

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA RECHERCHE
SCIENTIFIQUE
UNIVERSITE AKLI MOHAND OULHADJE-BOUIRA



Faculté des Sciences et des sciences appliquées
Département Génie Civil

Mémoire de fin d'étude

Présenté par :

- **TABOUCHE Amarouche**
- **ZIOUI Fatah**

En vue de l'obtention du diplôme de **Master 02** en :

Filière : **Génie Civil**
Option : **Matériaux en Génie Civil**

Thème :

Etude de propagation des Fissures dans les Bétons Armés Fibrés
Sous l'effort de flexion

Devant le jury composé de :

ARIBI Chouaib	Grade MAA	UAMOB	Président
SAOUDI Nacera	Grade MAA	UAMOB	Encadreur
HAMI Brahim	Grade MCB	UAMOB	Examineur
KENNOUCHE Salim	Grade MCB	UAMOB	Examineur
AOUADI Abdelhak	Grade MCB	UAMOB	Examineur

Remerciements

Remerciements

Nous tenant à remercier tout d'abord le dieu tout puissant, le très miséricordieux de nous avoir accordé la grâce de réaliser ce travail

Nous réservons le meilleur remerciement à nos parents, qui nous ont bien sur beaucoup aidé.

Nous voudrions aussi que notre promotrice Mme SAOUDI Nacira trouve ici nos meilleures salutations et notre reconnaissance pour ses soutiens, ses conseils et ses remarques importantes qui nous ont permis l'achèvement de ce travail.

Nous adressons nos sincères remerciements à tous nos amis qui nous ont toujours soutenue et encouragée au cours de notre étude à l'université

Dédicace

Dédicace

J'ai le grand honneur de dédier ce travail

A mes parents,

A mes frères et sœurs

A tous mes amis

Et a tous ceux que j'aime

Résumé

Plusieurs études de fissurations des bétons armé fibré par différentes type de fibres et différents modèle d'approche, ont été faite, à ce jour. De notre par afin d'enrichir la recherche et avec les matériaux locaux on rajoute cette base de donnée.

La rupture dans les structures en béton armé est caractérisée par l'initiation et la propagation et l'ouverture de fissures. Nous nous somme intéressés dans cette étude à la rupture d'une structure en béton armé renforcé par des fibres métalliques.les poutres ont été renforcés à différents taux de fibre Dramix (30 mm a crochet). L'évaluation du comportement mécanique (essai flexion quatre points) des poutres ont montré : La première phase : linéaire jusqu'a atteinte de l'effort maximal correspondant à l'apparition de la premier fissure, cet effort maximal est en fonction du pourcentage des fibres, caractérisée par l'absence des fissures vue à l' œil (microfissures), suivi par l'apparition des fissures verticales . en générale débute dans la face inférieure de la poutre (tendue), les fibres sont sollicitées en traction, ils interviennent en causant les fissures et en limitant leur ouverture.

La phase finale caractérisée par l'ouverture et la propagation d'une fissure macroscopique qui peut être différent d'une poutre à l'autre selon les types des composants et quantité.

La description correcte de la rupture du béton BAFM nécessite une approche qui combine un modèle capable de reproduire la phase initiale et finale, cela reste une perspective a ce modeste travail. l'objectif principal de notre travail est de qualifier l'un de ces échantillons afin qu'il soit un modèle pour la modélisation..

Mots-clés : fibres métallique, flexion quatre points, fissures, BAF,

ABSTRACT

More studies cracking of concrete reinforced by different types of fibers and different approach model were made, nowadays. Our contribution is in order to enhance. The search using local materials, and added this database.

Failure in reinforced concrete structure, is characterized by initiation and propagation and opening of cracks. we are interested in this study failure of a fiber reinforced concrete structure by metal fiber. the beams were reinforced at different rates of Dramix fiber (30mm hook-end).the evaluation of the mechanical behavior (four-point bending test)of the beams showed :the first phase: linear until maximum effort is reached which corresponds to the appearance of the first crack, this fibers, characterized by absence of visual cracks (micro cracks)followed by appearance of vertical fissures usually starts in the underside of the beam(tight),the fibers are tensile occurs causing the cracks and limiting their opening .the

Résumé

length and percentage of the fibers are important parameters. The final phase characterized by the opening and propagation of a macroscopic crack, which can be different between beams depending on the types of components and quantity. Correct description of BAFM concrete failure requires an approach that combines a model capable of reproducing the initial and final phase, it remains a perspective to this modest work. The main objective of our work is to qualify one of these samples, to be a model for modeling.

Keywords: metal fibers, four-point bending, cracks, marble powder, FRC,

ملخص:

قد تم حتى الان العديد من الدراسات على تشققات الخرسانة المسلحة المدعمة بأنواع مختلفة من الالياف ونماذج مختلفة من النهج، ومن ناحيتنا قبل اثناء البحوث باستعمال المواد المحلية قد اضفنا قاعدة البيانات هذه. يتميز الكسر في الهياكل الخرسانية المسلحة بالبدء والتكاثر وفتح الشقوق نحن مهتمون في هذه الدراسة عند اتلاف هيكل الخرسانة المدعمة بالألياف الحديدية.

تم تعزيز الحزم بالمعدلات مختلفة من الالياف دراميكس (خطاف 30 مم) اظهر تقييم السلوك الميكانيكي (اختبار الانحناء الرباعي النقاط) للأعراض التالية: المرحلة الأولى خطية حتى تصل الى أقصى جهد يتوافق مع مظهر تشقق الأول، هذا الجهد الأقصى يتغير بتغير النسبة المئوية للألياف تتميز بعدم وجود تشققات لا ترى بالعين المجردة، متبوعا بمظهر الشقوق العمودية بشكل عام يبدأ في الجزء السفلي من الحزمة (الشدة) يتم التأكيد على الالياف في الجر التي تتدخل فيها مما تتسبب في منع الشقوق والحد من فتحها. طول ونسبة الالياف هي المعاملات الهامة.

المرحلة النهائية التي تتميز بفتح ونشر الشقوق الميكروسكوبية، والتي يمكن ان تختلف من حزمة الى أخرى حسب النسبة ونوع المكونات والكمية. يتطلب الوصف الصحيح للكسر الخرساني BAFM نهجا يجمع بين نموذج قادر على إعادة انتاج المرحلة الأولى والنهائية وتبقى وجهة نظرنا لهذا العمل المتواضع. الهدف الرئيسي لعملنا هو تأهيل العينة كنموذج للنمذجة.

كلمات البحث: الالياف المعدنية، الانحناء أربع نقاط، الشقوق، مسحوق الرخام، خرسانة مسلحة مدعمة بالألياف.

Sommaire

Sommaire

Introduction générale	1
-----------------------------	---

Chapitre I

Introduction	3
1. Origine de la fissuration	4
1.1. Origine mécaniques	4
1.1.1. Fissuration gouvernée par des contraintes de traction	4
1.1.2. Fissuration gouvernée par des contraintes de compression	4
1.2. Origine physico-chimiques	4
1.2.1. Ressuage	4
1.2.2. Le retrait plastique	5
1.2.3. Retrait par auto-dessiccation	5
1.2.4. Corrosion des armatures	5
1.3. Origine thermiques	6
2. Formes des fissures	6
3. Couplage fissuration-perméabilité	8
4. Influence d'une fissuration créée en traction sur la perméabilité	8
5. Les types des fissures	8
6. Méthodes de diagnostic	9
7. Les traitements	9
8. Conclusion	10

Chapitre II

A) Caractérisations	12
Introduction	12
1. Le ciment	13
2. Les granulats	15
2.1. Les essais réalisés	15

Sommaire

2.2. Conditionnement des échantillons	16
2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques de sable	16
2.4. Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats 3/8 8/15.....	18
3. L'eau de gâchage	21
4. Adjuvant.....	21
5. Fibres Dramix.....	22
6. Poudre de marbre	23
B) Formulation	25
1. Formulation de béton.....	25
1.1. Résistance moyenne désirée σ'_{28}	25
1.2. Dosage en ciment	25
1.3. Application numérique	26
2. Malaxage et mise en oeuvre du béton.....	29
2.1. Caractéristiques propre de malaxeur	29
2.2. Séquences de malaxage	29
3. Ferrailage.....	29
4. Préparations des éprouvettes	30
Conclusion.....	32

Chapitre III

1. Bétons a l'état frais	33
1.1. Affaissement	33
2. Essais mécanique.....	34
3. Etude détaillée des fissures	37
A) Bétons (ordinaire)	37
B) Bétons Armés	38
La poutre 1-2	40
La poutre 2-2	41
La poutre 3-2	42
C) Béton arme fibre 1%	44
La poutre1-4	45
La poutre2-4	47

Sommaire

La poutre 3-4	48
D) Béton arme fibre 1,5%	50
La poutre 1-3	52
La poutre 2-3	53
La poutre 3-3	54
B) Béton arme fibre 1,5% avec ajout de marbre	56
La poutre 1-5	58
La poutre 2-5	59
La poutre 3-5	60
3 .Comparaison	62
Béton arme fibre 1,5%et Béton arme fibre 1%	62
Bêton arme et Béton arme fibre 1%	63
Bêton arme et Béton arme fibre 1 ,5%	64
Conclusion générale	65

LISTE DES FIGURES

Liste des Figures

Figure .I. 1 : Fissuration	3
Figure .I. 2 : Schema des fissures dans un ouvrage en beton[DET92]	6
Figure. II. 3 : Microstructure d'un béton.....	12
Figure. II. 4 : Ciment	13
Figure .II. 5: Sables 0/3.....	16
Figure. II. 6: Granulats 3/8, 8/15	18
Figure .II. 7 : Fibres Dramix	23
Figure .II. 8 : Courbe Granulométrique	26
Figure .II. 9 .Malaxeur à axe vertical	29
Figure .II.10 . Ferrailage des poutres.....	30
Figure .II.11. Les étapes de remplissage des moules	31
Figure.III. 12. Mesure de l'ouvrabilité.	33
Figure.III. 13. La machine d'essai	35
Figure.III. 14. Courbe contrainte-flèche	36
Figure.III. 15. Photo et courbe de flexion de la poutre BO	37
Figure .III.16. Comportement des poutres de BA	38
Figure.III. 17: La partie élastique des poutres de BA	39
Figure.III.18 Comportement similaire entre les poutres de BA	39
Figure.III.19. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-2 de BA	40
Figure.III.20. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-2 de BA	41
Figure.III. 21. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-2 de BA	42
Figure.III.22 les poutres de BA	43
Figure.III. 23. Comparaison entre les poutres de béton fibres 1%	44
Figure.III.24. La partie élastique des poutres de BAF 1%	44
Figure.III. 25. Comportement similaire des poutres de BAF 1%	45
Figure.III. 26. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-4 de BAF 1%.....	46
Figure.III. 27. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-4 de BAF1%	47
Figure.III. 28. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-4de BAF1%.	48
Figure.III. 29. Les poutres de BAF 1%	49
Figure III.30. Comparaison entre les poutres de béton fibres 1,5%	50
Figure.III. 31. Partie Elastique des poutres de BAF 1,5%	51
Figure III.32. Detaille similaire des poutres de béton fibre 1,5%	51

LISTE DES FIGURES

Figure.III.33. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-3de BAF 1,5%.....	52
Figure .III.34. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-3de BAF1, 5 %.....	53
Figure.III. 35. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-3de BAF1,5%.....	54
Figure.III.36. les poutres de BAF 1,5 %.....	55
Figure .III. 37. Comparaison entre les poutres de béton fibres 1,5% +PM.....	56
Figure.III. 38 . Partie Elastique des poutres de BAF 1,5%+PM.....	57
Figure.III. 39. Comportement similaire entre les éprouvettes de BAF1,5%+PM.....	57
Figure.III. 40. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-5 de BAF1 ,5%+PM.....	58
Figure.III. 41. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-5 de BAF1, 5 %+PM.....	59
Figure.III. 42. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-5 de BAF1, 5 %+PM.....	60
Figure.III. 43.Les poutres de BAF 1,5%+PM.....	61
Figure .III.44.Comparaison entre BAF 1,5% et BAF 1%.....	62
Figure.III. 45. Comparaison entre BA et BAF 1%.....	63
Figure.III. 46. Comparaison entre BAF 1,5% et BAF 1%.....	64

LISTE DES TABLEAUX

Liste des Tableaux

Tableau .I. 1.Fissuration dans le béton	7
Tableau .II. 2 : Les caractéristiques physiques du ciment (CPJ CEMII 42.5N).....	14
Tableau .II. 3 : Composition chimique du ciment (CPJ CEMII 42.5N).....	14
Tableau .II. 4 : Composition minéralogique du ciment (CPJ CEMII 42.5N)	14
Tableau .II. 5 : Les normes des essais	16
Tableau .II. 6 : Granulométrie (Passants en %).....	17
Tableau .II. 7 : La masse volumique absolue	17
Tableau .II. 8 : La masse volumique apparente	17
Tableau .II. 9 : Densité apparente et absolue	18
Tableau .II.10 : Module de Finesse « MF » Équivalent de Sable « ES ».....	18
Tableau .II. 11 : Granulométrie (Passants en %).....	19
Tableau .II. 12 : Coefficient d’aplatissement	19
Tableau .II. 13 : La masse volumique absolue	19
Tableau .II. 14 : La masse volumique apparente	20
Tableau .II. 15 : Densité apparente et absolue	20
Tableau .II. 16 : Caractéristiques mécaniques	20
Tableau .II. 17 : Caractéristiques physiques de la poudre de marbre	24
Tableau .II. 18 : Composition minéralogique de la poudre de marbre	24
Tableau .II. 19 : Compositions chimiques de la poudre de marbre	24
Tableau .II. 20 : Caractéristiques des granulats	25
Tableau .II. 21 : Les quantités de chaque constituant	27
Tableau .II. 22 : Quantité des composants obtenus	27
Tableau .II. 23 : Affaissement	28
Tableau .II.24 : Resistance a la comprissions	28
Tableau.III. 25 : Variation de l’affaissement des différents BAF	33

Liste des abréviations

Liste des abréviations

CMOD: crack mouth open displacement

NF : Norme française

BO : Béton ordinaire

BA : Béton arme

Les barres de BENT-UP : recourbées vers le haut

GFRP: glass fiber reinforced polymer.

BAF1% : Béton arme avec fibres métalliques 1%

BAF1, 5% : Béton arme fibres 1,5%

BAF1, 5%+PM : Béton arme avec fibres métalliques et poudre de marbre

PTRE : Poutre

MPa : Méga pascal

BAP : Béton auto-plaçant

BHP : Béton haute performance

MF : Module de finesse

Ø : Diamètre

T : Temps

ENGOA : Entreprise nationale des grands ouvrages d'art

Introduction Générale

Les ouvrages et les structures sont généralement le siège de sollicitation variée (mécaniques, hydrauliques, thermiques...). L'analyse et la prévision de la ruine des structures en béton armé constituent un enjeu important dans le domaine du génie civil. Des efforts remarquables ont été investis pour la compréhension physique des processus de dégradation affectant les ouvrages ainsi que la capacité à décrire ces processus avec des modèles numériques. Le processus de dégradation mécanique de ses ouvrages est associé à un développement de micro et macro fissurations pouvant augmenter considérablement leur perméabilité et constituent de ce fait, un risque majeur pour l'étanchéité et la sécurité de ces ouvrages. Dans les zones à fortes fissuration, le niveau d'étanchéité dépend fortement de l'ouverture de fissures.

Dans ce contexte, deux paramètres jouent un rôle fondamental parce qu'ils contrôlent la cinétique du transfert à travers le matériau : l'ouverture de fissures et la perméabilité.

De ce fait, il est très important d'avoir une définition claire de l'ouverture d'une fissure et d'être capable de la mesurer avec précision si l'on veut établir des lois d'évolution CMOD.

Les fissures dans le matériau béton représentent des discontinuités géométriques.

Le processus de fissuration est caractérisé par une transition d'un état initial de déformation à faible gradient à un état à fort gradient. Le béton reste un matériau moderne, mais sa faible résistance en traction, sa fragilité et son aptitude à la microfissuration fait que : il doit être renforcé dans la majorité des applications.

Le renforcement par des armatures et fibres métalliques a pour objectif majeur d'améliorer le comportement vis-à-vis à la traction afin de retarder et de limiter ou d'éviter une rupture quasi-fragile.

Depuis quelques années, il est question d'améliorer le comportement du béton tendu par l'adjonction de fibres. Que peut être le rôle de ces fibres dans le comportement d'une structure en béton armé soumise en flexion.

Plusieurs thèses ont vu le jour sur le comportement des bétons de fibre. Houari, après des essais de flexion trouve que l'ajout de 1% de fibres métalliques a fait augmenter fortement la résistance à la flexion, concorde avec d'autres résultats, ainsi que Behbahan, montre que l'utilisation de fibres d'acier de plus de 1% serait à l'origine d'une légère diminution de la résistance à la flexion.

Introduction Générale

Nous allons donc exposer ci-après l'enchaînement des étapes de l'étude expérimentale que nous avons menée afin de décrire l'intérêt et les limites de l'utilisation de fibres dans les bétons armés.

Une étude bibliographique, dans cette partie, nous avons mis le point sur le mécanisme qui régissent le comportement cités ci-dessus.

Dans le deuxième chapitre, après avoir exposé la composition de nos différents bétons, dont la condition commune était la résistance en compression, nous avons, dans un premier temps, caractérisé leur comportement à l'état frais, ensuite la détermination de la propriété mécanique instantanée (résistance en flexion quatre points). Le fonctionnement de poutres en béton armé fléchies, en particulier vis-à-vis de l'effort de flexion a été analysé.

Dans l'étude expérimentale d'éléments armés fléchis renforcé de fibre métallique. À ce moment, nous voulions mettre en évidence les différences de comportement vis-à-vis de la fissuration et de la rupture par effort flexion d'éléments en BAF avec armatures transversales, avec ou sans ajouts déchets.

Le but était d'identifier les différences de comportement lors de la fissuration à l'effort maximal de flexion : initiation et évolution de la fissuration, comportement global et résistance ultime.

Pour notre étude expérimentale nous avons utilisés des fibres DRAMIX avec crochets de 30 cm.

Nous avons terminé par des conclusions générales ainsi que des perspectives qui pourraient compléter et apporter des réponses à des interrogations soulevées dans ce travail pour optimiser l'utilisation des fibres dans les structures en béton armé.

Introduction

Le béton seul, comme nous avons pu l'évoquer dans la fiche sur la résistance du béton, est un matériau très cassant lorsque soumis à un effort de traction. Cette fragilité du béton s'exprime par l'apparition quasi obligatoire de fissures dans la vie de l'ouvrage dès qu'il sera soumis à la plus minime des contraintes de traction. Par contre, il est tout à fait possible de limiter la fissuration en connaissant bien les causes de celle-ci et en cas de gros problèmes des moyens existent pour traiter ce problème après coup.

En effet, la faible capacité de déformation et la faible résistance en traction rendent le béton très sensible à la fissuration.

Les fissures de différentes origines (mécanique, thermique, physico-chimique) offrent des chemins préférentiels pour la pénétration de différents agents potentiellement agressifs (liquides, gaz, ions). De plus, dans le cas des structures de confinement, les fissures peuvent être à l'origine de fuite d'air ou de vapeur contaminée. De ce point de vue, on constate le rôle important des fissures sur la durabilité et les propriétés de transfert de béton. C'est pourquoi ce sujet a fait l'objet de nombreuses publications [JAC98, FU96, TOG98].

Outre l'influence des fissures sur les propriétés de transfert, elles présentent des milieux favorables pour le développement des réactions chimiques qui augmentent le risque de détérioration du béton [JAC98]. FU [FU96] a montré que les microfissures sont parmi les premières causes de la formation de l'étrangéité différée. La croissance des cristaux d'étrangéité dans les fissures mène à l'augmentation de leurs ouvertures et par conséquent la détérioration des matériaux.



Figure .I. 1 : Fissuration

1. Origine de la fissuration

1.1. Origine mécanique

La fissuration peut se produire par compression, traction, cisaillement, aussi bien sous chargement statique qu'en fatigue, sous l'effet des charges de service ou des surcharges ou lors du déplacement des charges. La pâte de ciment hydraté comporte de multiples discontinuités (comme les pores). Les fissures causées par le retrait ou le défaut d'adhérence avec les granulats peuvent agir comme des points de faiblesse des mortiers ou des bétons. En général, une fissure est considérée comme une discontinuité dans le champ de déplacement à travers la quel les contraintes de traction sont nulles ou diminuent en fonction de l'ouverture de cette même fissure (hypothèse de Griffith 1920).

1.1.1. Fissuration gouvernée par des contraintes de traction

Trois étapes sont à distinguer :

- 1) Une microfissuration se développe au sein du matériau.
- 2) Les microfissures se connectent pour créer une ou plusieurs macro fissures. C'est une phase de localisation de la fissuration.
- 3) Les macro fissures se propagent, conduisant à la rupture du volume du matériau considéré.

1.1.2. Fissuration gouvernée par des contraintes de compression

Trois étapes sont encore à distinguer :

- 1) Les microfissures sont créés aléatoirement au sein de l'éprouvette. Ce caractère aléatoire est lié à l'hétérogénéité du matériau et à l'existence de points durs (les granulats). L'orientation des fissures, quant à elle, est gouvernée par la différence de raideur de la pâte de ciment et des granulats.
- 2) Les microfissures se rejoignent pour former des macro fissures, toujours orientées parallèlement à la direction de la sollicitation, délimitant ainsi des « colonnettes ».
- 3) Des fissures obliques apparaissent à l'intérieur des « colonnettes ». Ces fissures obliques se rejoignent pour former un plan de glissement également oblique à l'échelle de l'éprouvette

1.2. Origine physico-chimiques

1.2.1. Ressuage

Le ressuage correspond à l'exsudation superficielle d'une partie de l'eau de gâchage à la face supérieure du béton frais. Il peut aussi se manifester en dessous des barres d'armature horizontales situées au voisinage de la face supérieure. Ces barres constituent des points fixes qui gênent le tassement, ce qui engendre la création des fissures qui pénètrent jusqu'au lit d'armatures [POW68, DET92].

1.2.2. Le retrait plastique

Il s'agit d'un retrait d'origine exogène par dessiccation qui se manifeste avant et pendant la prise.

L'hypothèse généralement admise est que le retrait plastique est engendré par la dépression capillaire qui se développe lorsque des ménisques se forment dans les capillaires du béton frais [WIT76].

La fissuration par retrait plastique se produit quand la quantité d'eau perdue par unité de surface excède largement la quantité d'eau apportée à la surface par le ressuage. Cette fissuration est la sanction immédiate d'un béton médiocre (mauvaise rétention de l'eau de gâchage), d'un support mal préparé (trop absorbant) ou d'une cure mal conduite. Elle concerne surtout la pièce fine [DET92, BON04].

1.2.3. Retrait par auto-dessiccation

Ce retrait se produit au cours de l'hydrations de la pâte de ciment, car le volume des hydrates formés est plus petit que le volume de l'eau et du ciment initial (contraction Le Chatelier). Ce type de retrait augmente lorsque le rapport E/C diminue (béton à hautes performances) [DET92 ; Christophe Carde 2006].

1.2.4. Corrosion des armatures

La corrosion des armatures d'un matériau cimentaire armé se produit à la suite du phénomène de carbonatation du béton d'enrobage et/ou de la pénétration de chlorures jusqu'au niveau des armatures. La carbonatation du béton induit une diminution du pH qui peut détruire la couche passive mince d'oxydes protecteurs, et amorcer la propagation de la corrosion, avec la formation de produits expansifs entraînant des contraintes de traction dans le béton d'enrobage. Ces dernières conduisent progressivement à la formation de fissures qui vont favoriser la pénétration d'agents agressifs, et générer à terme le décollement du béton d'enrobage [BAR92, BON04].

La réaction alcali-silice est une pathologie des bétons qui se caractérise par une réaction chimique entre la silice amorphe ou mal cristallisée contenue dans les granulats réactifs et certains ions de la solution interstitielle. Cette réaction nécessite la présence simultanée de trois ingrédients : des alcalins (Na^+ , K^+) libérés pendant l'hydratation du ciment, des granulats réactifs qui contiennent la silice réactive et de l'eau. Les produits de cette réaction sont des gels de silicates alcalins qui engendrent des pressions suffisamment élevées pour rompre le béton en traction, d'où l'apparition de fissures [STI87, POY03].

1.3. Origine thermiques

Les réactions d'hydratation du ciment, qui sont fortement exothermiques, entraînent une élévation de température au sein du matériau cimentaire. Cette élévation peut atteindre plusieurs dizaines de degrés. Ce cycle s'accompagne d'une dilatation suivie d'une contraction du matériau. Les risques de fissuration s'accroissent avec le volume de matériau et en particulier avec son épaisseur. On estime qu'au-delà de quatre-vingt centimètres d'épaisseur, la fissuration est quasi inévitable [DET92]. De plus, les matériaux cimentaires possèdent un coefficient de dilatation thermique qui résulte, à la fois de celui de la pâte de ciment hydraté et de celui des granulats. Les granulats ont généralement un coefficient de dilatation thermique différent de celui de la pâte de ciment. Cette « hétérogénéité » couplée à des gradients thermiques de grandes amplitudes, notamment entre le cœur et la surface du matériau sont également générateurs de fissuration.

2. Formes des fissures

Le schéma de la figure (2) illustre des fissures précoces qui peuvent affecter un ouvrage en béton. Chaque lettre indiquée sur le schéma correspond à un type de fissure. L'ensemble de ces types, leurs causes, le temps ainsi que le lieu de leurs apparitions et les précautions recommandées contre ces pathologies du béton, sont indiquées dans le tableau (1)

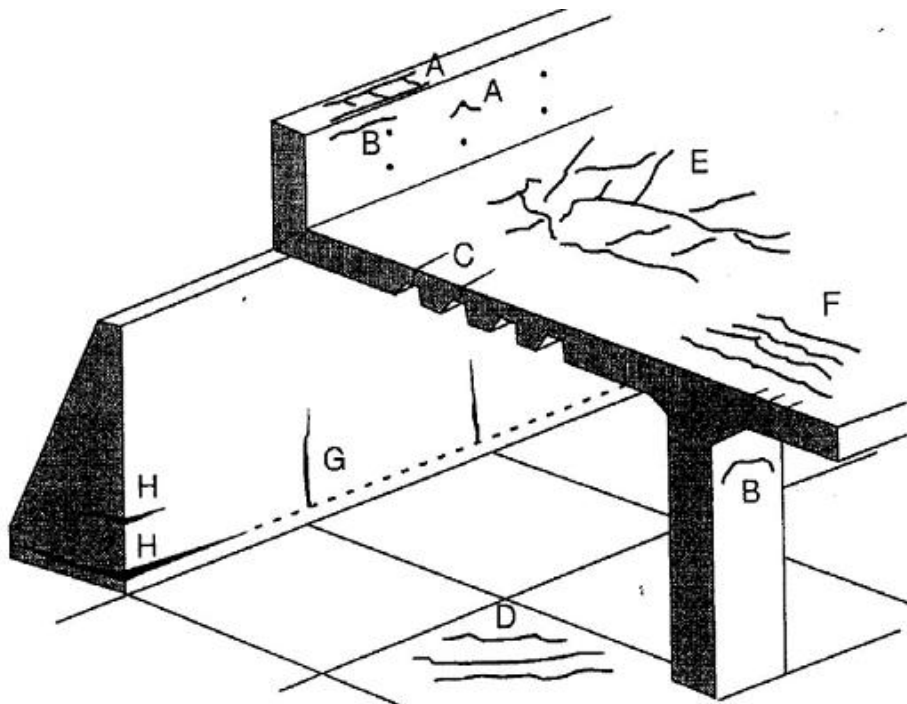


Figure .I. 2 : Schema des fissures dans un ouvrage en beton[DET92]

Tableau. I.1.Fissuration dans le béton

Remèdes / Précautions	Diminuer le dosage en eau			Post-traitement	Réduire les dégagements de chaleur, refroidissement du béton, isoler		
	Améliorer la stabilité des mélanges						
Cause complémentaire	Dessèchement rapide	Proximité des armatures	Forme du coffrage	Degré de refroidissement			
Cause principale	Une demi heure		Kiem avec en	Grai	Grand		
	Moment d'apparitions/de formation des fissures						
Phases significatives	Grande épaisseur de couche	Partie supérieur de colonnes	Par exemple (caissons)	Routes et dalles	Dalles armée	Par exemple	Élément massif
Indications complémentaires	Au dessus- des Armatures	Effets de tassement	Changement de section	Souvent en diagonale	Ar bitr armatures	Déformations	
Description de phénomène	Sédimentation tassement			Retrait plastique		Retrait thermique dans le béton jeune	

3. Couplage fissuration-perméabilité

L'apparition des fissures dans un matériau initialement peu perméable modifie significativement ses propriétés de perméabilité. Différents auteurs ont étudié l'influence du chargement mécanique sur la perméabilité, le chargement étant relié, le plus souvent qualitativement à l'apparition de fissures. Certains auteurs continuent d'utiliser le concept de perméabilité en présence de fissures, cependant il nous semble qu'il vaudrait mieux parler de débits de fuite dans ces fissures

4. Influence d'une fissuration créée en traction sur la perméabilité

Cette influence a fait l'objet d'essais mécaniques de traction réalisés par Gérard [GER96, GER98] sur des éprouvettes de béton. Des mesures de perméabilité à l'eau sous chargement et après déchargement ont été effectuées. Ces essais font apparaître un accroissement important de la perméabilité avec le chargement. Durant la phase élastique du matériau, la perméabilité n'évolue pratiquement pas, puis elle augmente rapidement avec l'initiation de la fissuration. Une fois que les fissures se sont localisées, une décharge totale conduit à une perméabilité résiduelle plus élevée que la perméabilité initiale. Cependant, à partir de la localisation des fissures, des cycles partiels de chargement déchargement montrent la quasi-réversibilité de la perméabilité : les cycles de chargement développent les macro fissures, tandis que les cycles de déchargement les referment de façon quasi-réversible.

5. Les types des fissures

Parmi les différents types de fissures, on distingue principalement trois catégories :

*Le faïençage, c'est un réseau caractéristique de microfissures qui affecte principalement la couche superficielle du béton.

*Les microfissures, ce sont des fissures très fines dont la largeur est inférieure à 0,2 mm.

*Les fissures, ce sont des ouvertures linéaires au tracé plus ou moins régulier dont la largeur est d'au moins 0,2 mm.

* lézard : fissure d'ouverture supérieure à 2mm

Il est important lors du processus de réhabilitation d'un ouvrage, de s'intéresser à l'évolution de la largeur d'une fissure. Il est possible de classer les fissures selon leur évolution :

1- Les fissures passives ou mortes : pour les fissures dont les ouvertures ne varient plus dans le temps, quelles que soient les conditions de température, d'hygrométrie ou de sollicitation de

l'ouvrage. Cependant, elles sont rares, car les matériaux alentour à la fissure varient selon la température, c'est le phénomène de dilatation thermique

2-Les fissures non stabilisées : lorsque leur ouverture varie dans le temps en fonction de la température.

6. Méthodes de diagnostic

La première chose à savoir est que les fissures ne sont que très rarement préjudiciables à la tenue d'un ouvrage. La contrainte due à la traction ayant été négligée lors du dimensionnement et calcul de structure, qualitativement le béton fissuré n'a donc pas été pris en compte.

Les problèmes que peuvent poser les fissures se situent plus au niveau de la corrosion des armatures. Les fissures sont les chemins idéaux pour les chlorures et autres agents agressifs pour aller attaquer les aciers, provoquer un gonflement et donc un éclatement de l'enrobage du béton qui est très peu esthétique et qui peut réduire considérablement la capacité de l'ouvrage.

Une fissure est à considérer comme anormale dès qu'elle dépasse 0,3 mm de largeur, elle témoigne alors d'un mauvais état de santé du béton qu'il faudra soigner tout en envisageant un suivi de l'évolution de la fissure

Pour comprendre l'influence des fissures dans l'ouvrage et en effectuer le diagnostic, il existe deux grandes techniques :

- Le scléromètre : la hauteur de rebond d'une bille sur la surface du béton est mesurée, cette hauteur est proportionnelle à la résistance de surface de votre béton et vous pourrez ainsi estimer si l'élément est en bon ou mauvais état. Attention à bien préparer la surface étudiée et à prendre de nombreuses mesures à moyenner.
- Les méthodes destructives consistant au prélèvement de carottes de béton dans l'ouvrage à étudier qui sont acheminées en laboratoire pour subir une batterie de tests.

7. Les traitements

Les fissures étant inévitables elles sont donc traitées a posteriori par diverses méthodes de cures ayant pour but de rétablir une liaison et une étanchéité pour éviter la corrosion des armatures par la suite :

- L'injection : une « colle » (classiquement du coulis de ciment) est injectée dans la fissure et vient la boucher. Une liaison est ainsi créée et l'étanchéité est conservée.

- Le calfeutrement : la fissure est colmatée par des matières non solides offrant ainsi une étanchéité tout en laissant la fissure libre d'évoluer.
- Le pontage : pose d'éléments au-dessus des fissures pour les protéger du ruissellement ou de l'infiltration d'eau.
- La protection superficielle : recouvrement superficiel des fissures par du mortier, attention, car les fissures réapparaissent très rapidement avec cette technique.
- Le traitement général : pose de plusieurs revêtements étanches, imperméabilisants et esthétiques pour cacher les fissures.
- La cure des pathologies menant à ces phénomènes de fissuration.

Certaines méthodes préventives existent tout de même et permettent de réduire l'apparition des fissures dans le temps, parmi celles-ci on trouve :

- L'installation de joint de dilatation permettant au béton de se dilater dans le temps sans fissurer. Ces joints doivent recouper les dalles béton en surfaces ne dépassant pas les 30/35 m².
- Le bon dimensionnement d'armatures de « couture » permet de minimiser la fissuration dans la vie l'ouvrage.
- L'utilisation des nouveaux bétons auto réparant contenant des bactéries qui reboucheront les fissures en formant du plâtre dans celles-ci.

8. Conclusion

De nos jours, le béton est un des matériaux de construction les plus usuels. Ce matériau, outre ses nombreux avantages, évolue et réagit avec son environnement. En effet, au cours du temps, les ouvrages en béton armé développent de nombreuses pathologies (fissure, corrosion des aciers, gel-dégel, fluage, réactions chimiques, etc.). Sous l'action de ces agressions physico-chimiques, ce dernier se dégrade et présente alors des désordres allant de la simple fissure à la détérioration structurale grave. La majorité des infrastructures existantes ont été construites avec ce matériau et cela depuis plus d'une cinquantaine d'années. Ce patrimoine national est donc vieillissant ce qui nécessite un entretien et un suivi régulier. Cependant, la maintenance des ouvrages de ce patrimoine bâti est très onéreuse. Une démarche scientifique rigoureuse est donc nécessaire pour réduire ce budget par la mise en place d'outils visant à optimiser et fiabiliser le diagnostic structural des ouvrages.

Il est aussi possible de ne pas prévoir des travaux, mais seulement s'intéresser à l'évolution des pathologies. C'est le cas par exemple pour des fissures, il peut être utile de vérifier si son ouverture est continue dans le temps, dans ce cas il sera nécessaire de prévoir des travaux de confortement. Ou bien si l'ouverture de la fissure dépend de l'évolution de la température, auquel cas il est possible de laisser l'ouvrage en l'état sans craindre une dégradation de l'ouvrage.

Le béton peut présenter des fissures à long terme. Mais il ne faut pas s'inquiéter, ça ne signifie pas que votre structure est en danger. Il faudra juste faire attention à l'évolution de ces fissures dans le temps et si elles vous inquiètent alors faites appel à des experts du diagnostic des structures qui vous diront vers qui vous tourner pour remédier aux problèmes, s'il y en a.

A) Caractérisations

Introduction

Le béton est un matériau hétérogène multiphasique poreux dont les constituants présentent des caractéristiques physico-chimiques et mécaniques différentes. Il est constitué d'un mélange de granulats et d'une pâte, elle-même constituée à partir de ciment, d'eau et éventuellement d'ajouts : fibre métallique et poudre de marbre.

Chaque constituant joue un rôle bien défini. Les granulats constituent le squelette en principe inerte du béton, lui confèrent sa compacité, participent à sa résistance mécanique et atténuent les variations volumiques (retrait) lors du durcissement. La pâte de ciment est le siège des réactions d'hydratation des constituants qui conduisent aux processus de prise et de durcissement et la transforment en matrice liante. Le béton, matériau évolutif, connaît des transformations physico-chimiques et structurales tout au long de sa vie.

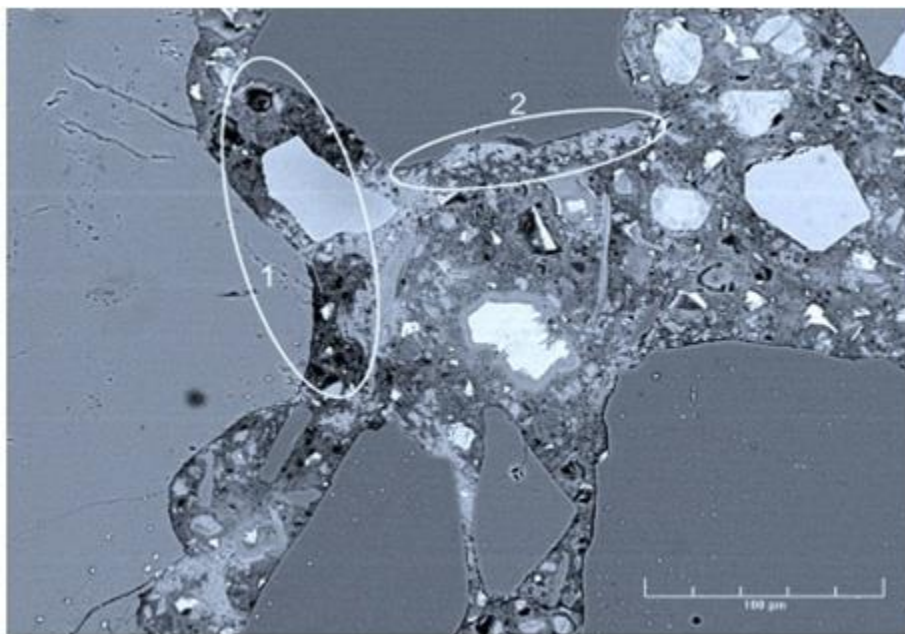


Figure. II. 3: Microstructure d'un béton

1. Le ciment

Le ciment est le constituant à l'origine de la cohésion du béton, elle représente 20% à 50% du volume total du béton et se caractérise par sa capacité à s'hydrater avec l'eau et à former une matrice solide qui lie les granulats entre eux.

Le ciment Matine CEM2/B42 ,5N est certifié, conforme à la norme algérienne (NA 442) et Européenne (EN CE197_1) obtenu par mélange homogène d'argile et de calcaire, ou d'autres matériaux (des ajouts) contenant de la chaux, de la silice, de l'alumine et de l'oxyde de fer, cuits à haute température (température de clinkérisation, à 1450C) puis broyés. Tous les ciments courants contiennent du clinker Portland (mélange de calcaire et de silice cuits) qui assure la fonction liante. Cependant, suivant leur type, ils peuvent aussi contenir des constituants secondaires (fumée de silice, cendres volantes, laitiers de haut fourneau...). Le ciment se présente sous forme de grains ayant une grande dispersion de taille (le diamètre varie de 1 à 100 μm) et de forme, dont le diamètre moyen est d'environ 10 μm .

Le ciment utilisé est le CPJ CEMII 42.5N fourni par l'ENGOA.



Figure. II. 4 : ciment

➤ **Caractéristiques physiques du ciment**

Tableau .II. 2 : Les caractéristiques physiques du ciment (CPJ CEMII 42.5N).

Caractéristiques	Résultats	Unités
Consistance normal	25.81	(%)
Début de prise	161	(min)
Fin de prise	244	(min)
SSB	4162	(cm ² /g)
Masse spécifique	3.1	(g/cm ³)

L'ore des essais réaliser sur la caractérisation physique de ciment on a trouvé que les résultats sont presque égaux que celle de la fiche technique

➤ **Composition chimique du ciment**

Tableau .II. 03 : Composition chimique du ciment (CPJ CEMII 42.5N).

Éléments	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SO ₃	CaO libre	Cl ⁻	Ins	P.F
Teneur (%)	17.50	5.17	2.92	60.21	1.87	0.57	0.18	2.59	1.434	0.020	0.70	8.630

Le ciment Matine est riche de composition chimique tel que le c_ao , s_io₂ et le Mgo

➤ **Composition minéralogique du ciment**

Tableau .II. 04 : Composition minéralogique du ciment (CPJ CEMII 42.5N).

Eléments	C ₃ S	C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	CaO	gypse	Calcaire	Pouzzolane
%	58	18	6	13	1	5	5	7

2. Les granulats

Les granulats utilisés pour la fabrication du notre béton sont d'origine naturelle. Ils proviennent essentiellement de roches sédimentaires siliceuses ou calcaires, station de concassage de 1er mai. Qu'elle est alimenter par le ballaste (25/40 mm) de la carrière **ALGRAN KADDERA**.

De roches métamorphiques telles que le quartz et quartzites, ou de roches éruptives telles que les basaltes, les granites ou les porphyres. Indépendamment de leur nature, les granulats de carrière (dits granulats concassés).

Les granulats utilisés doivent avoir une bonne résistance mécanique et leur courbe granulométrique doit être optimisée pour avoir une grande compacité. Tarois classes granulaires sont utilisées dans un même béton.

2.1. Les Essais réalisés

- Granulométrie et mesure du coefficient d'aplatissement
- Densité apparente et absolue
- Essai d'absorption
- Propreté superficielle
- Essai équivalent de sable pour le sable
- Essai de dureté Los Angeles pour le gravier

2.2 . Conditionnement des échantillons

Les agrégats ont fait l'objet de quartage pour prise d'essai et séchage dans une étuve à 105°C.

Les essais des agrégats sont faits en application des normes suivantes :

Tableau .II. 5 : les normes des essais

Essais	Norme
Granulométrie	NF EN 933-1
Coefficient d'aplatissement	NF EN933-3
Densité	NF P 18.554
Equivalent de sable	NF EN933-8
Los Angeles	NF EN 1097-2
Essai d'absorption	NF EN 1097-6
La masse volumique apparente	NF EN1097-3
la masse volumique absolue	NF EN 1097-6
Micro-Deval	NF EN 1097-1
Propreté superficielle	NF P 18-591

2.3. Caractéristiques physiques et mécaniques de sable

Sables : grains de dimensions comprises entre 0.08 mm et 3 mm,



Figure .II. 5: sables 0/3

Tableau .II. 6 : Granulométrie (Passants en %)

Tamis (mm)	31.5	25	20	16	12.5	10	8	6.3	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
Sable 0/3	100	100	100	100	100	100	100	100	100	99.53	73.25	43.17	21.83	7.77	1.16

La qualité des constructions en béton dépend beaucoup de la composition granulométrique, le sable destinés aux bétons doivent comprendre des grains de diverses grosseurs, afin de réduire autant que possible les vides. L'analyse granulométrique est la première des recherches caractérisant les granulats en déterminant la grosseur des grains qui les constituent, et le pourcentage des grains de chaque grosseur.

Tableau .II. 7 : La masse volumique absolue

Fraction	Volume 1 (cm ³)	Volume 2 (cm ³)	Masse (g)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)
Sable 0/3 KEDDARA	60	84.3	63	2.59	2.60
	60	60	82.98	2.61	

Tableau .II. 8 : La masse volumique apparente

Fraction	Volume (cm ³)	Masse 1 (g)	Masse 2 (g)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Sable 0/3 KEDDARA	2000	1787.5	4907.5	1.56

La masse volumique est nécessaire à connaître lorsque par exemple on élabore une composition de béton. Ce paramètre permet, en particulier, de déterminer la masse ou le volume des différentes classes granulaires mélangées pour l'obtention d'un béton dont les caractéristiques sont imposées.

Tableau. II. 9 : Densité apparente et absolue

Fraction	Densité Absolue (t/m ³)	Densité Apparente (t/m ³)	Propreté superficielle	Coefficient d'absorption	Coefficient d'aplatissement
Sable 0/3	2.60	1.56	/	0.88	/

Tableau .II. 10 : Module de Finesse « MF » Équivalent de Sable « ES »

Sable	Module de Finesse	Équivalent de Sable « Piston »
Sable 0/3	2.54	84 %

Module de finesse : C'est une caractéristique intéressante, surtout en ce qui concerne les sables. Un bon sable à béton doit avoir un module de finesse d'environ 2,2 - 2,8 ; au dessous, le sable a une majorité de déliements fins et très fins, ce qui nécessite une augmentation du dosage en eau ; au dessus, le sable manque de fines et le béton y perd en ouvrabilité. Pour notre exemple le sable est de classe A. $1.8 \leq Mf \leq 3.2$

2.5. Caractéristiques physiques et mécaniques des granulats 3/8, 8/15

- ✓ **gravier** : ceux dont les dimensions sont comprises entre 3 mm et 15 mm,



Figure. II. 6: Granulats 3/8, 8/15

Tableau .II. 11 : Granulométrie (Passants en %)

Tamis (mm)	31.5	25	20	16	12.5	10	8	6.3	5	2.5	1.25	0.63	0.315	0.16	0.08
8/15	100	100	100	99.44	78.74	44.19	13.03	1.97	0.64	/	/	/	/	/	/
3/8	100	100	100	100	100	100	99.20	80.41	52.58	9.4	0.75	/	/	/	/

L'analyse granulométrique est la recherche du pourcentage des grains ayant une grosseur inférieur ou égale au diamètre d du tamis.

C'est pour cela que l'analyse granulométrique étudie la taille de ces particules et a pour but de déterminer le pourcentage de ces différentes tailles de particules constituant l'échantillon de sol, afin de pouvoir établir la courbe granulométrique qui nous donne pour chaque diamètre d le pourcentage des particules de dimension inférieur ou égale à d.

Tableau .II. 12 : Coefficient d'aplatissement

Tamis (mm)	31,5/40	25/31.5	20/25	16/20	12,5/16	10/12.5		
Refus Mg (g)	/	/	1767.8	2546	679.3			<i>Aplatissement moyen :</i> $A = \frac{\sum Me}{\sum Mg} \times 100$ $A = 4.76$
Ecartement des grilles Me (mm)	20	16	12,5	10	8	6.3		
Passant	0.00	0	114.5	123.4	0			

La qualité d'un béton dépend beaucoup de la qualité des granulats, Parmi ces qualités la forme, Les graviers dont la forme se rapproche de la sphère ou d'un cube sont excellents et on peut les utiliser pour faire un béton de qualité au contraire les graviers en aiguilles ou en plaquette sont à éviter car ils donnent un mauvais béton poreux en général.

Tableau .II. 13 : La masse volumique absolue

Fraction	Volume 1 (cm ³)	Volume 2 (cm ³)	Masse (g)	Masse volumique absolue (g/cm ³)	Moyenne (g/cm ³)
Gravier 3/8 KEDDARA	62	84.7	60	2.64	2.64
	61	83.7	60	2.64	
Gravier 8/15 KEDDARA	60	82.2	59	2.65	2.65
	61	83.8	60	2.63	

Tableau .II. 14 : La masse volumique apparente

Fraction	Volume (cm ³)	Masse 1 (g)	Masse 2 (g)	Masse volumique apparente (g/cm ³)
Gravier 3/8 KEDDARA	2000	1787.5	4587.5	1.40
Gravier 8/15 KEDDARA	2000	1787.5	4667.5	1.44

La masse volumique d'un granulat est le rapport entre sa masse et son volume. Pour un granulat donné, ce rapport est une constante qui est propre aux caractéristiques physiques du granulat. Elle permet d'établir un lien entre sa masse et son volume. La masse volumique permet donc de connaître le volume d'un granulat lorsque l'on connaît sa masse et réciproquement

Tableau .II. 15 : Densité apparente et absolue

Fraction	Densité Absolue (t/m ³)	Densité Apparente (t/m ³)	Propreté superficielle	Coefficient d'absorption	Coefficient d'aplatissement
Fraction 8/15	2.65	1.44	1.55	0.35	11.2
Fraction 3/8	2.64	1.40	1.7	0.35	/

Tableau .II. 16 : Caractéristiques mécaniques

GRAVIER	LA	MDV
Gravier 8/15	22.77	17.25

La résistance mécanique des granulats influence certainement celle du béton, mais sa caractérisation ne fournit que peu d'indication sur les propriétés du béton [. En revanche, la

qualité de la liaison granulats/pâte de ciment qui elle, est directement influencée par les propriétés des granulats, a un rôle majeur.

Les granulats constituent une phase généralement inerte au sens où ils ne participent pas à la réaction d'hydratation du ciment. Néanmoins, certaines interactions chimiques avec la pâte de ciment peuvent être préjudiciables au béton comme la réaction alcali-granat. Les granulats participent grandement à la résistance mécanique du béton et leur fraction volumique est de 50% à 80% du volume total du béton. Ils sont caractérisés par leurs courbe granulométrique

3. L'eau de gâchage

L'eau permet d'activer la réaction d'hydratation du ciment anhydre et donner une pâte cimentaire durcie. La quantité d'eau initiale est un paramètre de formulation qui conditionne les propriétés mécaniques (résistance, raideur...) et de transfert (porosité, perméabilité...). Ce paramètre est donné par le rapport massique de la quantité d'eau à celle du ciment, noté E/C. Ce rapport affecte également la saturation initiale du matériau, c'est-à-dire l'eau disponible dans le réseau poreux après hydratation.

4. Adjuvants

Description : ADVA flow 390 est un super plastifiant de nouvelle génération, haut réducteur d'eau conférant au béton prêt à l'emploi une grande ouvrabilité et une rétention de skimp pour le coulage difficile même a hout température.

ADVA flow 390est adapte au béton fluide, BAP, BHP

C'est un adjuvant poly carboxylate conforme la norme EN 934-2(T3 .1-3.2) ASTM C 494 type A et type F

➤ Caractéristique technique

Aspect : liquide clair opaque

Densité : $1,050 \pm 0,02$ 20 °c

Teneur en chlorure : <0,1%

Conservation : 12 mois

Dosage : de 500 a 1500 ml pour 100kg de ciment (0,5a 1,5 de ciment), les effets du produit dépanade de la quantité introduit des essais préalable utilisant les matériaux de site sont donc nécessaire pour optimise les dosage et atteindre les propreté recherche (ouvrabilité, début de prise et final , retrait).

Mise en oeuvre : l'adjuvant sera ajouté à une partie de l'eau de gâchage au cours du malaxage.

Après l'ajout du super-plastifiant, il est recommandé de mélanger (les composants) deux minutes afin de disperser le produit.

Il est préférable que les adjuvants liquides soient incorporés dans le malaxage avec une installation automatique (délai sur demande).

5. Fibres Dramix

Elles sont fabriquées à partir de fil d'acier non allié destiné au tréfilage et au laminage à froid selon les normes NF EN ISO 16120-1 et NF EN ISO 16120-2 et bénéficient du marquage CE. Les fibres sont conformes à la norme européenne EN 14889-1 et font l'objet d'un marquage CE suivant le système 1 (utilisations structurelles). Le dosage déclaré est de 10 kg/m³. Les caractéristiques détaillées concernant ces fibres sont précisées par la fiche de spécifications BEKAERT AS-10-06, déposée au CSTB, celui-ci étant informé de toute modification ultérieure éventuelle. La fibre comporte à chacune de ses extrémités un façonnage en forme de baïonnette appelé « crochet » destiné à favoriser son ancrage dans le béton.

➤ Caractéristiques dimensionnelles et physiques

- Longueur de la fibre : $L_g = 30/35/40/50/60$ mm
- Diamètre du fil : entre 0,45 mm et 1,05 mm
- Longueur des extrémités des crochets L : $1,5 \leq L \leq 4$ mm
- angle du crochet : $\alpha \geq 20^\circ$
- Résistance à la traction du fil : $R_m > 1\,050$ N/m²

Les fibres Dramix® sont exclusivement produites dans les usines BEKAERT. La fabrication est certifiée ISO 9001 soumise à un contrôle interne décrit dans le Manuel Qualité de BEKAERT.

Identification de la fibre - Nomenclature Dramix® 3D 80/50BG et Dramix® 3D 80/50BB

Type d'ancrage : **3D** = fibre avec 2 crochets.

Facteur d'élanement : $L/d = 50/0,62 = \mathbf{80}$.

Longueur L (mm) : **30**

Revêtement : **B** = fil clair non revêtu (Bright).

Conditionnement : **G** = fibres encollées en plaquette (Glued).

La colle utilisée pour le conditionnement des plaquettes est soluble à l'eau.

Conditionnement : **B** = fibres en bande de sachets hydrosolubles pour doseur automatique.



Figure .II. 7 : Fibres Dramix

6. Poudre de marbre

Le marbre est une roche métamorphique compacte commercialisée par l'entreprise Nationale de marbre « ENAMARBRE » de la carrière de Fil-Fila située à 25 Km à l'est du centre-ville de SKIKDA. Extraite par abattage à l'exploitation, des moellons de dimension variant de (80-100 cm), qui sont concassés, broyés pour obtenir une poudre finement broyée. Les caractéristiques de la poudre de marbre sont présentées dans les tableaux(II.17.18.19) suivants :

Tableau .II. 17 : Caractéristiques physiques de la poudre de marbre

Couleur	Blanche
Masse volumique	972,0kg/m ³
Masse spécifique	2,68kg /m ³
SSB	5500cm ² /g

Tableau .II. 18 : Composition minéralogique de la poudre de marbre

Minéraux présents	%
Quartz SiO_2	1,5
Calcite $CaCO_3$	95,5
Dolomite $CaMg(CO_3)$	03
Albite $NaAlSi_3O_8$	–
Feldspaths k (orthoclase) $(K_2O 6SiO_2 Al_2O_3)$	–
Illite $2K_2O Al_2O_3 24SiO_2 2H_2O$	–
Minéraux ferrugineux+autres	–
Total	100

Tableau .II. 19 : Compositions chimiques de la poudre de marbre

ELEMENT	%
SiO_2	0,48
Al_2O_3	0,10
Fe_2O_3	0,12
CAO	54,54
Mgo	0,72
SO_3	0,46
SO_2	0,01
Na_2O	0,01
P_2O_5	0,02
TiO_2	0,01
P A F	43,53
TOTAL	100

B) FORMULATION

1. Formulation de béton

L'étude de composition de béton consiste à définir le mélange optimal des différents constituants : gravier, sable, ciment, L'eau, afin de réaliser un béton de qualité.

Sachant que : le ciment (C) est considéré comme un liant, Le mélange optimal est obtenu par la méthode graphique dite méthode **DREUX-GORISSE**. La composition retenue pour 1M²de béton est la suivante :

La méthode de calcul de ciment dans un 1 M³ de béton est la suivante :

1.1. Résistance moyenne désirée σ'_{28}

$$\sigma'_{28} = G\sigma(C/E - 0,5)$$

Avec :

σ'_{28} : résistance a 28 jours (MPa).

σ'_c : classe vrai de ciment a 28 jours(MPa).

C : dosage de ciment (kg/m³).

E : dosage en eau totale sur matériau sec (L/M³).

G : coefficient granulaire.

On commencera par évaluer approximativement le rapport C/E en fonction de la résistance moyenne désirée F_c .

1.2. Dosage en ciment

$$F_c = G.F_{ce} (C/E - 0.5)$$

Valeur approximative du coefficient granulaire G est déterminée selon le tableau (II.20) suivant.

Tableau .II. 20 : Caractéristiques des granulats

Qualité des granulats	Dimension D des granulats		
	Fins D/16	Moyennes 20/ D /40	Gros D /50
Excellente	0.55	0.6	0.65
Bonne courante	0.45	0.5	0.55
Passable	0.35	0.4	0.45

1.3 : Application numérique :

$F_c = 40 + 15\% = 46 \text{ Mpa}$

$G = 0.5$ (voir Tableau .II. 20)

$F_{ce} = 42.5$ (la classe de ciment MATINE 42.5 Mpa)

Donc : le rapport $C/E = 2.66$

Analyse granulométrique par tamisage NF P 933-1

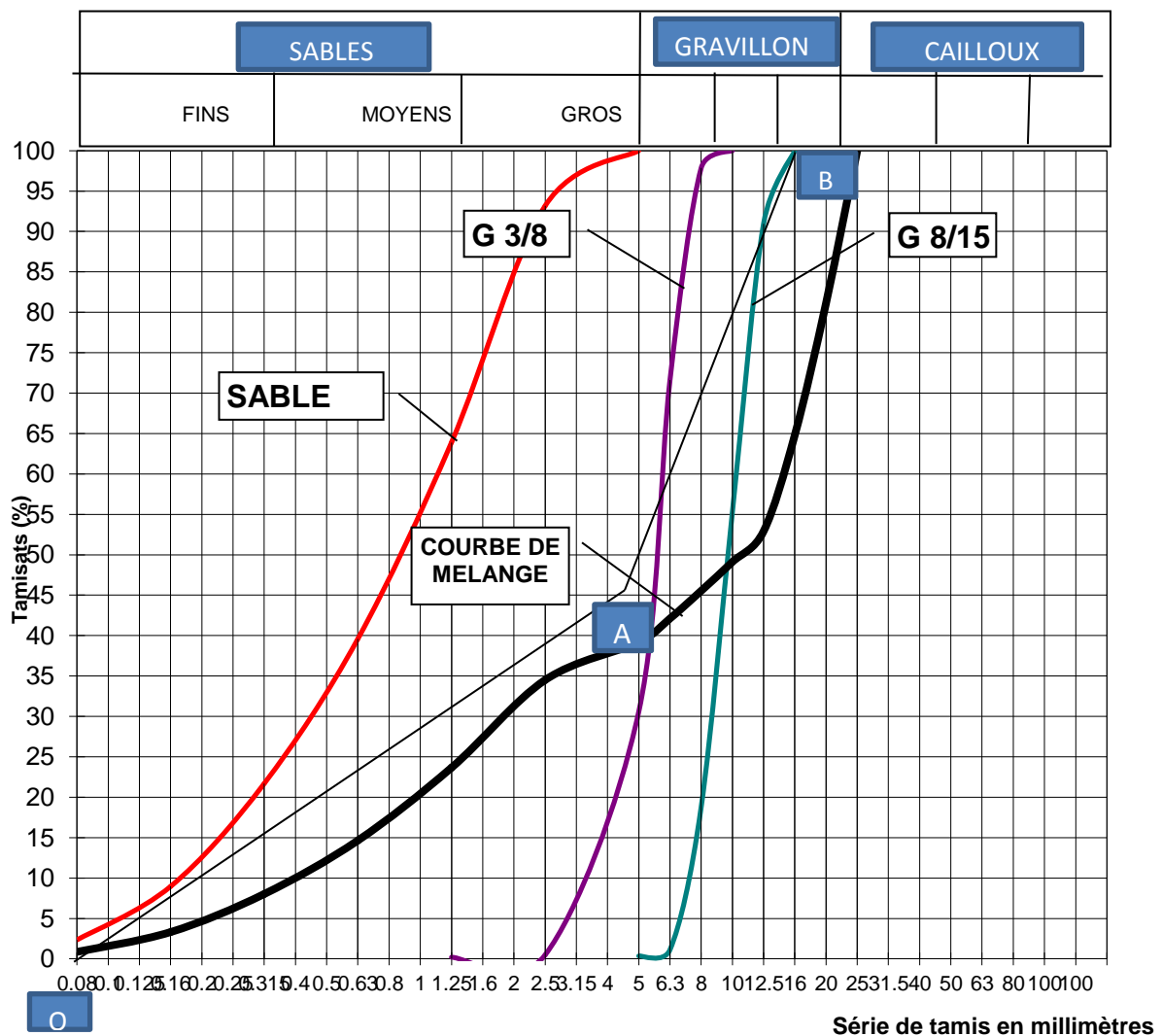


Figure .II. 8 : Courbe Granulométrique

Rapport E/C=0,38

Densité adva flw 390 =1,06g /cm³

Eau = 180 l/m³

Adjuvant = 4.43 l/m³

Volume occupé de ciment + eau + adjuvant + vides

Volume occupé des granulats

Gravier /Sable = 1.50

Adjuvant ADVA flow 390 1 % en poids de ciment

Tableau .II. 21 : les quantités de chaque constituant

Composants	Kg	Litre
Ciment CPJ 42.5	470	152
EAU	180	180
Adjuvant	4.7	4.43
Gravier 8/15	640	242
Gravier 3/8	400	152
Sable 0/3	690	265
Densité	2,39	t/m ³
Affaissement		19.5 cm

Tableau .II. 22 : Quantité des composants obtenus

Composants	Pourcentages composants (%)	Volume absolu Sec (litre)	Volume absolu composants (litre)	Densité absolue (t/ m ³)	Composants (kg/ m ³)	Densité apparent (t/ m ³)
8/15	37	659	242	2.65	640	1.42
3/8	23		152	2.64	400	1.36
sable 0/3	40		265	2.60	690	1.47
Ciment	/	152	152	3.10	470	3.10
Eau	/	170	180	1	180	

Suivant le mélange théorique obtenu et après une certaine correction de béton à l'état frais, il a été procédé à une gâchée de béton au laboratoire, pour la confection de DOUZE (12) éprouvettes cylindriques de 16 cm de diamètre et 32 cm de hauteur, après avoir été soumis à l'essai SLAMP TEST pour vérifier la consistance du béton à l'aide du cône d'ABRAMS.

Les résultats obtenus sont :

Tableau .II. 23 : Affaissement

T	T ₀	T ₃₀	T ₆₀
Affaissement (cm)	19.5	17	14

L'ouvrabilité est évaluée à l'aide de cône d'abrams, on mesurant l'affaissement selon la norme NF P18.451, nous constatons que celui-ci diminue lorsque le béton est très ferme

Tableau .II.24 : Resistance a la comprissions

N° éprouvette	Numéro D'ordre	Date D'écrasement	Age (jour)	Poids (g)	Densité	Charge (KN)	RC (MPA)	RC Moyenne
1	01	10 /4/2018	7	14370	2246	78000	39.0	39.75
2				14430	2256	78000	39.0	
3				14400	2250	80000	40,0	
4				14300	2248	82000	41.0	
1	01	2/5 /2018	28	14370	2246	101000	50.5	51.75
2				14430	2256	107000	53.5	
3				14400	2250	102000	51	
4				14300	2248	104000	52	

L'ensemble des essais de comprissions réalise sont s'effectue a 7 et 28 jours après le coulage du béton par ailleurs, on peut effectuer des essais a 2 jours pour voire si la résistance est suffisante en cas de décoffrage.

Juste avant l'essai de compression, on mesure au régllet la hauteur réelle de l'éprouvette .ainsi que son poids, ce qui permet de déterminer le poids volumique de chacune delle

2. Malaxage et mise en oeuvre du béton

2.1. Caractéristiques propre de malaxeur

Les mélanges sont réalisés avec un malaxeur à axe vertical et pales constituées par des plaques, de capacité de 65 litres, ce type de malaxeur est très efficace et fournit, dans la plupart des cas, un béton très homogène, il permet pendant le malaxage d'observer la plasticité du béton et de corriger le dosage en eau si nécessaire. La plasticité est généralement vérifiée au cône d'abrams



Figure .II. 9 .malaxeur à axe vertical

2.2. Séquences de malaxage :

La séquence de malaxage adoptée, se décompose comme suit :

- ✓ Introduction du sable, ciment et des graviers dans le malaxer pour un temps de malaxage sec pendant 60 secondes.
- ✓ Introduction de l'eau d'une façon uniforme pour un temps de malaxage de 40 secondes.
- ✓ Pour le mélange en béton de fibres, celles-ci sont introduites en dernier à la main, par petites quantités, pour éviter la formation d'oursins.

Malaxage pendant 20 secondes, l'opération est répétée jusqu'à l'introduction totale de la quantité des fibres à incorporer

3. Ferrailage

Le ferrailage est constitué :

Les barres longitudinales : 4TØ8

Les barres transversales : Ø6 d'espacement 10 cm

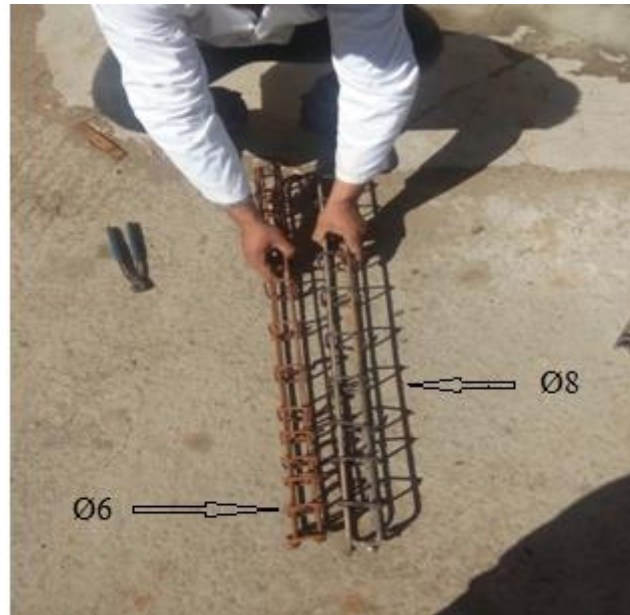


Figure .II. 10. Ferrailage des poutres

4. Préparation des éprouvettes

Pour notre cas de flexion en quatre points, nous avons choisis des éprouvettes prismatiques 10*15*100cm (largeur*hauteur*longueur) .

- ✓ Place en premier le ferrailage dans le moule
- ✓ Le remplissage des moules est réaliser en deux couches pour le béton armé, et en trois couches pour le béton armé fibré
- ✓ Le remplissage est fait en trois phases égales correspondantes, chacune au tiers (1/3) du volume total de moule.
- ✓ Les différentes phases de l'opération s'accompagnent d'une vibration externe a l'aide d'une tige métallique jusqu'au remplissage du moule, Généralement la durée de, on procède au lissage avec une truelle.
- ✓ La figure (II.11) explique les méthodes de remplissage des éprouvettes.



Figure .II.11. Les étapes de remplissage des moules

4 .Conclusion

L'identification physico-chimique des constituants a permis de déterminer les propriétés intrinsèques à savoir : la distribution granulaire, le retrait, l'équivalent de sable, la résistance de béton selon la composition, la nature des fibres... Etc.

1. le béton a l'état frais

1.1. **Affaissement** : L'ouvrabilité est évaluée a l'aide de cône d'abrams, on mesurant l'affaissement selon la norme NF P18.451, nous constatons que celui-ci diminue lorsque le pourcentage des fibres augmente Lors de mesure de la propriété de béton a l'état frais, on a observés que les BAFM1, 5 est très ferme

Tableau.III. 25 : Variation de l'affaissement des différents BAF.

Béton	BO	BAF 1%	BAF 1,5%	BAF 1,5%+PM
Affaissement (cm)	19,5	17	16	14,5

Les figures .III. (12) ci-dessous illustre comment procéder afin de mesurer l'ouvrabilité :



Figure.III. 12. Mesure de l'ouvrabilité

Remarque :

- D'après l'analyse des résultats montrent que l'affaissement diminue lorsqu'on ajoute les fibres et la poudre de marbre.

Commentaire :

La diminution d'affaissement de béton fibré et béton fibré avec addition de la poudre de marbre s'explique par :

- Les fibres métalliques empêchent l'écoulement du béton.
- L'écoulement est contrecarré par les fibres dans une ou plusieurs directions

2. Essai mécanique

Dans notre campagne expérimentale on a effectué l'essai de flexion quatre points sur des éprouvettes prismatiques à l'âge de 28 jours afin de suivre le mode de rupture et d'évaluer l'ouverture des fissures.

Le mode de rupture de quinze poutres (spécimens) était différent, et cela en fonction des paramètres pourcentage et type d'ajout. Trois modes de rupture typiquement observés; cisaillement vertical, fissures diagonales et verticales (bifurcation). Ces mécanismes de rupture peuvent être caractérisés comme suit : a) verticale (fissures) : pour les poutres BAFM₁, peu de fissures apparaissent à l'intérieur des appuis inférieures, et enregistré à partir de l'application du premier chargement et 1/3 de chargement maximal, sans augmentation de vitesse de chargement, une apparition d'autres fissures, qui n'ont pas provoqué le cisaillement de la poutre.

Contrainte ultime enregistrée juste avant la rupture de l'élément, la différence de comportement fragile entre le béton et les BAFM, la rupture se traduit par cisaillement de la poutre, par contre pour les bétons armés et les bétons armés renforcés de fibre métalliques atteints la rupture sans cisaillement.

L'essai est réalisé en considérant des éprouvettes prismatiques 15*10*100 cm de section. En général la rupture a lieu dès qu'apparaît la fissure centrale parallèle à l'effort appliqué, au bas de la zone médiane de la poutre qui se propage vers le haut,

La machine d'essai est une presse hydraulique de capacité maximale 200 kN reliée à une chaîne électronique permettant d'afficher de manière digitale la charge de rupture appliquée à l'éprouvette d'essai

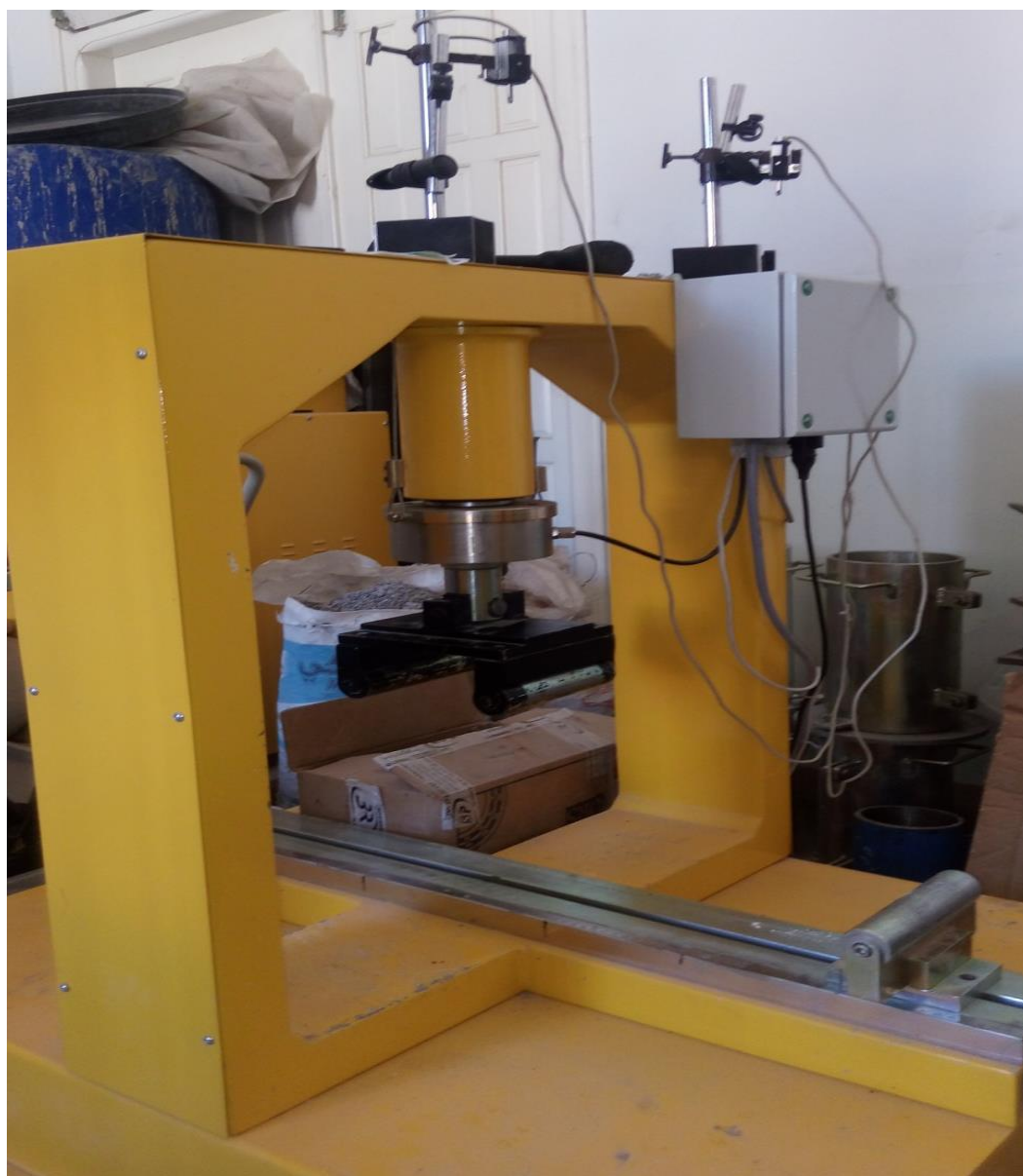


Figure.III. 13. la machine d'essai

La résistance à la flexion est donné par l'appareille sous forme de courbe, la contrainte en fonction du temps et la contrainte en fonction du déplacement, comme il montre sur la figure suivante :

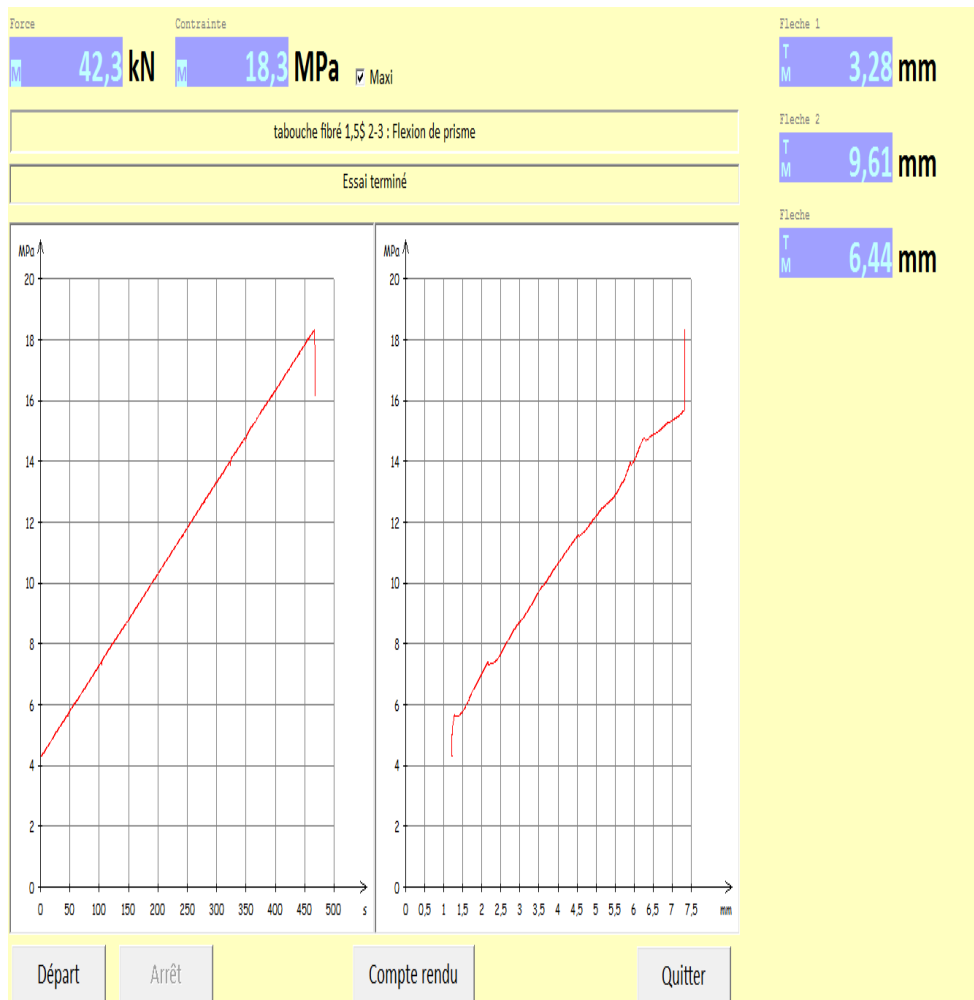


Figure.III. 14. Courbe contrainte-flèche

La courbe de contrainte déformation augmente significativement jusqu'à ce que l'élément de renforcement atteigne sa rupture ou la barre d'acier se déforme complètement, et à l'arrachement de la fibre métallique dans le cas des bétons armés fibrés (BAFM), comparativement à (M Yize Zuo composite structure 194(20018)263-278), la contrainte de GFRP ribs et les bars bent-up augmente significativement jusqu'à la rupture de spécimen ou la bars bent-up ne supporte plus le point d'inflexion.

3. Etude détaillée des Fissures

A) **Béton ordinaire** La désignation des poutres est par l'indice poutres (1-1), (12), (13).

Le BO est un matériau qui constitue de quantité des granulats (dans notre essaie : sable0/3, gravier 3/8 et gravier8/15), liées par une pate cimentaire (eau, ciment et adjuvant).Ca résistance est faible a la flexion, et la flèche est très petite (1,07mm).Lors de l'écrasement des spécimens de BO, la presse hydraulique ne peut pas détecter les fissures au niveau de la poutre, juste une fissure centrale suivie par un cisaillement en petite durée (1,5min).

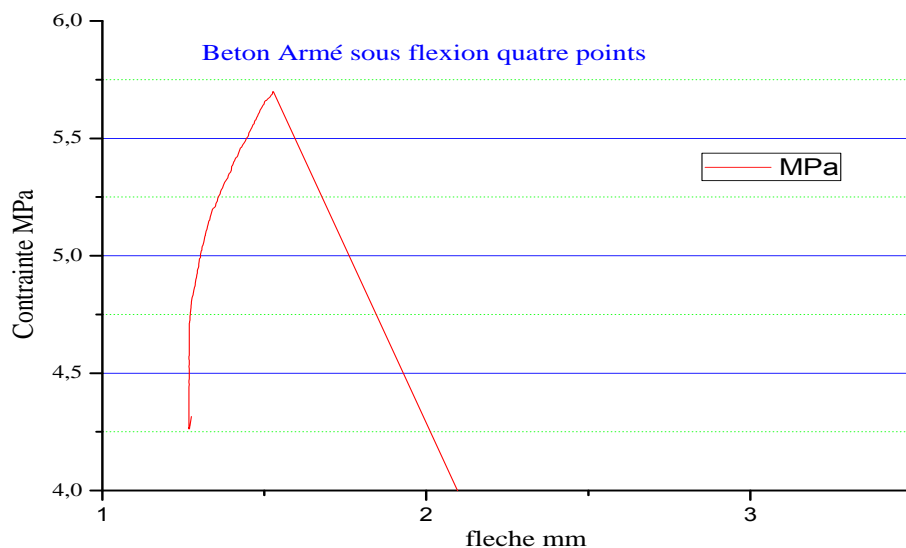
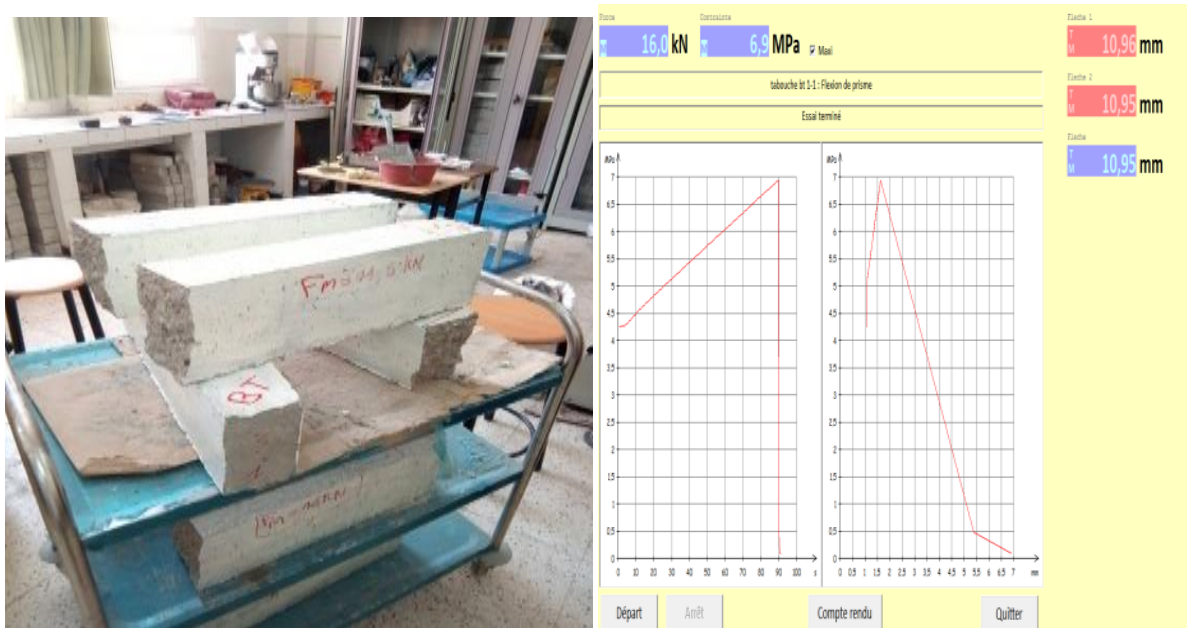


Figure.III. 15. Photo et courbe de flexion de la poutre BO

B) Béton Armés : la désignation des poutres est par l'indice poutres (1-2) , (2-2),(3-2)

Les poutres sont armées par des barres d'acier longitudinal $\phi 8$ et par des cadres de $\phi 6$ leurs section est $10*15*100\text{cm}$, avec un enrobage de 2cm .il sont conservé dans une température ambiante, leurs décoffrage a été fait 48heures après le Coulage, et conservé dans l'eau 7 jours.

Ces poutres ont été soumis a l'essai de flexion quatre points, les graphes obtenus sont représentés dans la figures suivante :(Figure .III.16.)

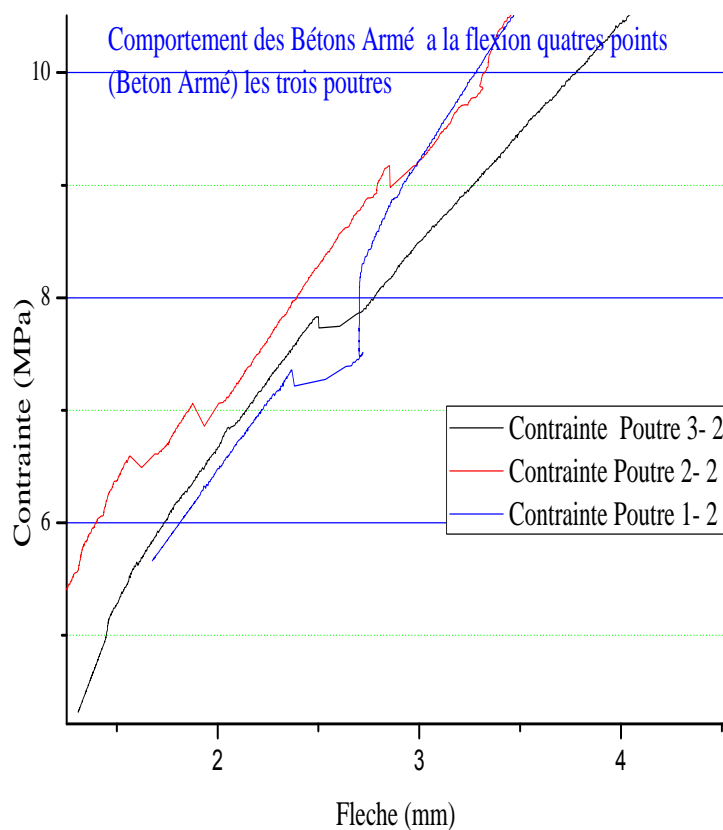


Figure .III.16. Comportement des poutres de BA

D'après la figure, on remarque une partie linéaire, la partie élastique des poutres se superpose. Et se ressemble dans quelque tronçon (même comportement), la charge moyenne de rupture est de 42KN .

Un détail de la partie élastique est présenté dans la (figure.III. 17) .

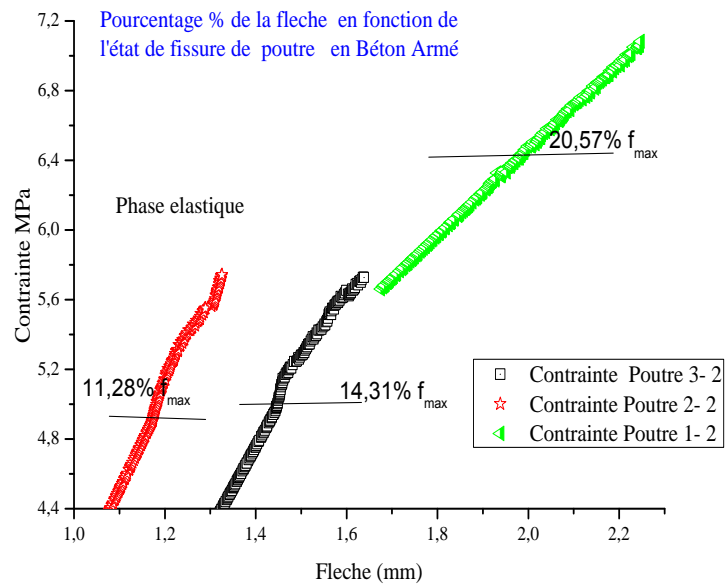


Figure.III. 17: la partie élastique des poutres de BA

Cette (figure III. 17) représente la partie linéaire de la poutre en béton armé soumis à la flexion, a la fin de cette partie nous avons calculés le pourcentage de la flèche par rapport a la flèche maximale.

La deuxième partie qui suite la partie linéaire est représentée sous une grande échelle (Figure .III.18) afin de voir les similarités de comportement.

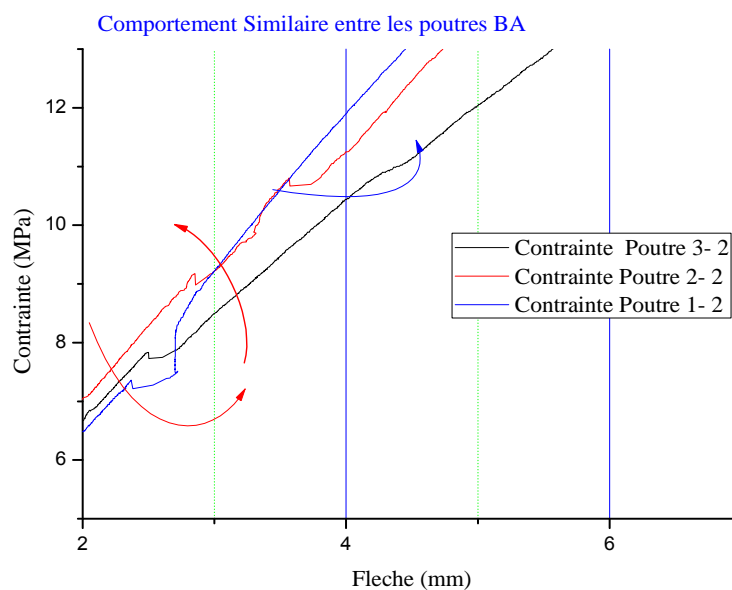


Figure.III.18 : comportement similaire entre les poutres de BA

On a observé la premier fissure lors de changement de l'allure de la courbe, et ceux pour les poutres (1-2) et (3-2).

➤ La poutre 1-2

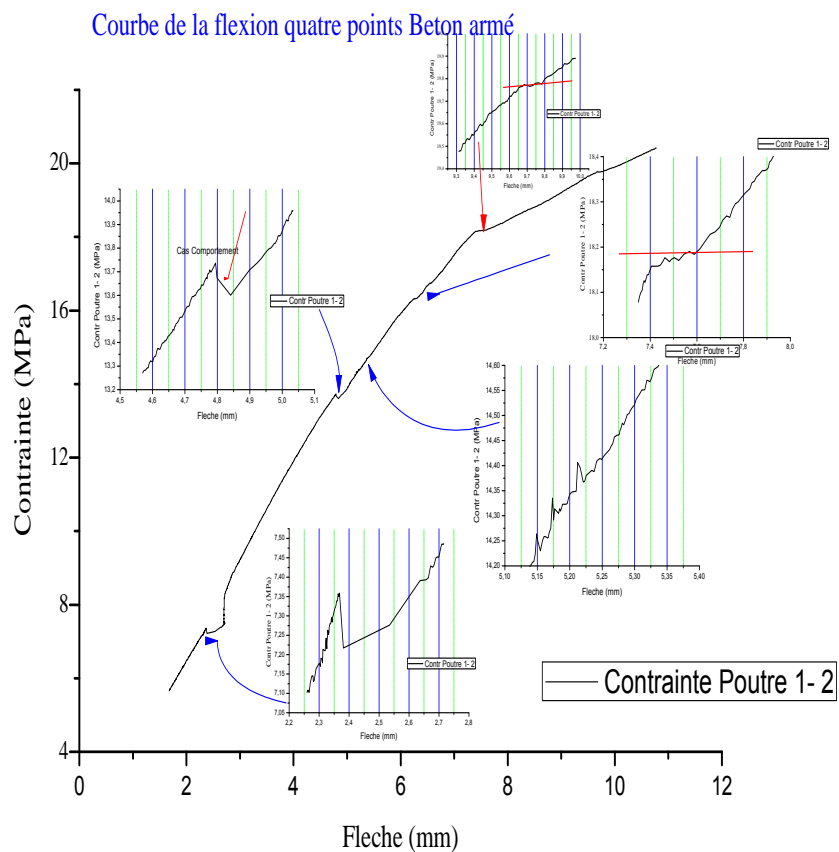
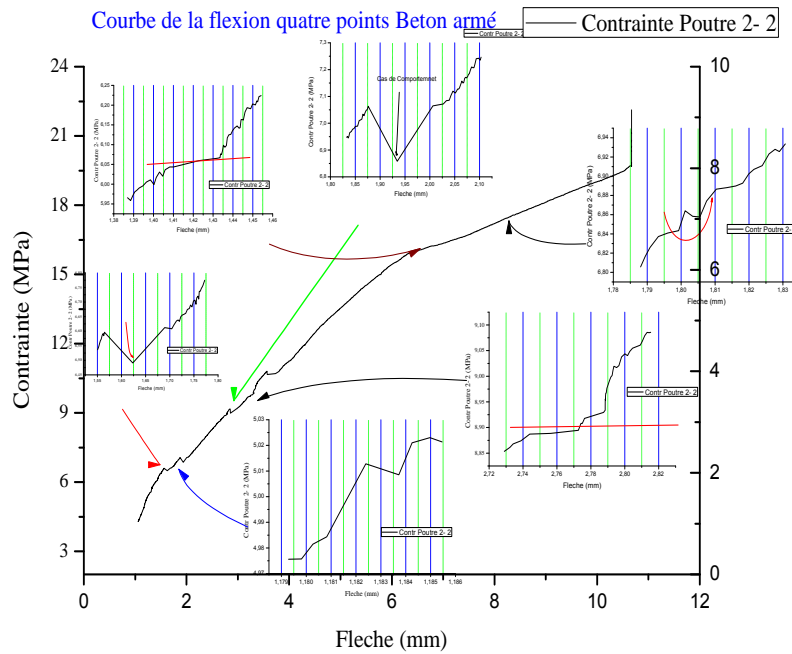
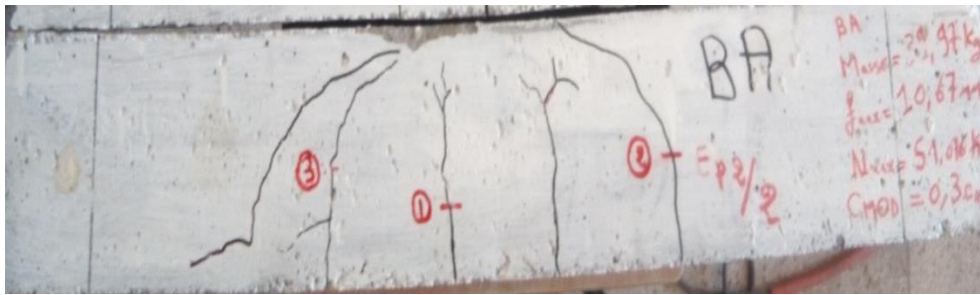


Figure.III.19. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-2 de BA

Dans cette poutre on remarque que la partie élastique et une ligne continue jusqu'à 2,5mm de flèche est de 7MPa de contrainte, et la première fissure détecté juste après la valeur de 2,5mm de la flèche jusqu'à 4,8mm. Les fissures se propages sur une surface proche au milieu de la poutre (surface limite) voir la (Figure.III. 19).

➤ La poutre 2-2 :



Fissure1



Fissure2



Fissure3

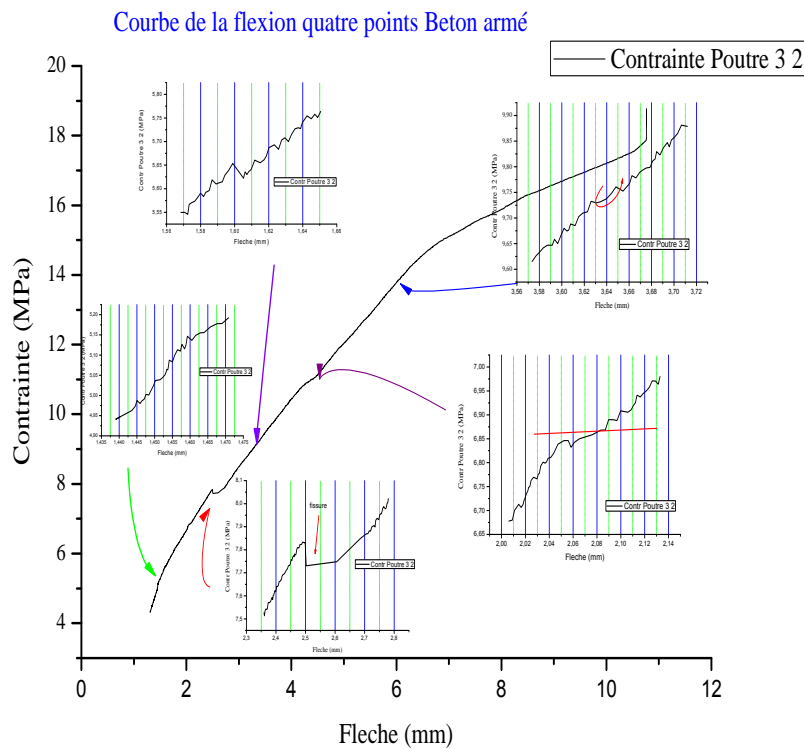


Fissure4

Figure.III. 20. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-2 de BA

Dans ce graphe on remarques une series des fissures verticales au départ, l'une après l'autre a partir de fin de partie linéaire (1,5 mm) de flèche jusqu'à rupture .Au total six(6) fissures , ces fissures se convergent vers l'axe transversale central , pour atteindre la rupture .

➤ La poutre 3-2 :



Fissure 1

fissure 2

fissure 3

fissure 4

fissure 5

Figure.III. 21. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-2 de BA

D'après la (figure.III. 21) on remarque que la partie élastique est limité entre la valeur de la flèche de 1mm et 1,5 mm, après on observe la propagation de la première fissure jusqu'à

1,7mm et au même temps on remarque un signale de deuxième fissure jusqu'a la rupture au point flèche-contrainte (6,3-14) mm.



Figure.III.22. les poutres de BA

C) Béton arme fibre 1% : La désignation des poutres de béton armé fibré à 1% de fibre est par l'indice poutres 1-4, 2-4 ,3-4 :

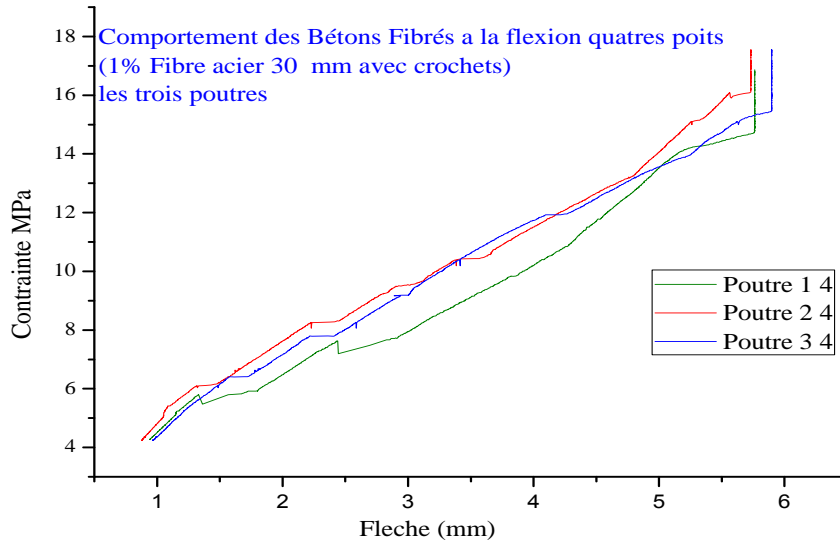


Figure.III. 23. Comparaison entre les poutres de béton fibré 1%

D'après la (figure.III. 23), on remarque que les trois graphes sont égaux, et presque parallèles, dans tous points de l'écrasement. Et la propagation des fissures et la même.

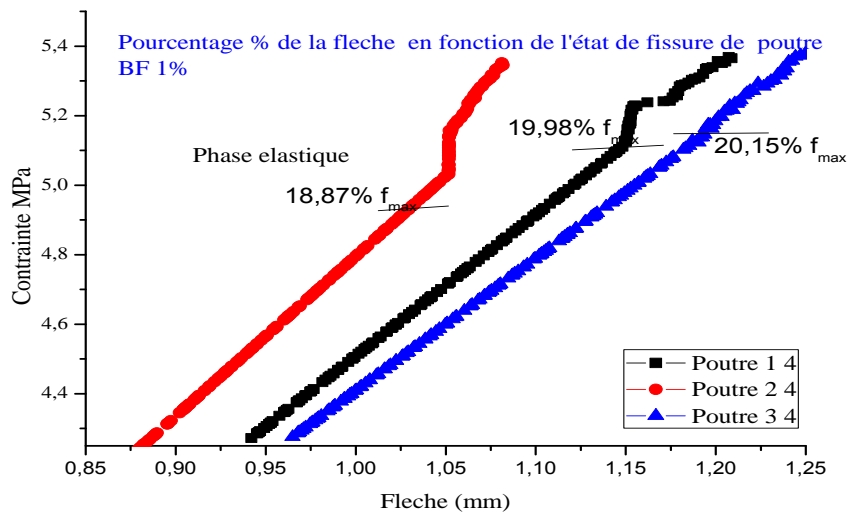


Figure.III.24. la partie élastique des poutres de BAF 1%

Et on a un comportement similaire entre les trois poutres c'est-à-dire : en même point (flèche –contraint) dans toutes les poutres, subit une fissure comme indique la figure.III. (25)

:

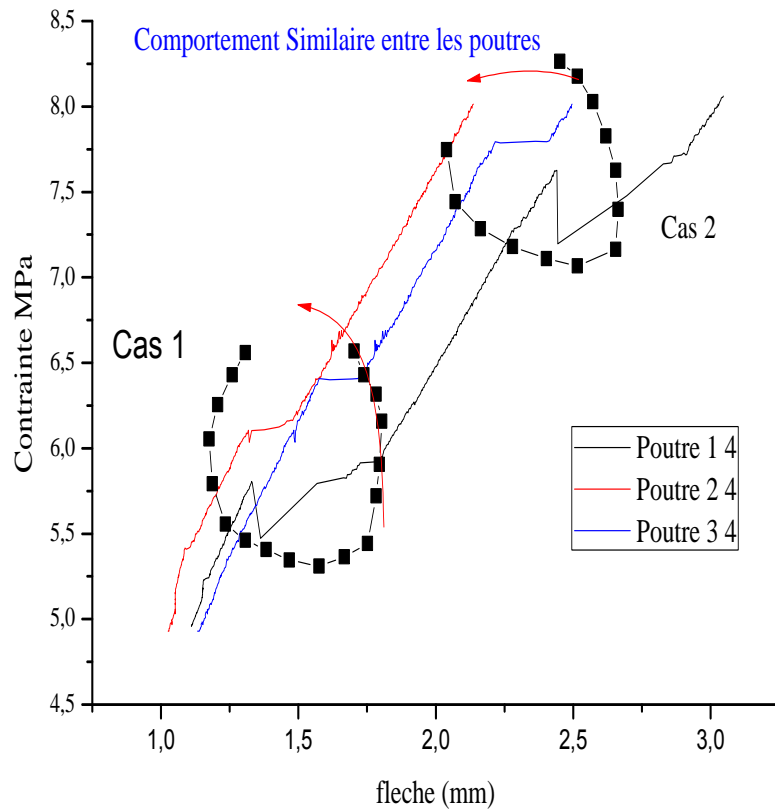
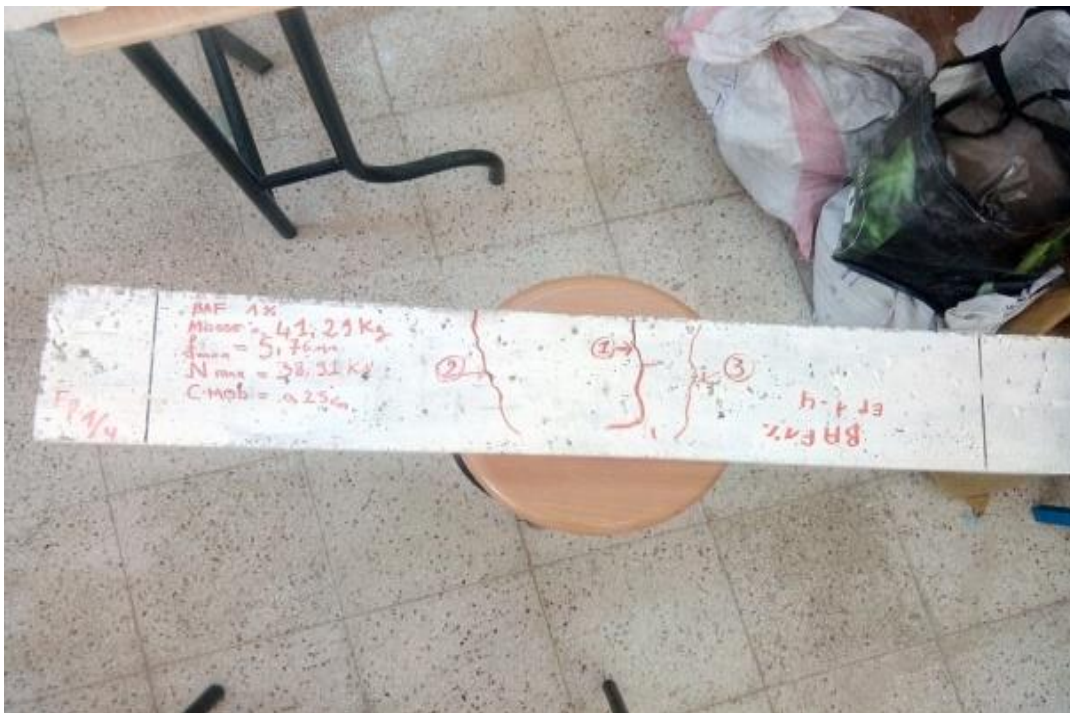
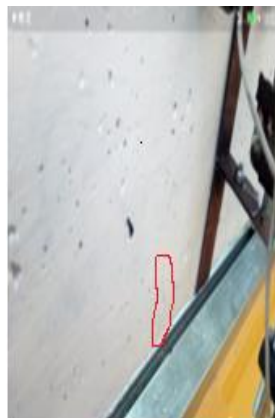
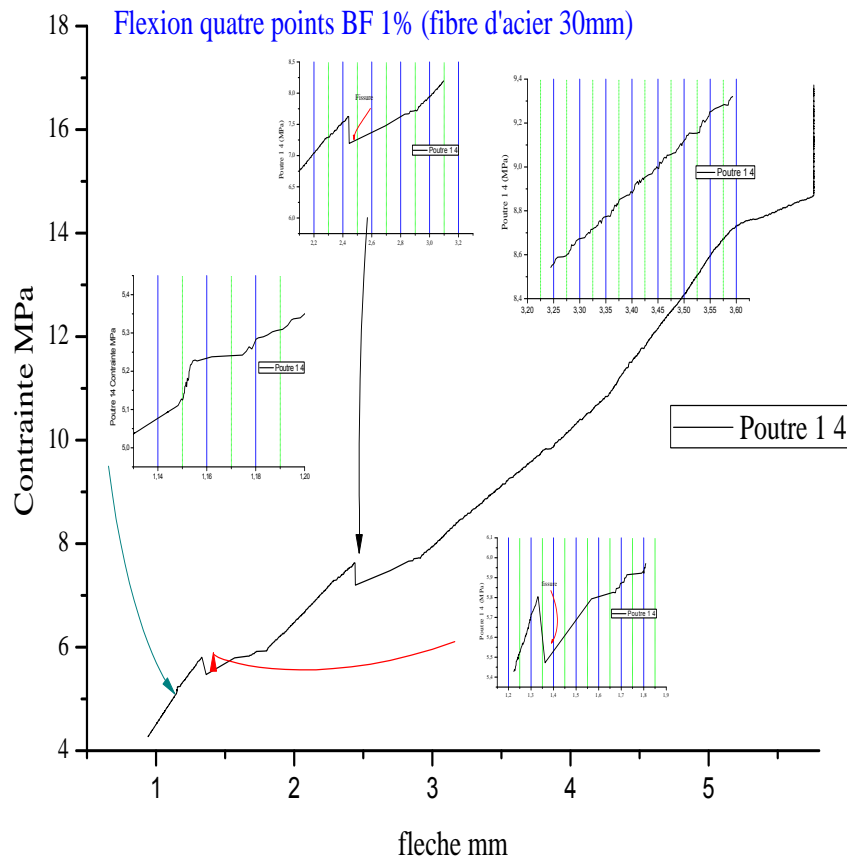


Figure.III. 25. Comportement similaire des poutres de BAF 1%

➤ la poutre1-4 :





Fissure 1

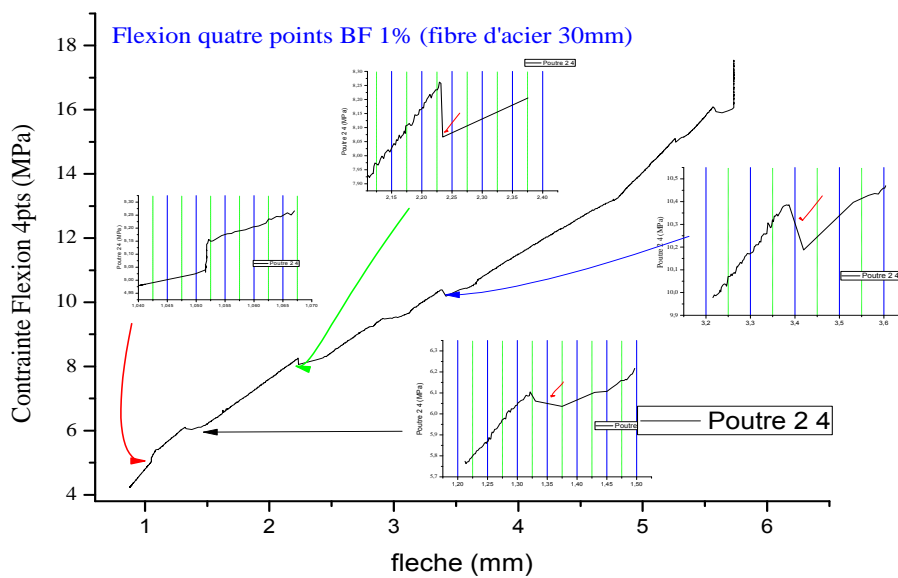
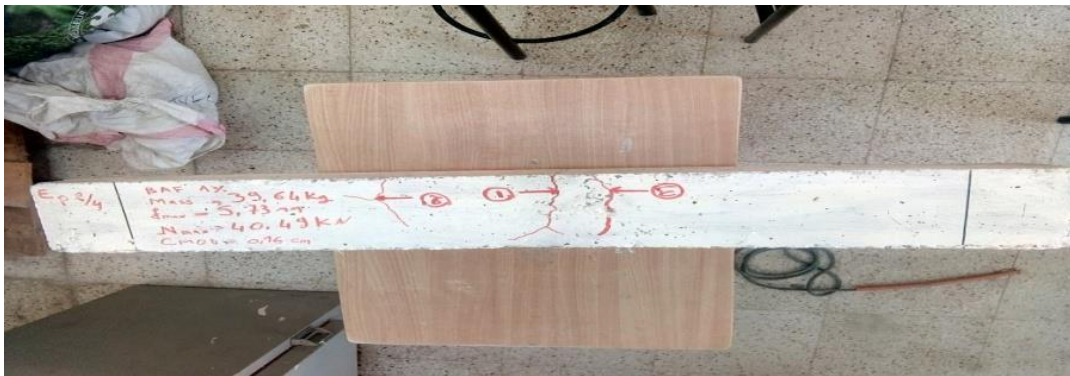


fissure 2

Figure.III. 26. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-4 de BAF 1%

Dans cette poutre on a une partie élastique de fleche 1mm jusqu'à 1,3mm. dans cette partie on a des fissures microscopiques qu'on ne peut pas voir sauf avec le microscope après la poutre va prendre une autre forme dite plastique de fleche > 1,3mm. Dans cette partie on remarque des fissures avec des ouvertures un peu grandes. (Figure.III. 26.)

➤ la poutre 2-4 :



Fissure 1



fissure2



fissure 3

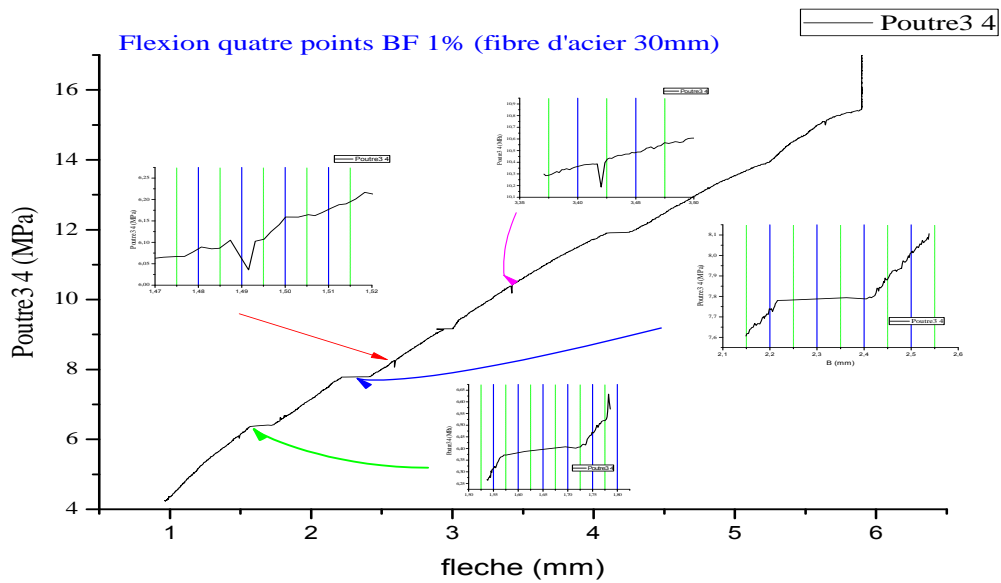


fissure 4

Figure.III. 27. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-4 de BAF1%

Dans cette poutre on remarque la partie élastique est de flèche 1,2mm après on remarque des fissures juste après (partie plastique)

➤ la poutre 3-4 :



Fissure 1



fissure 2



fissure 3

Figure.III. 28. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-4de BAF1%

On a une partie élastique de 1mm jusqu'à 1,5mm, après on remarque la première fissure juste après 1,5mm, et va propager jusqu'à 2,2mm(le début de la deuxième fissure), et suivi par d'autres fissures, avec des ouvertures différentes voir la figure (III.29) :

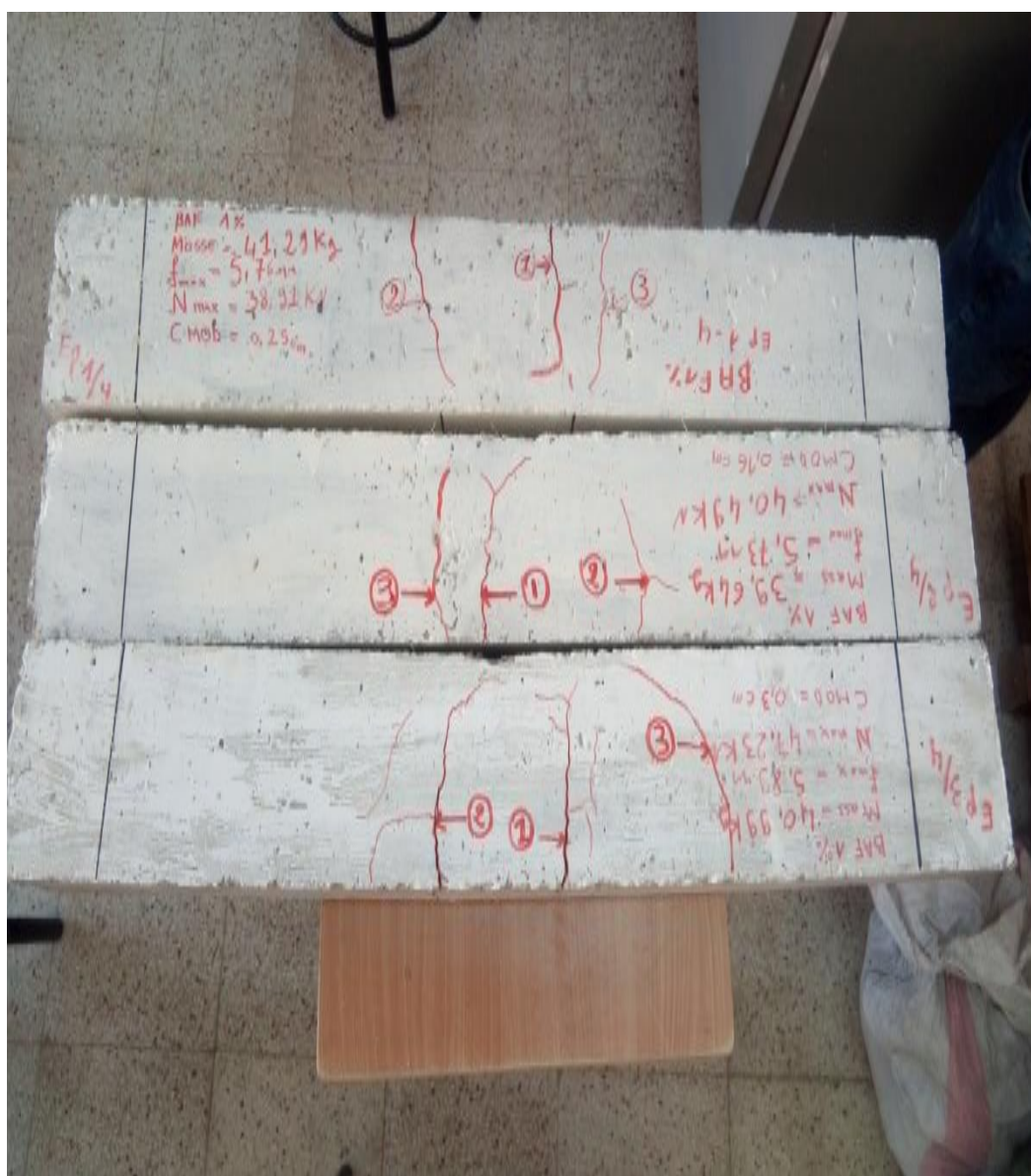


Figure.III. 29. Les poutres de BAF 1%

D) Béton arme fibre 1,5% : La désignation des poutres de béton armé fibré à 1,5% de fibre est par l'indice poutres 1-3, 2-3, 3-3 .

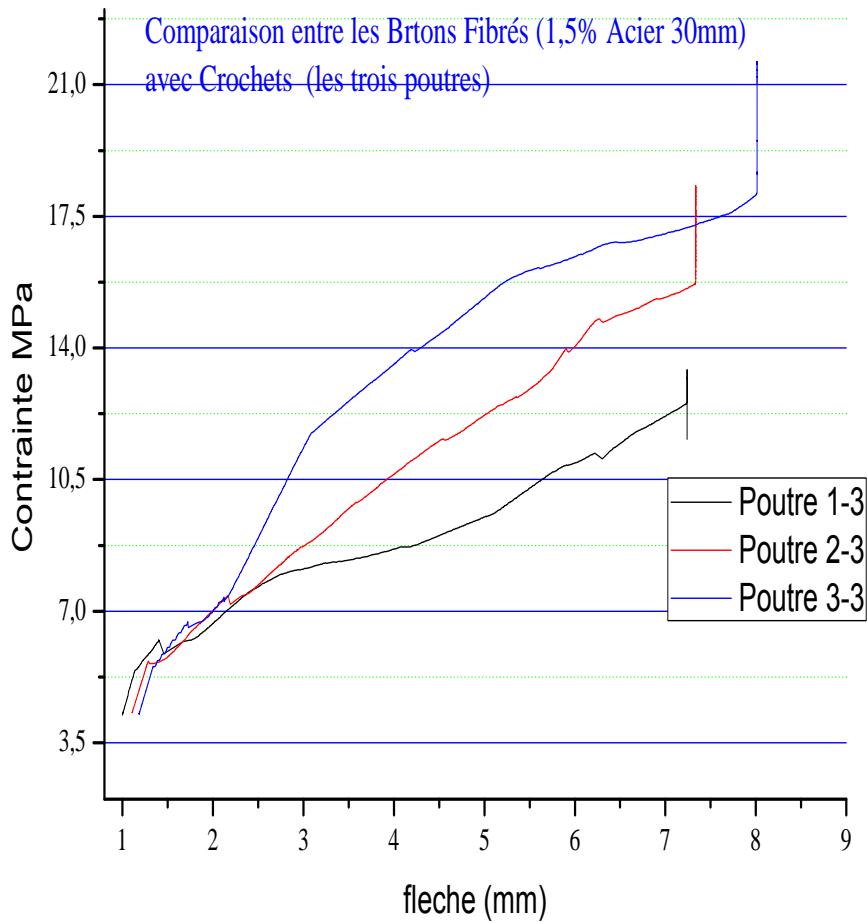


Figure III.30. Comparaison entre les poutres de béton fibres 1,5%

D'après la (figure .III 30) on remarque que la partie élastique des poutres des bétons BAFM1,5% se superposent, la partie rectiligne de ces graphes est en générale inferieur a 20% de la flèche et a 29% de la contrainte voir la figure.III.(31) .

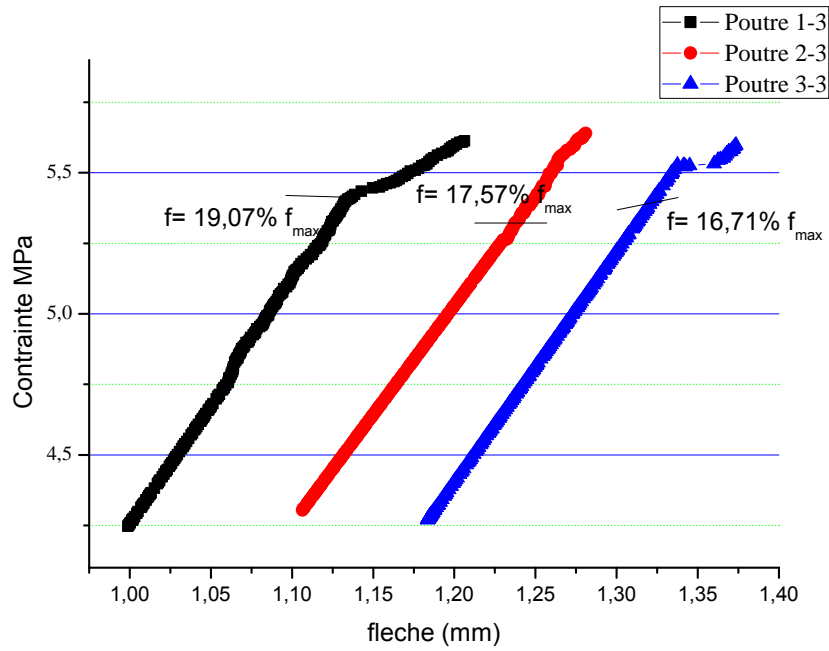


Figure.III. 31. Partie Elastique des poutres de BAF 1,5%

Et la propagation des fissures est presque la même, (voir la figures 32) :

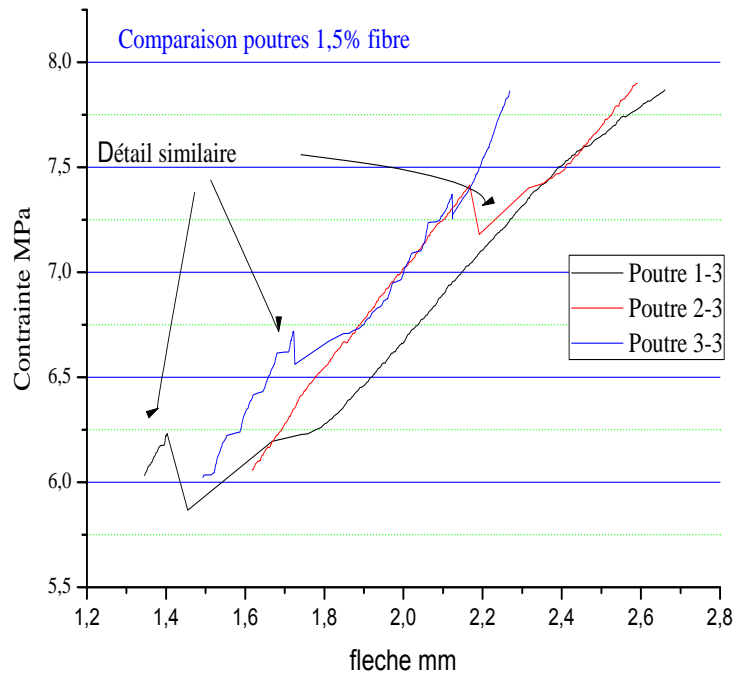
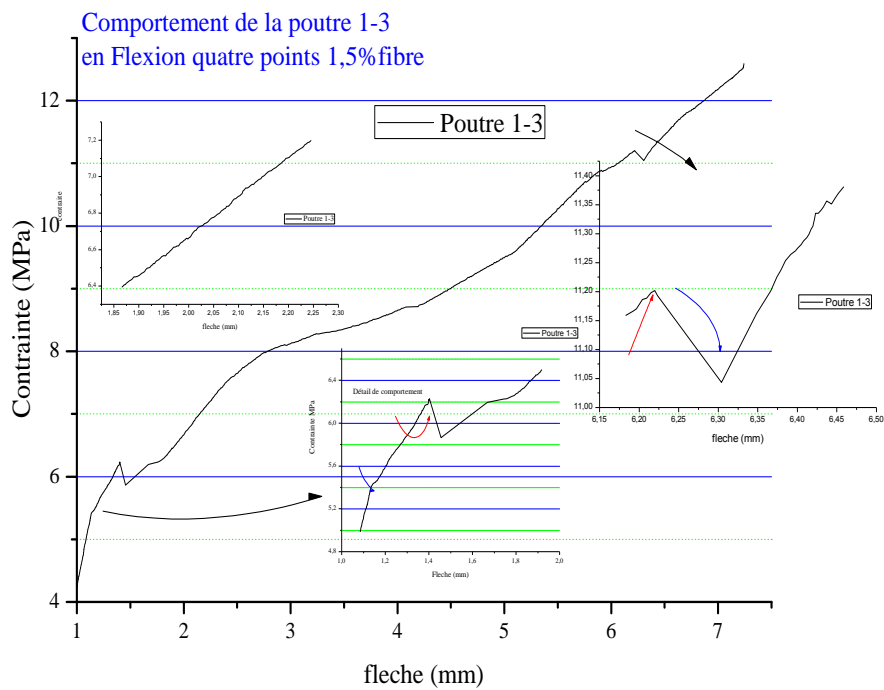


Figure III.32. Detaille similaire des poutres de béton fibre 1,5%

La poutre 1-3 :



Fissure 1 :

fissure 2 :

Figure.III.33. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-3de BAF 1,5%

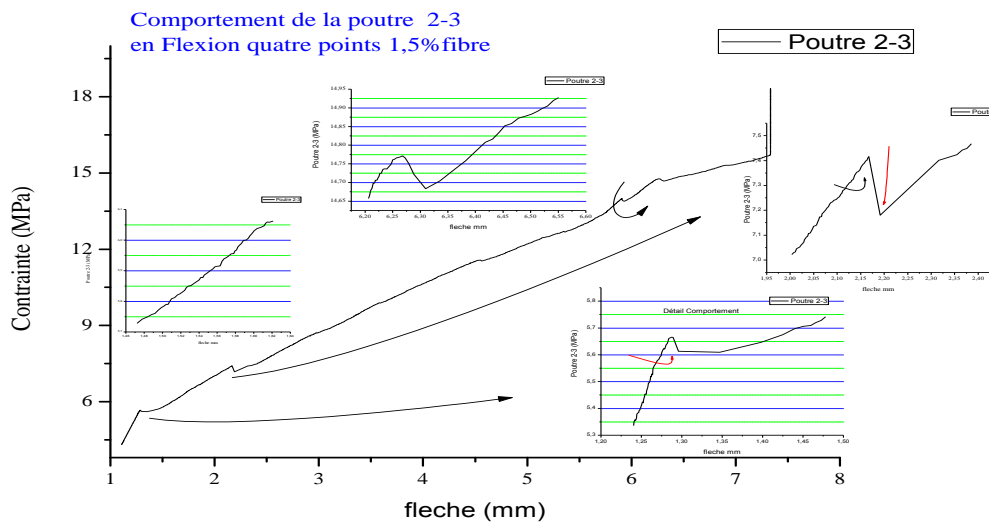
On divise le graphe en trois parties :

Partie élastique : et une ligne droite contenue jusqu'à la valeur de la flèche (1,2mm), et de contrainte 5,5 MPa. Dans cette phase on n'aura pas des fissures détectées visuellement

Et suivi par une phase elasto- plastique : les microfissures sont détectées dans cette partie.

Dans ce cas de poutre (1,5 % F): on remarque la première fissure au début de phase plastique a partir d'une flèche de 1,4 mm, et une autre fissure juste après, a 6 mm de la flèche. Dans cette partie les fissures se propagent jusqu'à la rupture.

➤ La poutre 2-3 :



Fissure1

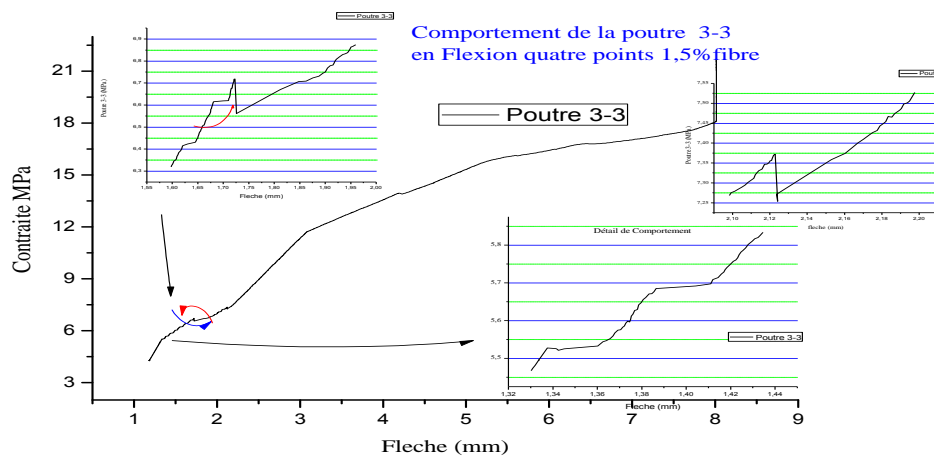


Fissure2

Figure .III.34. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-3de BAF1,5%

On divise le graphe en trois parties : Partie élastique : est une ligne droite contenue jusqu'à la valeur de la flèche (1,3mm), et de contrainte 5,8 MPa. Dans cette phase on n'aura pas des fissures détecté. Et suivi par une phase elasto-plastique : les microfissures sont détectées dans cette partie non visuelle (microscopique) Dans ce cas de poutre (1,5 % F): on remarque la première fissure au début de phase plastique a partir d'une flèche de 1,4 mm, et suivi par une autre fissure juste après à 2,3 mm de la flèche et une troisième fissure a une flèche de 6,8mm et de contrainte de 15MPa. Dans cette partie les fissures se propagent ; et formé un champ des fissures .et avant la rupture les fissures sont orienter vers l'axe intermédiaire voir la figure.III. (34)

➤ La poutre 3-3 :



Fissure1 :



Fissure2 :



Fissure 3 :

Figure.III. 35. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-3de BAF1,5%

On divise le graphe en trois parties : Partie élastique : est une ligne droite contenue jusqu'à la valeur de la flèche (1,4mm), et de contrainte 6 MPa. Dans cette phase on n'aura pas des fissures détecte. Et suivi par une phase elasto-plastique : les microfissures sont détectées dans cette partie non visuelle (microscopique) Dans ce cas de poutre (1,5 % F): on remarque la première fissure au début de phase plastique à partir d'une flèche de 1,4 mm, et suivi par une autre fissure juste après à 2,6 mm de la flèche et une troisième fissure a une flèche de 7,8mm et de contrainte de 17,8MPa. Dans cette partie les fissures se propagent ; et forment un champ de fissure .et avant la rupture les fissures sont orienter vers l'axe intermédiaire voir la (figure.III. 35).

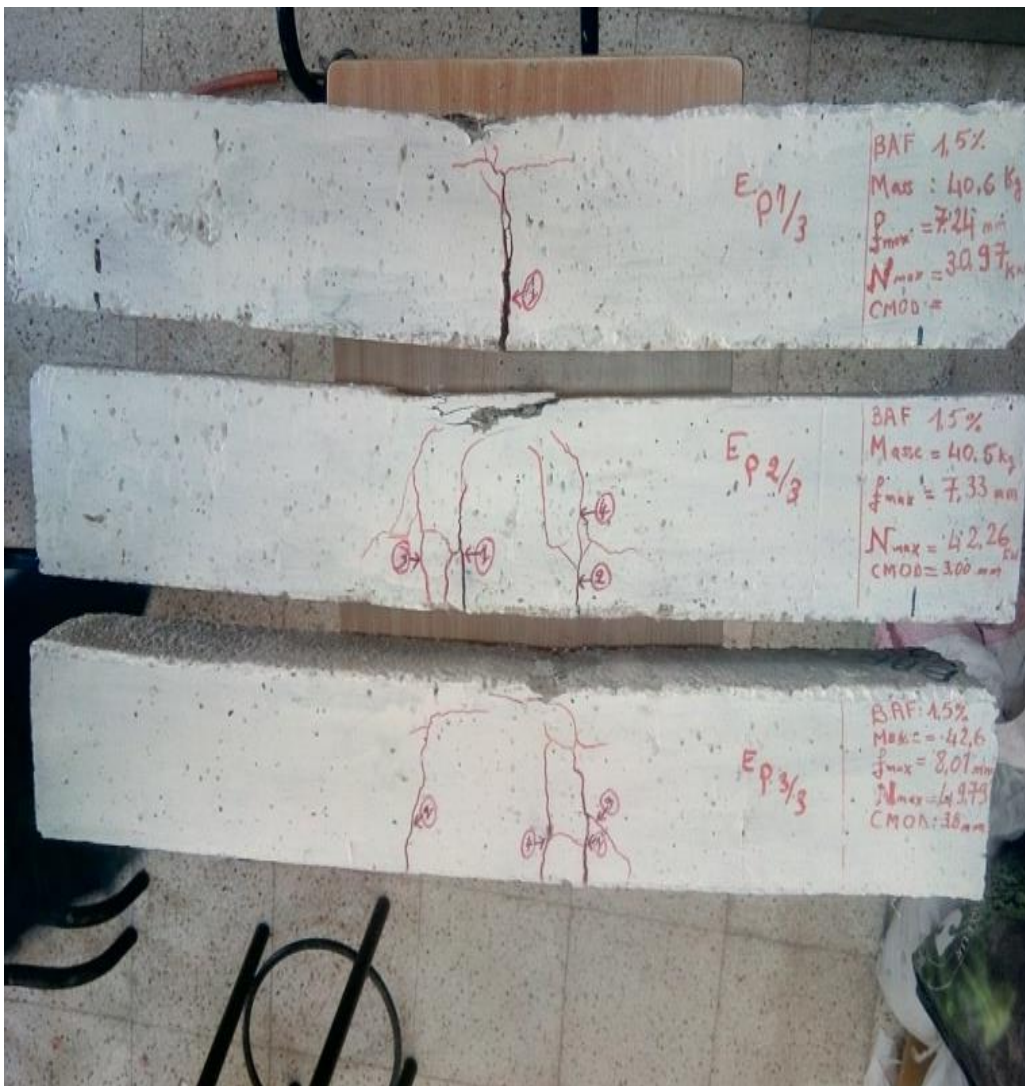


Figure.III.36. les poutres de BAF 1,5 %

E) Béton Armé fibré 1,5% avec ajout de Marbre : La désignation des poutres armés fibré a 1,5% de fibre est par l'indice poutres (1-5),(2-5) ,(3-5) .

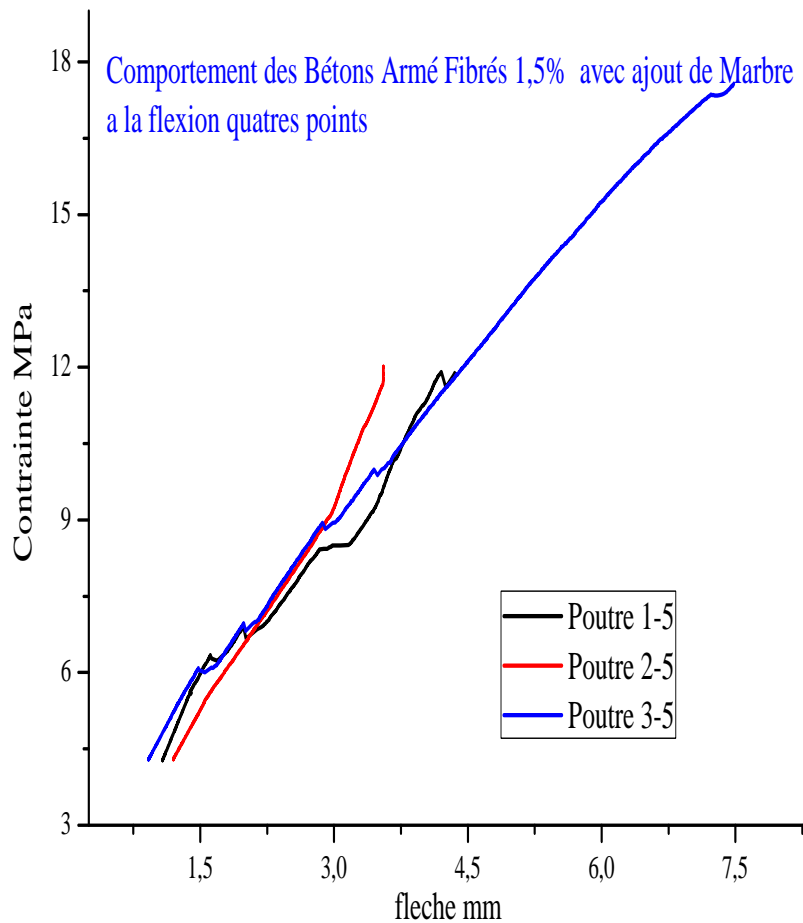


Figure .III. 37. Comparaison entre les poutres de béton fibres 1,5% +PM

D'après la (figure.III.37) on remarque que la partie élastique des courbes des bétons BAFM1,5%+PM ont tendance a se superposée, la partie rectiligne de ces graphes est en générale inferieur a 20% de la flèche et a 29 % de la contrainte voir la figure (38) si dessous ,et la propagation des fissures est différentes telle que :les poutres (1-5) et (2-5) sont presque les même, mais la poutre (3-5) est différente.

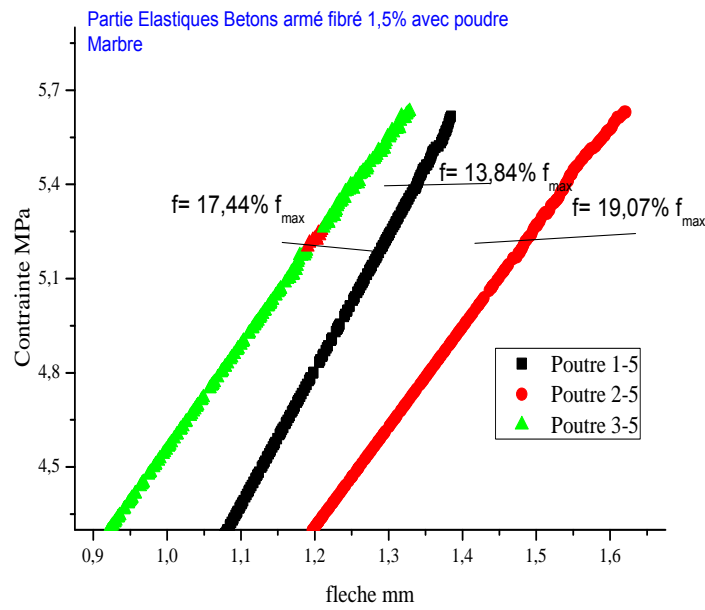


Figure.III. 38. Partie Elastique des poutres de BAF 1,5%+PM

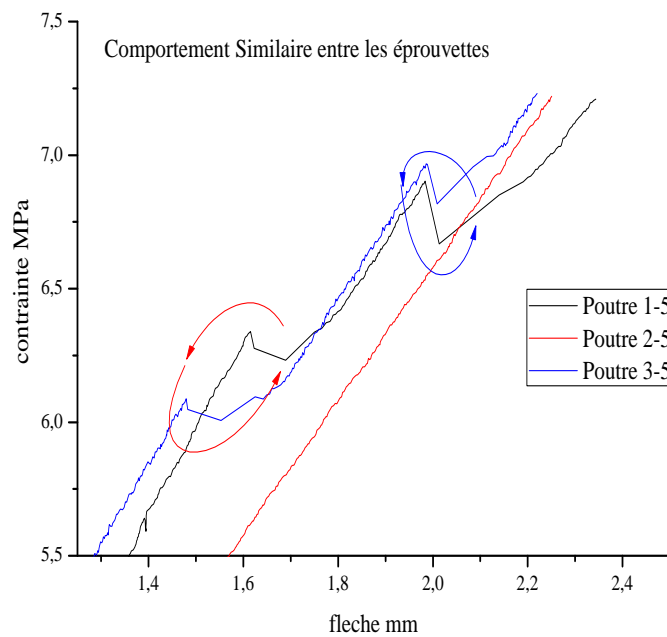
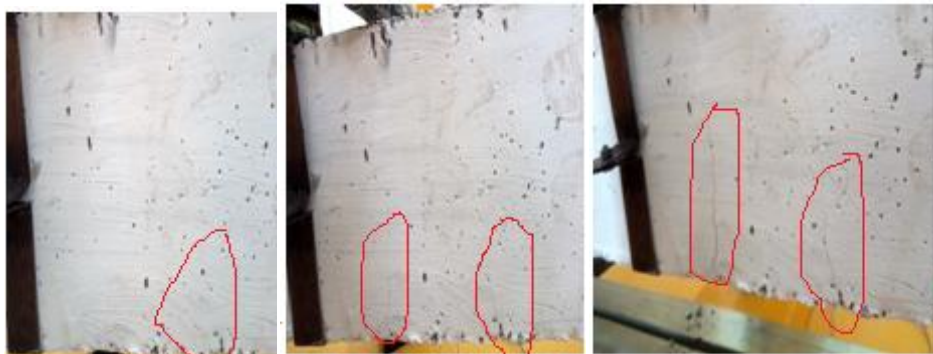
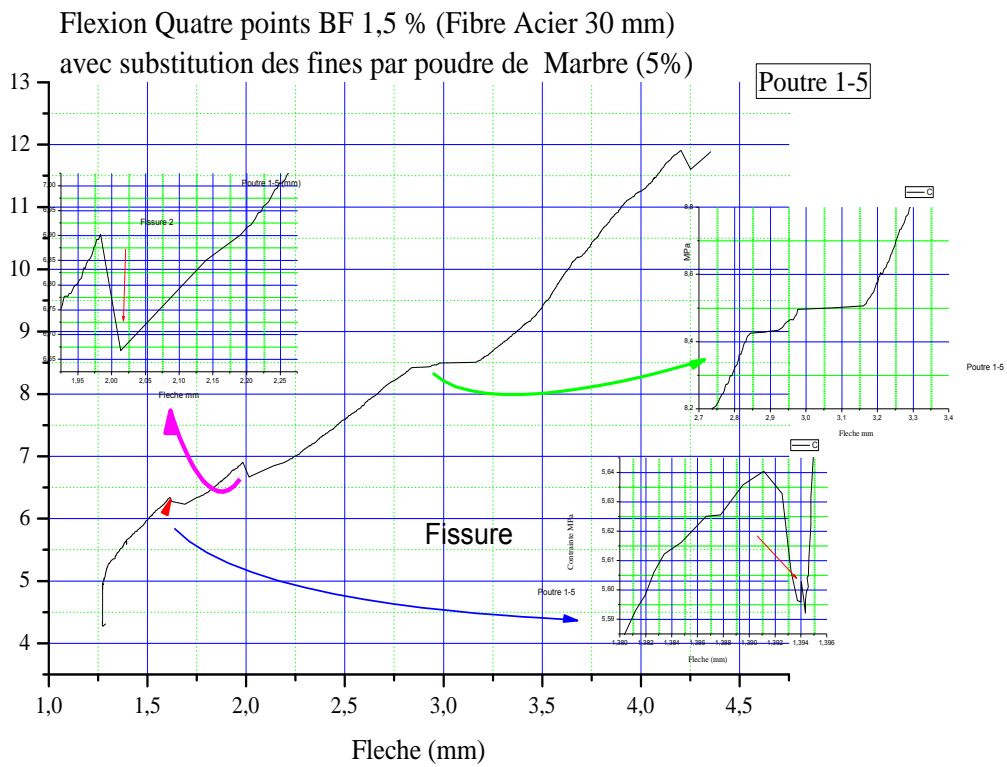
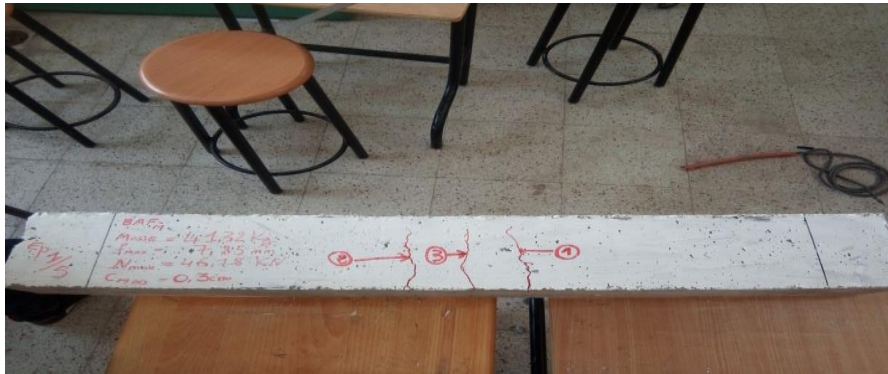


Figure.III. 39. Comportement similaire entre les éprouvettes de BAF1, 5%+PM

Dans ce type de béton (BAF+PM) on remarque qu'on a des mêmes fissures aux mêmes points de flèche-contrainte, ce qui nous donne une idée sur la charge supporté par ce type de béton.

➤ La poutre 1-5 :



Fissure 1

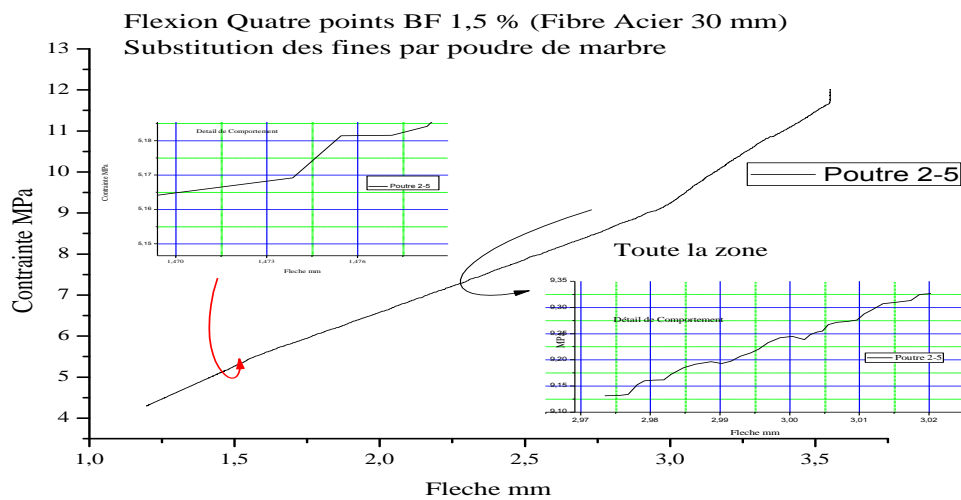
Fissure 2

Fissure 2

Figure.III. 40. Photo et courbe de flexion de la poutre 1-5 de BAF1, 5%+PM

D'après cette (figure.III. 40) on remarque que les fissures commencent lorsque la flèche arrive a une valeur de 1,7mm et a une contrainte de 6 MPa, après ce point, la fissure se propage vers le haut et s'incliner vers l'axe principale de la poutre, au même temps on remarque des autres fissures de même procédure

➤ La poutre 2-5 :



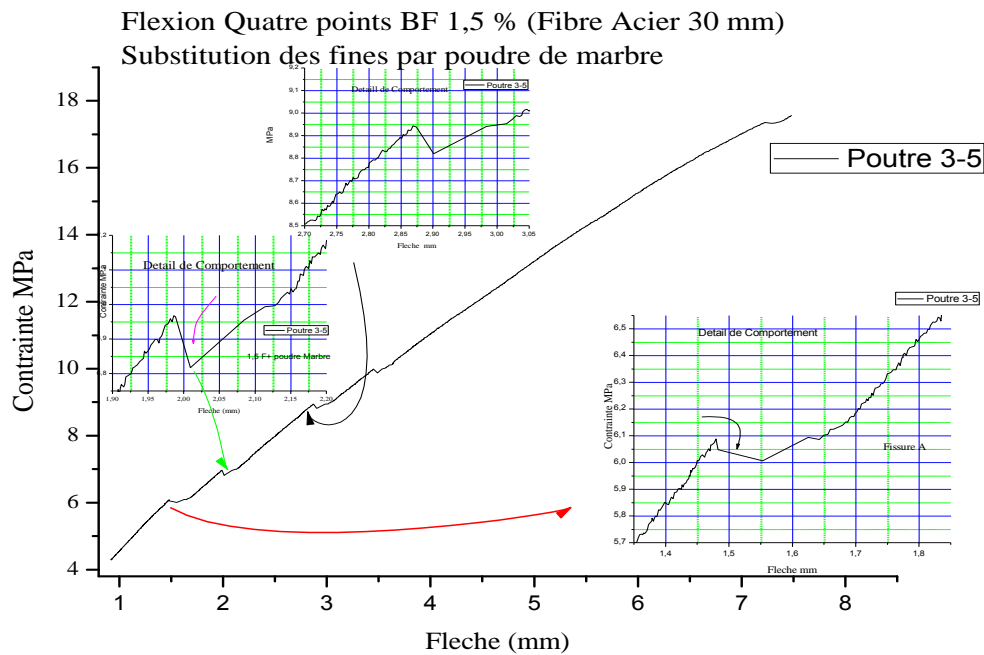
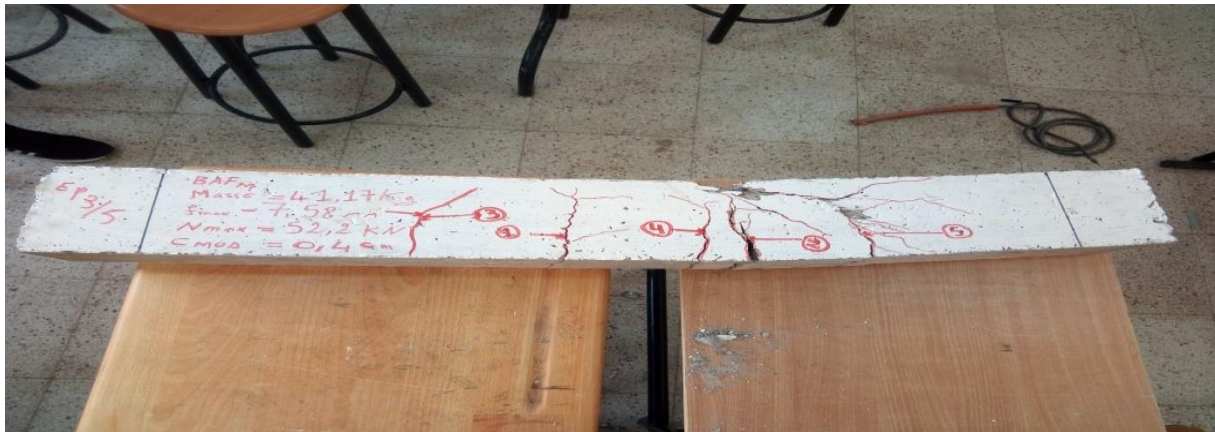
Fissure1

Fissure2

Figure.III. 41. Photo et courbe de flexion de la poutre 2-5 de BAF1,5%+PM

Dans cette poutre, on remarque que le point (1,7 ; 5,5) (flèche-contrainte) et le début de la première fissure et elle va propager jusqu'à la flèche de 2,25mm, et 7,5MPa de contrainte. Ce point donne une deuxième fissure (Figure.III. 41)

➤ La poutre 3-5 :



Fissure 1



Fissure 2



Fissure 3

Figure.III. 42. Photo et courbe de flexion de la poutre 3-5 de BAF1,5%+PM

Dans cette poutre on remarque que la partie élastique et subit une flèche de 1,5mm et après on voit le début d'une série des fissures l'une après l'autre jusqu'à arrive au point de rupture qui signifie la flèche 3,5mm et 10MPa de contrainte.

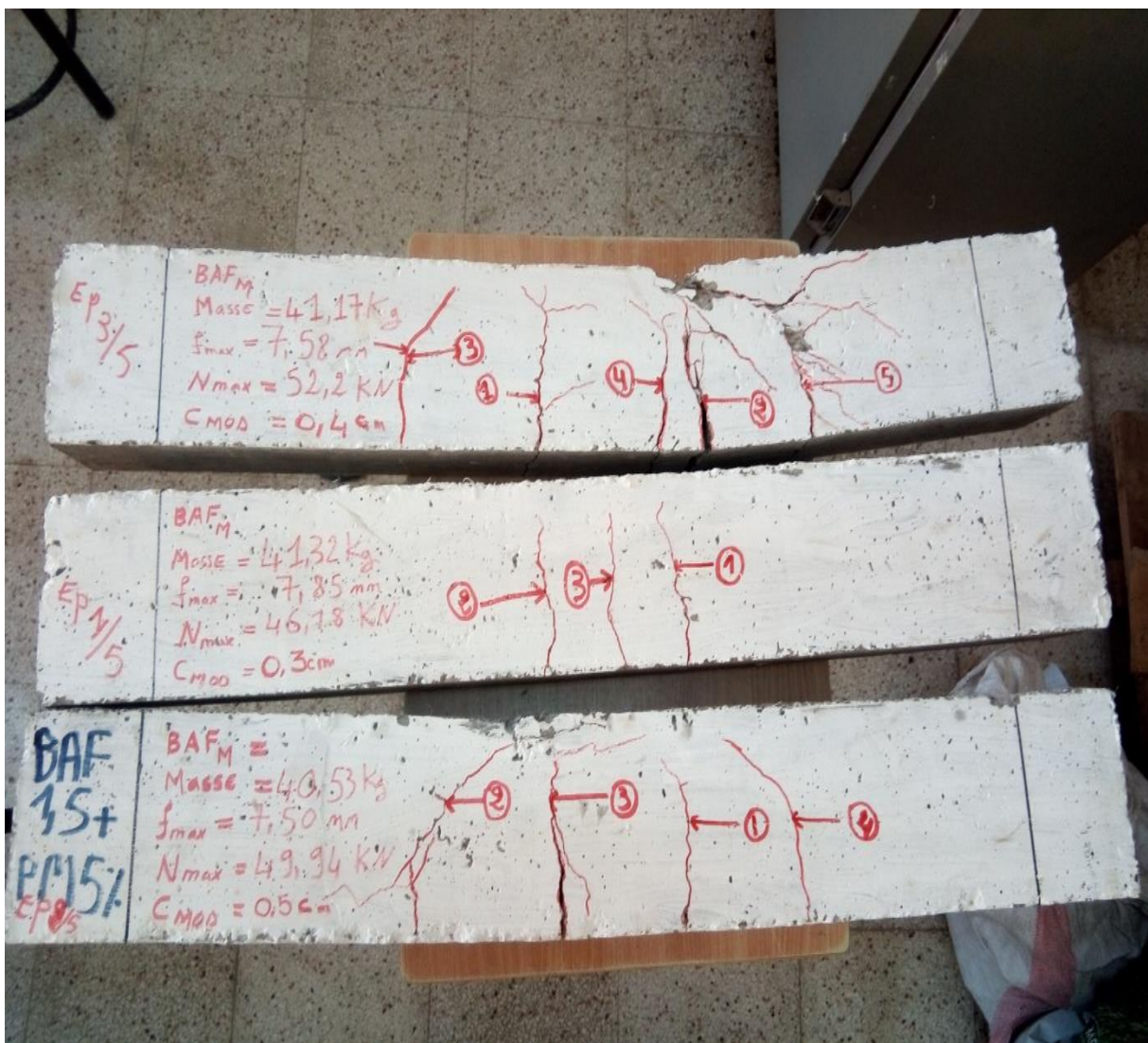


Figure.III. 43.les poutres de BAF 1,5 %+PM

3 .Comparaison

➤ Béton arme fibré 1,5% et béton armé fibré 1%

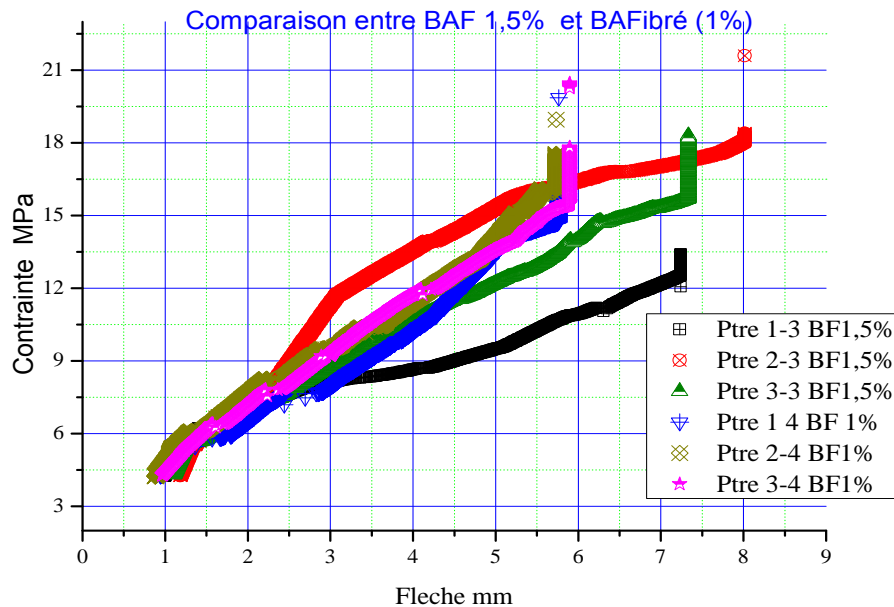


Figure .III.44. Comparaison entre BAF 1,5% et BAF 1%

Ce graphe nous montre que les bétons armés fibrés 1,5% sont plus fléchés que le béton armé fibré 1%.

On remarque que les trois poutres de BAF1, 5% sont fléchées jusqu'à une valeur de 7,5mm par rapport aux trois poutres de BAF1% fléchées jusqu'à une valeur de 6mm, ce qui signifie qu'il est meilleur en termes de flèche sous une contrainte à la flexion, par rapport au béton armé fibré 1,5%.

Un travail très important a été fait par plusieurs chercheurs sur le comportement des bétons de fibres. Houari, après des essais de flexion sur le béton de fibre métallique, trouve que l'ajout de 1% de fibres métalliques a fait augmenter fortement la résistance à la flexion, concorde avec d'autres résultats, ainsi que Behbahani, montre que l'utilisation de fibres d'acier de plus de 1% serait à l'origine d'une légère diminution de la résistance à la flexion.

➤ Béton armé et béton armé fibré 1%

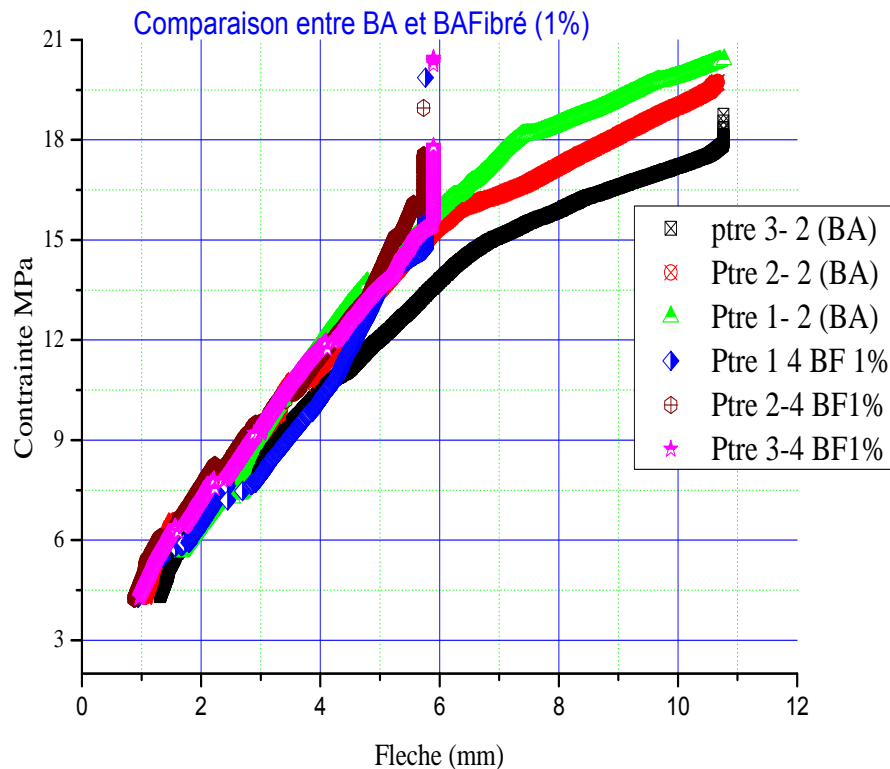


Figure.III. 45. Comparaison entre BA et BAF 1%

D'après le graphe, les poutres de béton armé fléchées jusqu'à une valeur de 11mm (limite des capteurs) et une ouverture de 7mm entre les lèvres de fissures, par contre les poutres de béton armé fibré 1% BAFM₁ atteignent une valeur de 6 mm et une fissure infinitésimale de 3 à 4mm, ce qui signifie que le béton armé BAFM₁ présente un comportement amélioré en terme de résistance à la flexion.

L'introduction des armatures et les fibres est un moyen d'améliorer certaines propriétés du béton y compris la résistance à la flexion. Les armatures et fibres métalliques ont pour rôles d'absorber et dissiper l'énergie, réduire l'initiation et la propagation des fissures et une possibilité d'augmenter la durabilité du béton (durée de vie longue).

➤ Béton armé et béton armé fibré 1,5%

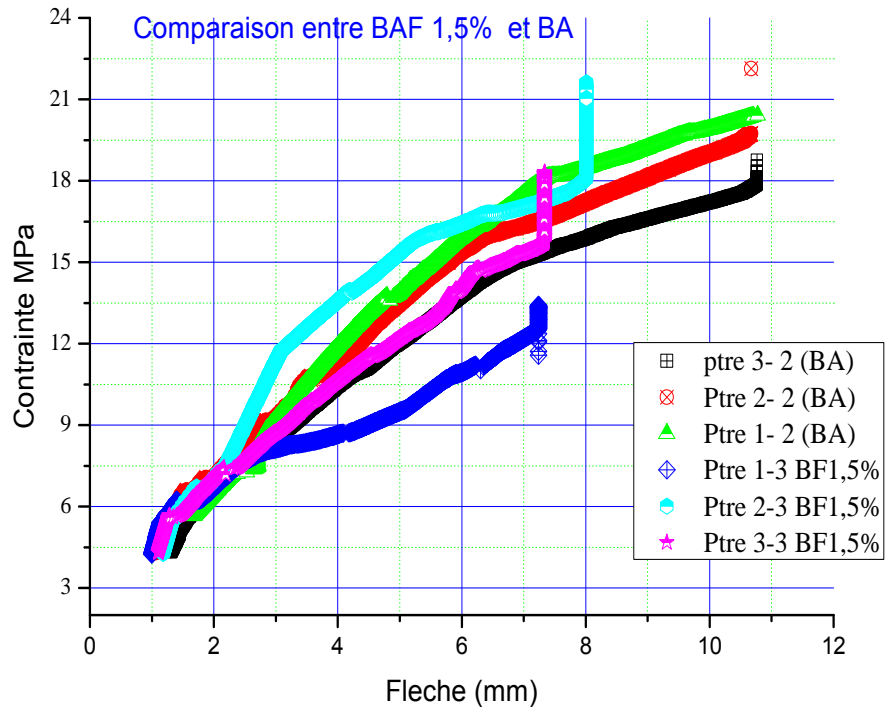


Figure.III. 46. Comparaison entre BAF 1,5% et BAF 1%

D’après le graphe, l’introduction des fibres dans un béton armé, retarde la microfissuration, et il a été mis en évidence une légère augmentation de la résistance a la flexion, le pourcentage maximums de fibre incorporé reste limite.

Les poutres de béton arme, fléché jusqu’à une valeur de 11mm (limite de capteur), et une ouverture de 7mm entre les lèvres de fissures, par contre, les poutres de béton armé fibré 1,5% (BAFM_{1,5}),atteint une valeur de 7mm, et une fissure infinitésimal de 3 a 4 mm, ce qui signifie que le béton armé BAFM₁ présente un comportement amélioré en terme de résistance a la flexion.

Conclusion générale

Conclusion générale

L'objectif de ce travail était de mieux comprendre les fissurations et leurs développements, lors de l'association des fibres métalliques à crochets à différents taux au béton armé, les résultats expérimentaux obtenus nous permettent de tirer les constatations suivantes :

D'une manière générale l'ajout d'une certaine quantité de fibres à la matrice d'un béton n'introduit pas de nouvelles conditions dans la formulation ou sur les composants utilisés.

La formulation du béton renforcé de fibre, généralement en gardant le même dosage en ciment, en granulats et également le même adjuvant. Par contre une optimisation de l'importance des fibres nécessite une étude.

L'incorporation des fibres métalliques à crochets dans la composition du béton, apporte des améliorations notables sur la couture des fissures, donc la fissuration est fortement influencée par les fibres. Elles augmentent le nombre de fissures par rapport au béton témoin, réduisent leur espacement moyen et surtout limitent les ouvertures. Cet effet des fibres est plus prononcé lorsqu'en compare (BAFM1%) au béton (BAFM 1,5%) en gardant le même ferrailage longitudinal, pour tous les bétons testé.

L'étude du comportement global des fissurations a montré, une amélioration de la rigidité en flexion en présence des fibres.

L'augmentation du taux de fibres métalliques peut diminuer la perméabilité des bétons testés mais elle reste toujours dans le domaine plastique même par l'ajout de poudre de marbre.

L'addition de fibre métalliques entraîne une nette augmentation de la résistance à la traction par flexion, surtout en présence de 1,5% de fibres.

L'ajout de fibre métallique même à faible pourcentage 1% améliore le comportement mécanique des bétons. On observe aussi une rupture fragile du béton témoin (béton ordinaire, béton armé) sans aucune déformabilité au-delà de l'apparition de la fissuration. Par contre pour le béton de fibres une évolution des flèches post fissuration est encore mesurable malgré la charge concentrée est constante.

Les fibres métalliques sont ajoutées dans la matrice pour améliorer la ductilité et la résistance à la flexion et retarder la formation et le développement des fissures.

L'incorporation de poudre de marbre comme ajout avec des fibres métalliques dans un

Conclusion générale

béton améliore la cohésion et la densité même si la maniabilité des bétons frais est légèrement affectée en fonction du dosage en fibre

La contribution de la poudre de marbre a un rôle structurant des liaisons de la matrice cimentaire du point de vue mécanique, cette contribution structurante se traduit en termes de durabilité par une réduction de la porosité