béton s'est étalé sur la table, mesurer (au centimètre le plus proche) l'étalement selon deux diamètres perpendiculaires.

Noter ces deux valeurs D1 et D2.

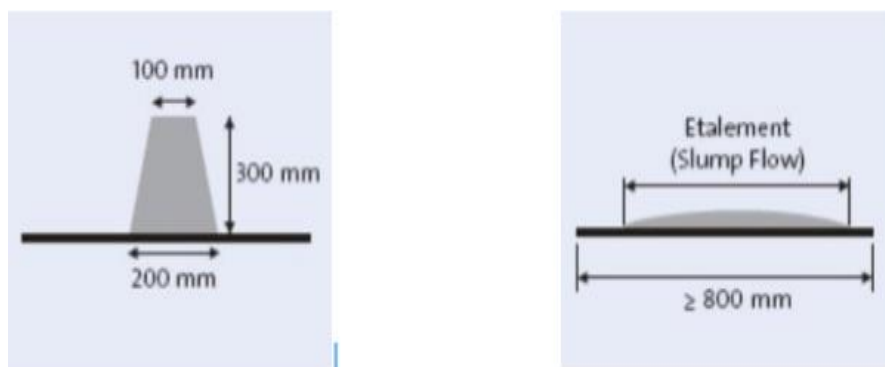


Figure. 1 : Essai d'étalement d'un BAP.

Si les deux valeurs diffèrent de plus de 5 cm, l'essai doit être rejeté et reconduit. • Exprimer le résultat final en terme de moyenne des deux valeurs obtenues, en arrondissant au centimètre supérieur.

- On peut également chronométrer la valeur du T50 (temps nécessaire après soulèvement du cône pour que le béton atteigne le cercle de 50 cm).

- Après mesure de l'étalement, un contrôle visuel de la galette de béton peut aussi s'avérer intéressant. En effet, les gros granulats doivent être apparents à la surface du mélange et être uniformément répartis. De plus, sur le pourtour de la galette, il ne peut y avoir une auréole de laitance.

4.2 Essai de stabilité au tamis NF EN 12 350-11: [2]

Cet essai permet d'étudier la résistance à la ségrégation et au ressuage du BAP, qui doit être stable sous l'effet de la gravité. Il consiste à déverser une quantité de béton (2 litres) sur un tamis (de maille 5 mm) avec une hauteur de chute de 50 cm. Le pourcentage en poids de laitance ayant traversé le tamis par rapport au poids de l'échantillon initial exprime la stabilité du béton. Ce rapport doit être compris entre 10 % et 20 %



Figure. IV. 2 : Essai au tamis.

Objet de l'essai :

Cet essai vise à qualifier les bétons autoplaçant vis-à-vis du risque de ségrégation. Il peut être utilisé en phase d'étude de formulation d'un béton autoplaçant en laboratoire, ou pour le contrôle de la stabilité du béton livré sur chantier.

Cet essai complète les essais permettant d'apprécier la mobilité, en milieu confiné ou non, en caractérisant la stabilité.

Matériel utilisé :

- Seau de 10 L + couvercle
- Tamis 5 mm diamètre 315 mm + fond
- Balance : précision minimale 20 g, portée minimale 20kg

Mode opératoire :

- Echantillonnage :
- En laboratoire : Malaxer, verser directement 10 litres de béton dans le seau.
- Temps d'attente entre l'arrêt du malaxeur et le prélèvement <30s.
- Sur chantier, BPE amené par camion malaxeur : Malaxer à grande vitesse pendant 1 minute.
- Remplir le seau avec 10 litres de béton directement depuis la goulotte du camion.
- Sur chantier avec centrale, mise en œuvre à la benne : Prélever 10 L de béton en tête de benne à la main écope pour remplir le seau.
- Couvrir le seau pour protéger le béton de la dessiccation.
- Attendre 15 mn.
- Peser le fond et le tamis à vide.
- Peser le fond seul.
- Poser tamis+fond sur la bascule.
- Faire la tare.
- Observer et noter l'éventuelle présence d'eau claire de ressuage à la surface du seau après les 15mn.
- Verser sur le tamis un poids de béton égal à 4,8 kg - tolérance ± 0.2 kg ; verser ce béton au centre du tamis : hauteur de chute du béton de 50 cm ± 5 cm.
- Noter le poids réel lu de l'échantillon.
- Attendre 2 mn.
- Faire la tare.

Peser le fond avec la laitance :

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

Critères d'acceptabilité :

Les critères qui suivent sont particulièrement adaptés aux applications de béton auto plaçant en éléments verticaux. La mesure de pourcentage de laitance conduit à classer les formules de béton auto plaçant de la façon :

- $0\% \leq \%P \text{ laitance} \leq 15\%$ **stabilité satisfaisante.**
- $15\% < \% P \text{ laitance} \leq 30\%$ **stabilité critique** (essai de ségrégation à réaliser in situ)
- $\% P \text{ laitance} > 30$ **stabilité très mauvaise** (ségrégation systématiquement, béton inutilisable).Par ailleurs, la détection d'eau de ressuage lors de l'essai n'est pas acceptable.

Cela induit des risques de tassement, de délavage du parement et d'altération de la perméabilité .

IV .4.3 Essais de la boîte en L :

La cohésion armée peut se mesurer avec l'essai de la boîte en forme de L.

Cet essai permet de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des blocages de granulats en amont des armatures. La méthode consiste à remplir de BAP la partie verticale d'une boîte, puis en levant une trappe à laisser le béton s'écouler dans la partie horizontale à travers un ferrailage (le nombre et le diamètre des du béton, sa mobilité en milieu confiné et son aptitude à traverser une zone fortement armatures peuvent être adaptés pour traduire le ferrailage réellement présent dans la structure). Après écoulement du béton, on mesure la différence de hauteur dans la partie verticales (H1) et horizontale (H2). Le résultat de l'essai s'exprime par le taux de BAP.[Remplissage H2/H1. Une valeur de ce rapport supérieur à 0.8 traduit un bon écoulement. [3]

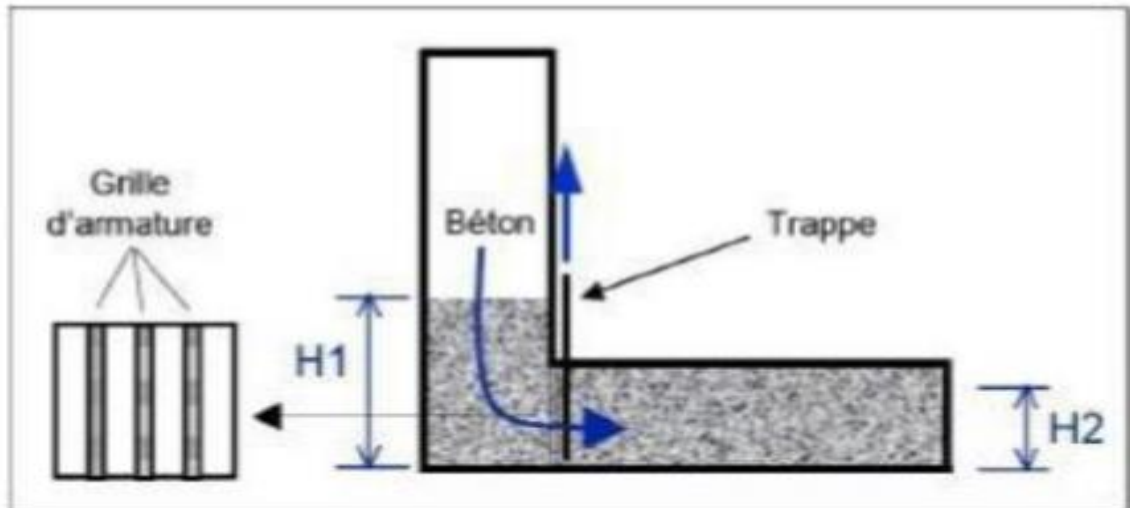


Figure .IV.3 : Essai de boîte en L.

Objet de boîte en L :

La boîte en L permet de tester la mobilité de béton en milieu confiné et de vérifier que la mise en place du béton ne sera pas contrariée par des phénomènes de blocage inacceptables.

Matériel utilisé :



Figure .IV.4 : Essai de Boîte en L exécutés au laboratoire.

Mode opératoire :

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

Quand le béton ne s'écoule plus, on mesure les hauteurs H1 et H2 (figure IV.4) et on exprime le résultat en terme de taux de remplissage H2/H1.

Lorsque le béton s'écoule mal à travers le ferrailage et qu'il se produit un amoncellement de granulats en aval de la grille, c'est le signe d'un problème de blocage ou de ségrégation.

A noter que les temps nécessaires pour des écoulements horizontaux respectifs de 20 cm et 40 cm (à matérialiser sur le fond de la boîte en L) peuvent être mesurés pour estimer la viscosité du béton.

IV .4 La masse volumique du béton auto-plaçant :

Voir été essuyées ou nettoyées, les éprouvettes sont pesées avec une erreur inférieure à 1/1000

.La masse volumique est alors calculée en divisant sa le volume de l'éprouvette

C'est-à-dire : $\rho = M/V$.

La masse volumique exprimée en kg/dm³ car-la densité.

Conclusion :

Le quatrième chapitre est consacré à l'étude expérimentale, dans laquelle nous présentons les matériaux, le matériel utilisé dans notre travail et les essais qui ont été effectués dans laboratoire, la méthode utilisée est la méthode dite " AFGC", utilisée pour le calcul des masses des composantes du béton auto plaçant de référence.

La méthode de formulation AFGC par sa simplicité dans l'application (exige moins de compétence et de matériels) a prouvé son efficacité pour la formulation des BAPF, avec l'obtention de meilleures caractéristiques rhéologiques et mécaniques, elle peut être donc utilisée comme une méthode principale dans la formulation des BAPF.

Les connaissances acquises depuis l'apparition des BAP et la meilleure maîtrise de toutes les étapes (formulation, fabrication, mise en œuvre et contrôle) sont suffisantes pour permettre l'utilisation de ces bétons dans de nombreuses applications.

Dans cette partie, on s'intéresse à l'étalement du béton auto plaçant on utilisant le cône d'Abrams. Puis la fluidité (la capacité de remplissage) on utilisant la boîte en L et la résistance à la ségrégation par l'essai de stabilité au tamis.

CHAPITRE V:

Résultats et discussions

Chapitre V : Résultats et discussions

V. Introduction :

Cette partie a dans un premier temps, pour but de développer les étapes de formulation et de confection des différents bétons. Ensuite, de s'intéresser aux essais sur béton, permettant ainsi de caractériser leurs performances physiques et mécaniques et d'évaluer le comportement des bétons autoplaçants renforcé par des fibres métalliques par rapport aux bétons autoplaçants.

Pour cela on a choisi de faire varier quelques paramètres tels que la nature des fibres (deux types de fibre) et un dosage en ciment constant. Afin de voir l'influence de la nature, le pourcentage de fibres sur les propriétés du béton autoplaçant fibré à l'état frais.

Les formulations des bétons réalisés sont les suivantes :

BAPT : Béton auto plaçant témoin .

BAPF1 : Béton auto plaçant avec 0.5 % de fibres métalliques en fil d'attache de 5 cm de longueur .

BAPF2 : Béton auto plaçant avec 0.5% de fibres métalliques MEDAFAC de GRANITEX de 5 cm de longueur .

BAPF3 : mélange de Béton auto plaçant avec 0.5% de fibres métalliques fil d'attache de 5cm de longueur et de fibres métallique MEDAFAC de GRANITEX de 5 cm de longueur .

V.1. Résultats des essais à l'état frais :

Le but de notre est l'étude de l'influence du de fibres sur les propriétés d'un BAP fibrés à l'état frais .

Tableau .V.1. : Résultats d'essais sur les bétons frais.

Type de béton	L'étalement (cm)	Stabilité au tamis (%)	La boîte en L (H ₂ /H ₁)	Masse volumique (kg/m ³)
BAPT	68	9.94	0.67	2274
BAPF1	67	8	0.64	2281
BAPF2	67	10.3	0.65	2295
BAPF3	66	11.46	0.84	2304

V.1.1.Essai d'étalement au cône d'Abrams :

Cet essai caractérise la fluidité du béton.

Les résultats obtenus sont représentés sur la **Figure. V.1**

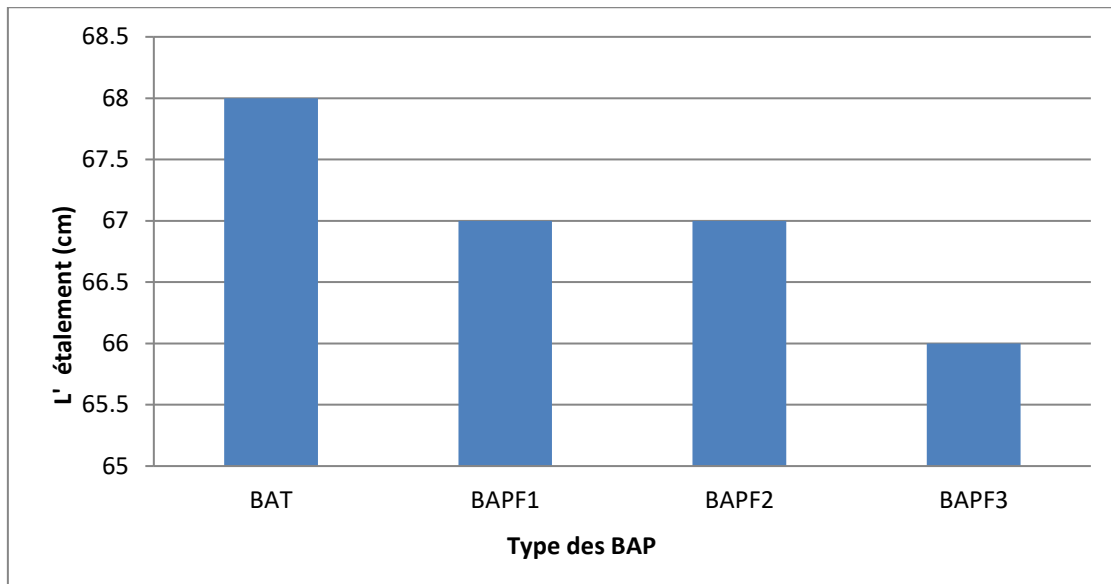


Figure .V.1 : L'étalement en fonction des béton (BAP).

Commentaire :

Les valeurs d'étalement sont habituellement fixées entre 60 et 75 cm. Plusieurs types de BAP présentent des valeurs d'étalement comprises entre ces deux valeurs.

Les résultats obtenus et présentés sur la figure .V.1 montrent que tous les bétons ont des valeurs d'étalement situées à l'intérieur du domaine des BAP. L'influence des fibres métalliques sur l'écoulement des bétons est fonction de leur dosage et de leur type. En revanche, les particules fines de l'addition poudre de marbre remplissent les vides disponibles entre les particules du mortier, augmentant ainsi la compacité du mélange en améliorant l'arrangement total des particules dans la matrice. Par conséquent, la quantité d'eau qui occupait les vides est libérée dans la solution interstitielle, ce qui se traduit par une meilleure fluidité. Cependant, au-delà d'un dosage critique en fibres, les frictions entre particules sont de plus en plus importantes.

En mélange des fibres est obtenu l'étalement inférieur par rapport à BAT et BAPF1, BAPF2 et la fluidité de béton diminue.

V.1.2.Indice de ségrégation:

Cet essai caractérise la capacité d'un BAP à rester homogène après sa mise en place jusqu'au début de prise .

L'essai est celui dit " de stabilité au tamis " qui consiste à évaluer le pourcentage en masse de laitance d'un échantillon de béton passant à travers un tamis de 5 mm.

Les critères d'acceptabilité d'une formulation de BAP sont divisés en 3 classes.

- $0 < p_{\text{laitance}} < 15\% \implies$ stabilité satisfaisante.
- $15 < p_{\text{laitance}} < 30\% \implies$ stabilité critique
- $p_{\text{laitance}} > 30 \implies$ stabilité très mauvaise.

les résultats obtenus des essai sont représentés la **Figure V.2**

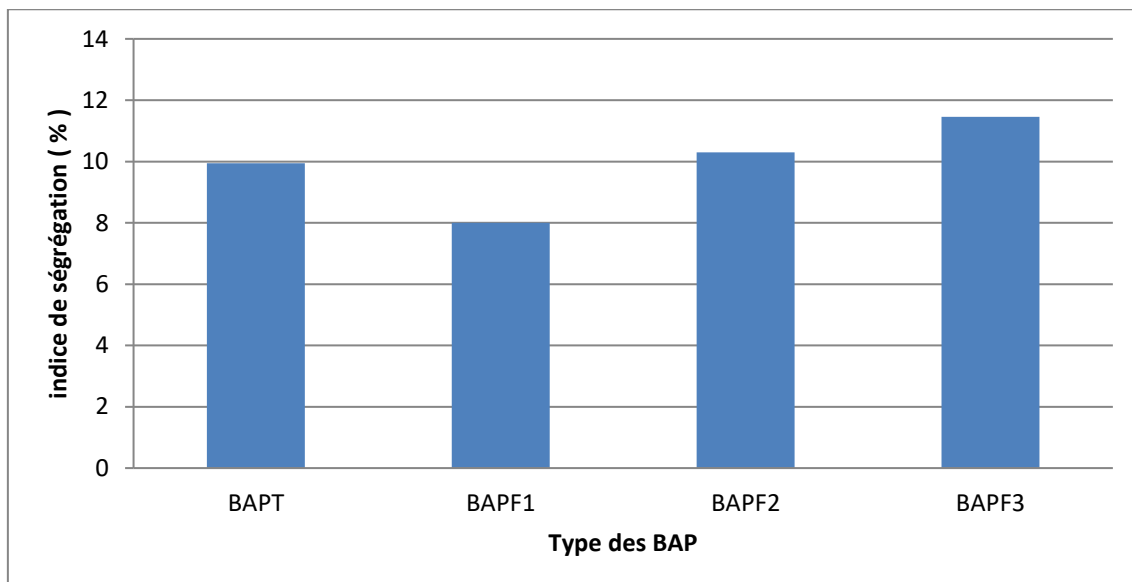


Figure V.2 : l'indice de ségrégation en fonction des bétons BAP .

Commentaire :

A partir des résultats on constate que les BAP présentant un indice < inférieur à 15% c.à.d. les différents BAP présentent une stabilité satisfaisante.

V.1.3.Essais de la boîte en L :

L'objectif de cet essai est de déterminer la capacité du béton à s'écouler dans une zone confinée , sans qu'il soit contrarié par des phénomènes de blocage inacceptable.

Les résultats obtenus de cet essai (pour les différents mélanges des béton formulés) sont représentés sur la **Figure .V.3**

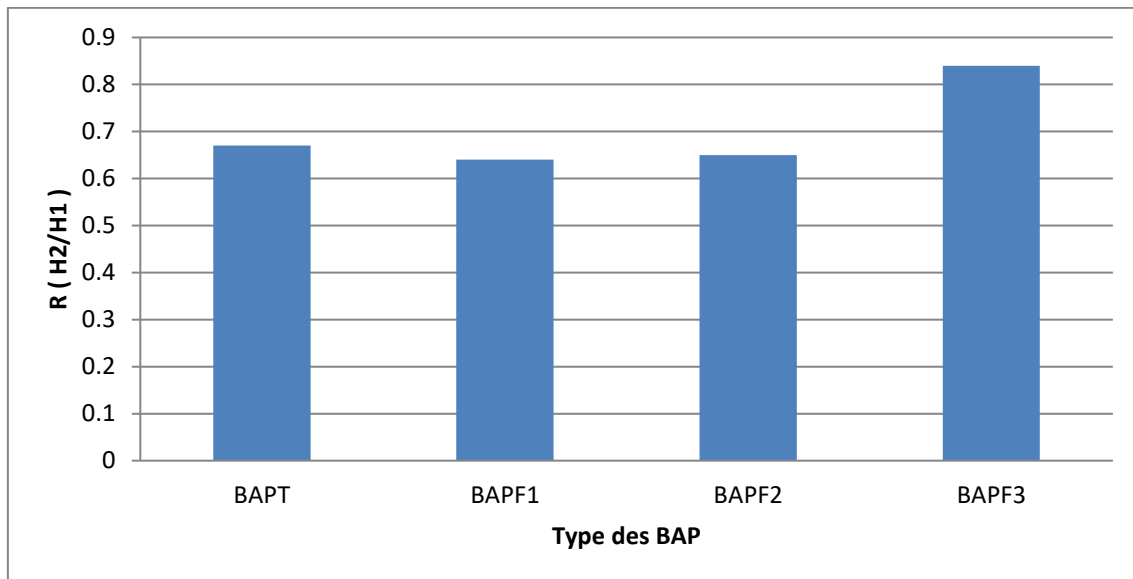


Figure V.3 : le taux de remplissage en fonction des bétons (BAP).

Commentaire :

L'essai est exploité au travers du taux de remplissage (rapport des hauteurs de béton et en début de la boîte) qui doit en principes être supérieur à 0.8 tous nos BAP respectent cette condition.

V.1.4. La masse volumique :

Pour caractériser la compacité des différents bétons on détermine la masse volumique. Les résultats obtenus sont représentés sur le (figure V.4).

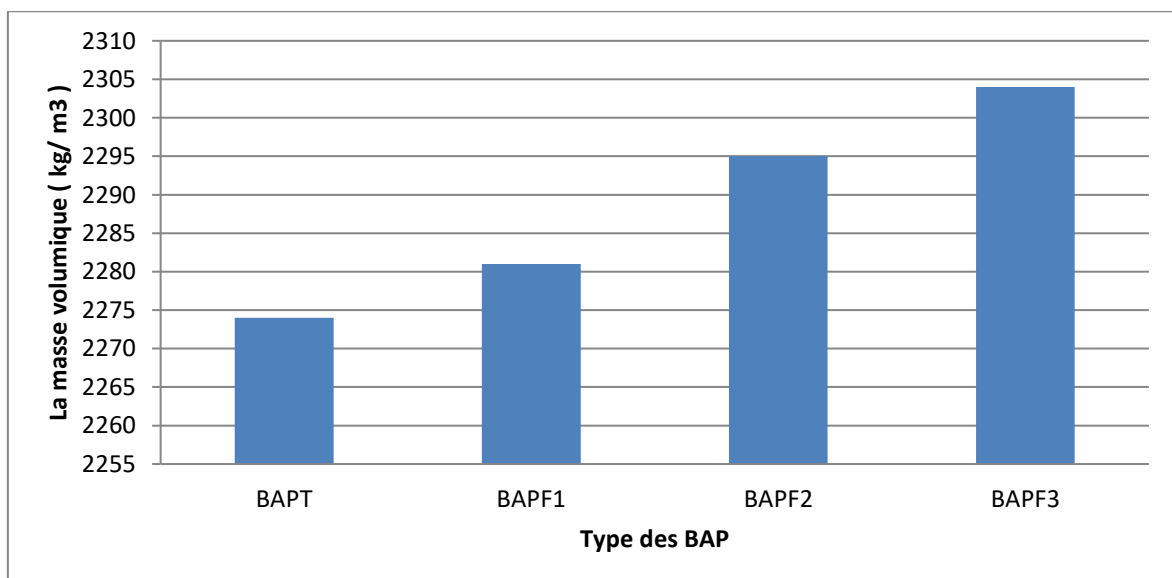


Figure .V.4: la masse volumique en fonction des bétons (BAP).

Commentaire :

A partir des résultants obtenus on constat que la masse volumique des BAP fibrés est supérieur à la masse volumique du béton témoin ceci du à la présence des fibres.

Conclusion :

Le cinquième chapitre est consacré aux résultats et analyses obtenus lors de cette étude ainsi que les intérêts techniques d'un BAP et BAP fibré.

L'objectif de notre travail consiste à réaliser un béton auto plaçant fibré les essais caractéristiques effectués sur les béton frais ont prouvé une maniabilité et stabilité satisfaisantes des BAP contenant de fibre métallique .

Les étalements des bétons out plaçant testés sont supérieur à 60 cm, le taux de remplissage de la boîte en L , la laitance est inférieure de 15% la stabilité au tamis est considéré comme satisfaisante.

CONCLUSION GENERALE

ET

PERPECTIVES

CONCLUSION GÉNÉRALE

L'objectif de ce travail était de faire une étude bibliographique sur la durabilité des bétons autoplaçants fibrés en plus et comme exemple expérimentale d'évaluer les propriétés rhéologiques d'un béton autoplaçant formulé et renforcé par deux types de fibres métalliques (Fibres d'attacher et fibres ondule), afin de voir l'influence de ces fibres sur les propriétés du béton autoplaçants fibré à l'état frais.

Les BAP sont des bétons très fluide et homogène, les principaux avantages des BAP sont leur mise en place sans vibration, les essais mis au point pour caractérisé le BAP à l'état frais concernent deux propriétés essentielle et indissociable : la fluidité et l'homogénéité.

Les fibres métallique sont utilisés dans le béton pour limité la propagation des fissures et produire un matériau plus ductile.

La durabilité d'un BAP n'est pas une de ses caractéristiques, mais plutôt sa réponse aux charges en service et aux conditions environnementales. Ainsi, la durabilité d'un béton dépend d'une multitude de caractéristiques du matériau, mais aussi de l'agressivité de son environnement.

L'étude expérimentale du béton autoplaçant à l'état frais, nous a permis de comprendre la formulation, la caractérisation, ainsi que l'influence des fibres métalliques et les ajouts sur les propriétés rhéologiques, et nous a permettent de tirer les conclusions suivantes :

Nous recommandons d'utiliser une formulation du béton autoplaçant avec $E/C=0.5$ et dosage en ciment 420 kg/m^3 pour avoir une grande fluidité et une bonne stabilité et de pourcentage des fibres (0.5%) de volume de mélange.

La composition des bétons autoplaçant donne une grande fluidité sans ségrégation et sans ressuage qui constituent d'ailleurs leurs spécificités.

L'étude du béton auto plaçant à l'état frais basée sur les essais d'étalement, la boîte en L et l'essai de stabilité au tamis et la masse volumique, donne des résultats qui correspondent aux critères des recommandations en vigueur.

CONCLUSION GENERALE ET PERSPECTIVES

Les étalements des bétons autoplaçants testés est varié entre (660 et 710 mm), le taux de remplissage de la boîte en L est supérieur 87 %, la laitance est inférieure de 15 % selon le critère d'acceptabilité, la stabilité au tamis est considérée comme satisfaisante, et la masse volumique (ne dépasse pas 2304 kg/m^3).

Perspectives :

A l'issu de ce travail plusieurs perspectives se présentent comme :

- Etudier le comportement des BAPF avec des fibres mixtes (MEDAFAC et fil d'attache) ;
- Etudier la durabilité du BAPF dans les milieux agressifs ;

Les références bibliographiques

- [1]- Ferhati Taieb «**Durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressive (acide sulfurique) influence du rapport G/S** » mémoire master, université de M'silla 2015.
- [2]- Hamdi Amal «**ETUDE DE L'INFLUENCE DES ADDITIONS ET DES ADJUVANTS SUR LES PROPRIETES AUX ETATS FRAIS ETDURCI DES BETONS ORDINAIRES ET AUTOPLAÇANTS**» mémoire master 2015.
- [3]- Gharbi Fayza «**Evaluation de la qualité des bétons auto -plaçant (BAP) exposés à haute température aux moyens des essais non-destructifs (END) et essais direct**» mémoire master, université de m'sila2019.
- [4]- DJEBRI NOURA, « **Formulation et caractérisation d'un béton autoplaçant fibré à base de matériaux locaux exposé aux hautes températures** », Thèse de Doctorat, Université de m'sila .2018
- [5]- P. Turcry. « **Retrait et fissuration des bétons autoplaçants – Influence de la Formulation**», thèse de doctorat, Ecole Centrale de Nantes et Université de Nantes, France 2004.
- [6]-Hanaa Fares. «**Propriétés mécaniques et physico-chimiques de bétons autoplaçants exposés à une température élevée**», Thèse de doctorat en Génie Civil Ecole Doctorale Sciences et Ingénierie Université de Cergy-Pontoise, le 07 Décembre 2009.
- [7]-Bouaziz Mohamed Hamza «**Formulation d'un BAP : influence du rapport G/S et de la fibre de palmier dattier de 30 mm de longueur**» mémoire master, université de Annaba2019.
- [8]- Djermouni Ghazlane «**Optimisation de la composition d'un béton autoplaçant et substitution de la fibre de polypropylène par la fibre de palmier**» mémoire master, université de Annaba2019.
- [10]-Mohamed Rissel Khelifa «**Effet de l'attaque sulfatique externe sur la durabilité des bétons autoplaçants**» thèse doctorat, université Constantine 2009.
- [11]-MESSIAD BOUTHEYNA et al «**COMPARATIVE DE DURABILTE ENTRE LES BETONS AUTOPLACANTS ET LES BETONS ORDINAIRES**» Mémoire de Master, l'Université de Guelma Juin 2018.
- [12]- DJELLAD Mohamed Nasreddine «**Valorisation de la poudre de la roche siliceuse de la région de Tlemcen utilisée comme fillers dans le béton autoplaçant renforcé de fibres métalliques**» Université M'Hamed Bougera –Boumerdes Mémoire master2017
- [13]-Boukhelkhal et al «**INFLUENCE DE LA POUDRE DE MARBRE SUR LES PROPRIÉTÉSDES BÉTONS AUTOPLAÇANTS À L'ÉTAT FRAIS**» Laboratoire de recherches de génie civil (LRGC), Université Ammar T'élidai, Laghouat, Algérie
- [14]-Holcim «**Le béton auto compactant**». Recommandation étudiée par la société Holcim.Suisse. 26 Novembre 2004.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [15]-S. Tangtermsirikul «**Blocking criteria for aggregate phase of self-compacting high performance concrete**» In Proceedings of regional symposium on infrastructure development in civil engineering, December 1995.
- [16]- Benaddad Sabrina et al «**Etude à la compression d'un Béton autoplaçant avec additions minérales (Argile cuite et broyée et Fillers calcaires)**» Mémoire de Fin d'Etude Université De Bejaia 2012.
- [17]- Bouhamou N et al «**influence des paramètres de composition sur le comportement de béton autoplaçant a l'état frais**» Afrique science 2008.
- [18]-AFGC «**Les bétons autoplaçants**» : Recommandations provisoires, Documents scientifiques et techniques – France juillet 2000.
- [19]-Athamni Hicham et al «**Caractérisation de l'ouvrabilité des mortiers et des bétons**» Mémoire de Mastère l'Université de Guelma 2016.
- [20]- [NF P 18-406] relative aux essais de compression des bétons.
- [21]-KOUICI ABIR «**Etude de l'effet de l'introduction des fibres végétales sur les propriétés des bétons autoplaçant (BAP) à l'état frais et durcis**» Mémoire Master Université de Msila 2015.
- [22]-Yousef Fritih «**Apport d'un renfort de Fibres sur le comportement d'éléments en Béton autoplaçant armé**» Thèse de Doctorat de L'université de Toulouse ,08 Juillet 2009.
- [23]- Toulouse «**Etude des interactions chimio-mécaniques pour la simulation du cycle de vie d'un élément de stockage en béton**» 10 Septembre 2008.
- [24]- Walid LAIFA «**CONTRIBUTION À L'ÉTUDE DES EFFETS DU LAITIER CRISTALLISÉ ET DES FIBRES DE DISS SUR LES PROPRIÉTÉS DES BÉTONS AUTOPLAÇANTS**» Thèse De doctorat 2015 université Annaba.
- [25]- GRÜNEWALD S «**Performance-based design of self-compacting fiber reinforced concrete** » These de doctorate, University Darmstadt, Allemagne
- [26]- MEDDAHI NACIRA et al «**COMPORTEMENTS DES BETONS RENFORCÉS PAR DES FIBRES METALLIQUES, MÉTHODOLOGIE ET HYPOTHÈSE DE RECHERCHE**» Université Bouira 2015.
- [27]-Maiche Abderrahmane et al «**ÉTUDE DE L'EFFET COMBINÉ DES AJOUTS SUR LES PROPRIÉTÉS RHEOLOGIQUE ET PHYSICOMÉCANIQUE DES BETONS AUTOPLAÇANT FIBRES**» Mémoire de fin d'études université Boumerdase 2017.
- [28]-Bendjillali khadra «**Etude de l'influence de renforcement fibreux en polypropylène sur les performances physicomécaniques sur la durabilité des mortiers de ciment à base de sable calcaire**» thèse de doctorat 2015.
- [29]-Tabet N. «**Contribution à l'étude de l'influence de la nature et des dimensions des Fibres sur le comportement physico- mécanique des bétons autoplaçants fibres BAP**» Mémoire de Magister 2012.
- [30]- Fodhil Kassimi «**Optimisation et performances mécaniques et structurales des bétons autoplaçants fibres**» Mémoire de maîtrise ès sciences appliquées 2008.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [31]- Harrouche. N ; "**Formulation et comportement à la fissuration des de fibres métalliques**", Thèse de doctorat, Université de Pierre et Marie Curie 1989.
- [32]- ROSSI P, HARROUCHE N «**Mix design and mechanical behavior of some steel-fiber-reinforced concretes used in reinforced concrete structures**» Materials and Structures, 1990.
- [33]- Haddadou Naima, « **Elaboration et caractérisation de béton autoplaçant fibré avec ajout de poudre de marbre** » Université M'Hamed Bougera –Boumerdes Mémoire master 2014/2015.
- [34]- Mueller T, And Holschemacher, K.«**Self-compacting Steel Fiber Reinforced Concrete – A Study about the Influence of Fiber Content and Concrete Composition**» 2nd International RILEM Symposium on Design, Performance and Use of Self-Consolidating Concrete SCC'2009, China.
- [35]- Gao J, Sun W, Morino K. «**Mechanical Properties of Steel Fiber-Reinforced High Strength , Lightweight Concrete**» Cement and Concrete Composites 1997.
- [36]- Yadegaran I, Mahoutian M., Shekarchi M, Libre N A «**Effect of Polypropylene Fibers On Shrinkage of Self-Compacting Concrete**» 5th International RILEM Symposium on SCC, Ghent, Belgium 2007.
- [37]- Dreux J, Festa, J. « **Nouveau Guide du Béton et de ses Constituants** », France, Mai, 2000.
- [38]- Banthia N, Dubey A «**Measurement of Flexural Toughness of Fiber-Reinforced Concrete Using a Novel Technique**» Performance of Various Composites, ACI Materials Journal 2000.
- [39]- Zhang M H, et al «**Use of High- Volume Fly Ash in Polypropylene Fiber-Reinforced Concrete for Shotcrete Applications**» Australia 1997.
- [40]- Ahmad S H, Shah S.P «**Stress-Strain Curves of Concrete Confined by Spiral Reinforcement**» ACI Journal, 1982.
- [41]- Balaguru P N, Shah S P «**Fiber Reinforced Cement Composites**» 1992
- [42]- Luo X, Sun W, Chan S Y N «**Steel Fiber Reinforced High-Performance Concrete: a Study on the Mechanical Properties and Resistance against Impact**» Materials and Structures 2001.
- [43]- Petersson Ö «**Preliminary Mix Design - Final Report of Task 1**» Brite Euram project Rational production and improved working environment through using 1998.
- [44]- Kassimi, F. «**Optimisation and Mechanical and Structural Performance of Fiber-Reinforced Self-Consolidating Concrete**» M.Sc. A memory (in French), University de Sherbrook, Sep 2008.
- [45]- Mustapha Sahmaran et al «**Hybrid fiber reinforced self-compacting with a high-volume coarse fly ash**» Construction and Building Materials (2005) article in press.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- [46]- FEDAOUI-AKMOUSSI Ourdi « **Étude du comportement mécanique et durabilité des bétons fibrés : influence de différents environnements et de La nature des fibres**».Thèse De Doctorat Université Mouloud Mammeri de Tizi-Ouzou2016
- [47]- Debihabdel Mohcene « **durabilité d'un béton exposé à un milieu Agressif (acide sulfurique), influence de la forme des granulats (concassé-roulées)**» Mémoire Master -Université Mohamed Boudiaf - M'sila2016.
- [48]- M'hamedi Mokhtar et al «**Durabilité du Béton Autoplaçant à base de sable de dune finement broyé vis-à-vis des attaques chimiques**» Mémoire de fin d'études Université de Djelfa 2016.
- [49]- Berdaia Rachid et al «**Etude de la résistance aux attaques chimiques sur le béton autoplaçants à base de divers types de sable**» Mémoire de Fin d'Etude Université De Djelfa2017.
- [50]- Charlotte GASSER «**Principales agressions et attaques du béton**» ENPC Marne-la-Vallée2014.
- [51]- FEDAOUI-AKMOUSSIO Urdia « **Étude du comportement mécanique et durabilité des bétons fibrés : influence de différents environnements et de la nature des fibres**» Thèse De Doctorat Université de Tizi-Ouzou2016.
- [52]- Saida BOUALLEG «**Effet des milieux agressifs sur les caractéristiques de durabilité des bétons et des matrices cimentaires**» Mémoire de Magister- Université Mohamed Boudiaf de M'sila2004.
- [53]- Ghehioeche Sarra Karima «**Elaboration et caractérisation de durabilité des bétons par l'étude des propriétés de diffusion des chlorures(cas d'environnement chimique agressif)**» Mémoire de Master Université De M'sila 2018.
- [54]- Nassima KHAL «**Utilisation des méthodes non destructives pour la caractérisation des bétons dans un environnement agressif**» Thèse de doctorat Université de Tizi-Ouzou 2016.
- [55]- GHARIB ABIRE «**évaluation des propriétés rhéologique et mécanique d'un béton autoplaçant renforcé par des fibres de verre à l'état frais et durci**» mémoire de fin étude université de m'sila.
- [56]- RAHLI AHLAM «**Etude de l'influence des granulats et du filler de marbre sur les caractéristique des bétons autoplaçant à base de matériaux locaux**» mémoire de fin étude université de m'sila.
- [57]- HADJERSI Fouad et al « **Caractérisation rhéologique d'un béton auto plaçant (BAP) à base de fumée de silice** » mémoire de fin étude université de m'sila.
- [58]- CHIBANI NAOUEL« **Formulation et propriétés des bétons autoplaçant (BAP) a base de granulats recycles cas des fines de marbre**» mémoire de fin étude Université Larbi Ben M'Hidi - Oum-El-Bouaghi.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

[59]- Mostefai Soufenne« **Evaluation de la qualité des bétons autoplaçant (BAP) fibrés aux moyens des Essais Non-Destructifs (END) et essai direct**» Mémoire de Fin Etude Université de M'sila.

[60]- Benaddad sabrina et al« **Etude à la compression d'un Béton auto plaçant avec additions minérales (Argile cuite et broyée et Fillers calcaires)** » mémoire de fine d' étude Université Abderrahmane Mira Bejaia

[61]- Nasri Said « **Caractérisation aux moyens des essais non destructifs (NDT) et essai direct d'un béton auto plaçant(BAP) a base de matériaux locaux (effet de la nature du sable)** » mémoire de fine d' étude Université Mohamed Boudiaf – M'sila.

ANNEXES

MEDAPLAST SP 40

Conforme à la norme EN 934-2 Tab 1, 3.1
et 3.2, NA 774

Super plastifiant - haut réducteur d'eau

DESCRIPTION

Le **MEDAPLAST SP 40** est un superplastifiant haut réducteur d'eau permettant d'obtenir des bétons et mortiers de très haute qualité.

En plus de sa fonction principale de superplastifiant, il permet de diminuer considérablement la teneur en eau du béton.

DOMAINES D'APPLICATION

- Bétons à hautes performances
- Bétons pompés
- Bétons précontraints
- Bétons architecturaux
- Bétons extrudés
- Bétons BCR

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAPLAST SP 40** permet :

Sur béton frais :

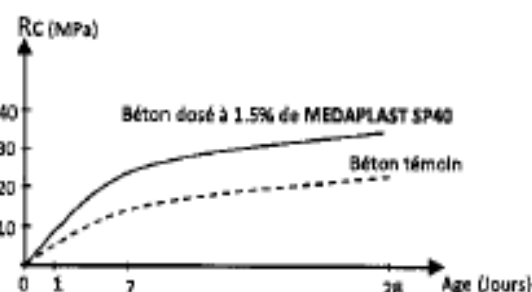
- Améliorer la fluidité
- Augmenter la maniabilité
- Réduire l'eau de gâchage
- Éviter la ségrégation
- faciliter la mise en œuvre du béton

Sur béton durci :

- Augmenter les résistances mécaniques même à jeune âge
- Diminuer la porosité
- Augmenter la durabilité
- Diminuer le retrait

CARACTÉRISTIQUES

- Aspect Liquide
- Couleur Marron
- pH 8,2
- Densité $1,20 \pm 0,01$
- Teneur en chlore $< 1g/L$
- Extrait sec 40%



Evolution des résistances en compression

MODE D'EMPLOI

Le **MEDAPLAST SP 40** est introduit dans l'eau de gâchage.

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

DOSAGE

Plage de dosage recommandée :

0,6% à 2,5% du poids de ciment soit 0,5L à 2L pour 100 kg de ciment

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Le **MEDAPLAST SP 40** est conditionné en bidons de 12Kg, fûts de 270 kg et cubitenaire de 1200 kg.

Délai de conservation :

Une année emballage d'origine, à l'abri du gel et de la chaleur ($5^{\circ}C < t < 35^{\circ}C$).

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

PV d'essais conforme aux normes, établi par le CNERIB en Janvier 2007.

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



Granitex

Zone Industrielle Oued Smar - BP85 Oued Smar - 16270 Alger

Tél: (213) 021 51 66 81 & 82

Fax: (213) 021 51 64 22 & 021 51 65 23

www.granitex-dz.com - E-mail: granitex@granitex-dz.com



MEDAFAC

Fibres d'acier pour béton

DESCRIPTION

MEDAFAC est une fibre d'acier ondulée ses caractéristiques techniques lui permettent d'améliorer les résistances mécanique du béton

DOMAINES D'APPLICATION

- Dallage industriel
- Parking
- Atelier mécanique

PROPRIÉTÉS

Grâce à ses propriétés le **MEDAFAC** permet :

- D'augmenter les résistances mécaniques surtout en flexion
- Très bonne résistance à l'abrasion

CARACTÉRISTIQUES

- Longueur 50 mm
- Largeur 2 mm
- Densité(apparente).....1,05

MODE D'EMPLOI

L'introduction des fibres **MEDAFAC** se fait :

- Soit dans la centrale à béton avec les agrégats ou en fin de mélange
- Soit dans le camion malaxeur sur chantier avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes à grande vitesse.
- Soit dans la bétonnière sur chantier, avec un malaxage supplémentaire de quelques minutes.

Dans tous les cas, veiller à garantir une parfaite homogénéité du mélange béton - fibres.

Mise en place du béton :

Une bonne homogénéité du matériau est nécessaire

pour lui garantir son efficacité et le mode de vibration dépend essentiellement du type de béton utilisé.

Finition :

Dans le cas où la surface du béton reste brute, une attention particulière sera portée au talochage manuel ou mécanique afin que toutes les fibres soient réintégrées dans la matrice béton.

Les autres finitions traditionnelles (saupoudrage, chape incorporée ou rapportée) ne nécessitent aucune précaution particulière.

Un produit de cure **MEDACURE** doit être appliqué sur la surface finie du dallage afin d'éviter un séchage trop rapide du matériau.

DOSAGE

Le dosage de fibres **MEDAFAC** à utiliser peut varier de 20 à 40 kg/m³.

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

CONDITIONNEMENT ET STOCKAGE

Les fibres d'acier **MEDAFAC** sont conditionnées en cartons de 20 ou 25 kg et se conservent environ trois années à l'abri de l'humidité.

PRÉCAUTIONS D'EMPLOI

Manipulation non dangereuse.

Se référer à la Fiche de Données de Sécurité disponible sur : www.granitex-dz.com

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