

REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET POPULAIRE
MINISTÈRE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR
ET DE LA RECHERCHE SCIENTIFIQUE



N° d'Ordre :

N° de Série :

Universite Kasdi Merbah - Ouargla
Faculté des Sciences et de la Technologie
Et Sciences de la Matière

Mémoire Présenté en vue de l'obtention du diplôme de:
MAGISTER

Filière: Aménagement Génie Civil
Option: Géo-Matériaux
Présenté par:
HIMA Nassima

Thème

***Contribution à la modélisation des bétons renforcés
par des fibres de palmier dattier en flexion.***

Soutenu publiquement le:

Devant le Jury composé de:

CHACHA Ahmed. Djamel	Professeur	Université de Ouargla	Président.
KHENFER M.Mouldi	Professeur	Université de Laghouat	Examineur.
BENTEBBA M.Tahar	MC"A"	Université de Ouargla	Examineur.
KRIKER Abdelouahad	Professeur	Université de Ouargla	Rapporteur.

Remerciements

A l'occasion de la présentation de ce modeste travail qui a été réalisé au sein de l'université de Ouargla, nous tenons à adresser nos vives reconnaissances et nos sincères remerciements à:

Au: Pr **KRIKER Abdelouahed** d'avoir bien accepté de m'encadrer et de me guider durant le déroulement de ce travail.

Mes vifs remerciements au Pr **CHACHA Djamel** pour l'honneur qu'il m'a fait en acceptant de juger ce travail et de présider le jury.

Je tiens à remercier Pr **KHENFER M. Mouldi** et, Dr **BENTEBBA M.Tahar** pour l'honneur qu'ils m'ont fait en acceptant d'examiner mon travail et de faire partie de jury de soutenance.

Mes vifs remerciements à tous les enseignants qui ont participé dans ma formation du primaire, jusqu'à l'université, Merci infiniment.

ملخص

في المناطق ذات المناخ الحار و الجاف مثل المناطق الصحراوية من وطننا لها تأثير سلبي على العناصر الهيدروليكية مما يسبب تشققات على مستوى المنشأ، لذا كان تعزيز مثل هذه العناصر بالألياف من بين الحلول التقنية المثلى لتحسين خصائص مقاومة الانحناء، فالباحث في هذا المجال يجد الكثير من المراجع التي تناولت تعزيز الخرسانة بالألياف المعدنية عكس الألياف الطبيعية و هذا راجع لحدائثة موضوع البحث.

نظرا للتعقيد الموجود في الخصائص الميكانيكية للخرسانة يستوجب دراسة معمقة و دقيقة من أجل نمذجة هذه الخصائص ، في هذا المجال الكثير من الباحثين يحاولون إيجاد نماذج رياضية لسلوك خرسانة الألياف و ذلك باستعمال الطرق و النظريات الرياضية المتطورة. أو اقتراح معادلات تجريبية.

إن الهدف من هذه الدراسة يتمثل في ما يلي:

- إبراز و تحليل أسس النمذجة.
 - دراسة ظاهري الانحناء و فتح التشققات لخرسانة ألياف النخيل و من ثم نمذجة النتائج المتعلقة بهما.
- توصلنا إلى نمذجة خصائص الانحناء بتطبيق نموذج:

$$\sigma_{mf}(0.01-v_f)X^6 + \sigma_{mf}(0.1-v_f)X^5 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^4 + 5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X^3 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^2 + 0.5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X$$

و الذي أعطى نتائج حسنة.

أما فيما يخص نمذجة فتحات التشققات فبعد إجراء تجارب على عينات من الخرسانة المعززة بالألياف CE14 2% 60 قمنا بتطبيق نموذج:

$$CMOD = 1.75 \times (4v_f(l/d) \sigma_a/EV_1 (\alpha(a)) + \alpha^2(a))$$

بعد إجراء بعض من التعديلات عليها و لقد تحصلنا على نتائج مقبولة.

الكلمات المفتاحية: الخرسانة المدعمة بالألياف، الألياف الطبيعية، ألياف النخيل، نموذج، الإنحناء، فتح التشققات.

Résumé

Les zones chaudes et arides tell que les zones sahariennes de notre pays ont une influence négative sur les éléments hydrauliques ce qui cause des fissures au niveau de la structure. C'est pour cela le renforcement de ces éléments par les fibres est parmi les solution techniques idéales afin d'améliorer les caractéristiques de la résistance de flexion. Le chercheur dans ce domaine trouve beaucoup de références bibliographiques qui ont abordées le renforcement du béton par les fibres métalliques contraire aux fibres naturelles. Ceci revient à l'actualité du sujet de cette étude.

Vu à la complexité trouvée dans les caractéristiques du béton; il a fallu une étude profonde et exacte afin de modéliser ces caractéristiques, dans ce domaine plusieurs chercheurs essayant de trouver des modèles mathématiques pour le comportement du béton de fibre en utilisant des méthodes et des théories mathématique avancées; ou des propositions empirique. Le but de cette étude est comme suit:

-L'apparition et l'analyse des bases de modélisation.

- Etude des phénomènes de flexion et d'ouverture des fissures du béton de fibre de palmier dattier. ensuite, modéliser les résultats obtenus.

Enfin, on a pu atteindre la modélisation des caractéristiques de flexion en appliquant le modèle suivant:

$$\sigma_{mf}(0.01-v_f)X^6 + \sigma_{mf}(0.1-v_f)X^5 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^4 + 5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X^3 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^2 + 0.5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X$$

Qui a donné des bons résultats.

Quant à la modélisation d'ouverture des fissures; et après des essais sur les échantillons du béton renforcé par les fibres CE14 2%-60. on a utilisé le modèle. : $CMOD = 1.75 \times (4v_f(l/d) \sigma_a/EV_1 (\alpha(a)) + \alpha^2(a))$.

après qu'on a fait quelque modification sur le modèle Qui a donné des bons résultats.

Mots clés: Béton de fibre, Fibre végétale, Fibre de palmier dattier, Modèle, Flexion, Ouverture de fissure.

ABSTRACT

In areas with hot climate and dry like deserts such ours have a negative impact on the Hydraulic elements which cause cracks at the level of origin, so it was promoting such elements with fiber one of the technical solutions to improving the properties of resistance to bending, so any researcher in this area find a lot of references which dealt with the promotion of mineral fiber concrete Unlike natural fibers, and this is due to the novelty of research topic.

Because of the complexity in the mechanical properties of concrete. It requires in-depth study and accurate for the modeling of these characteristics, in this area a lot of researchers trying to find mathematical models for the behavior of fiber concrete, using the methods and advanced mathematical theories. Or to propose empirical equations.

The aim of this study is as follows:

- highlight and analyze the foundations of modeling.
- study the phenomena of bending and cracks of the concrete palm fibers and then modeling results related to them.

We have to model the bending properties of the application form:

$$\sigma_{mf}(0.01-v_f)X^6 + \sigma_{mf}(0.1-v_f)X^5 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^4 + 5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X^3 + \sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^2 + 0.5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X$$

This gave good results.

As for the modeling of slots cracks after testing samples of concrete reinforced with fiber-CE14 2% 60, we apply the model: $CMOD = 1.75 \times (4v_f(l/d) \sigma_a/EV_1 (\alpha(a)) + \alpha^2(a))$ after some of the modifications we have acquired and have acceptable results.

Key works: Concrete of fiber, Dottier palm fiber, Model, Fiber vegetables, Flexural behavior, Crack opening.

Liste des Tableaux

CHAPITRE 1:

PARTIE A: Généralités sur les fibres et les bétons de fibre.

Tableau 1.1 propriétés physiques et mécaniques de certaines fibre.....	4
Tableau 1.2 propriétés physiques et mécaniques de certaines fibre.....	5
Tableau 1.3 Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétale.....	7
Tableau 1.4 Les propriétés physiques et mécaniques de quelques fibres végétale.....	8
Tableau 1.5 Application de divers renforcements de fibre dans les produits à base de ciment.....	9
Tableau 1.6 Résumé des diverses utilisations des fibres végétales.....	10

PARTIE B: Comportement mécanique des bétons de fibres

Tableau 1.6 Résistance à la traction(R_t) et à la compression de quelques bétons de fibre(BF) par rapport au béton classique(BC)	13
--	----

CHAPITRE 2: Généralités sur la modélisation des fibres et les bétons de fibre.

Tableau 2.5: Equation de la résistance à la flexion en fonction de L'âge.....	31
Tableau 2.7 Les caractéristiques mécaniques et géométriques des fibres utilisées.....	46

CHAPITRE 3: Etude et modélisation des déformations des bétons renforcés par des fibres de palmier dattier.

A partie théorique

Tableau 3.1 Composition du béton classique (BC2) pour un mètre cube.....	56
Tableau 3.2 Composition du béton de fibre (BF2) pour un mètre cube.....	56

Tableau 3.3 Les caractéristiques mécaniques en flexion (σ_0 , P_{max} , D_n et leurs CV) du béton classique (BC2) et des bétons de fibre de palmier (BF2).....	59
Tableau 3.4: Propriétés de flexion (σ_0 , P_{max} et D_n) du béton classique (BC2) et des bétons de fibres de palmier (BF2) conservés dans la cure CE14-CU.....	60
Tableau 3.5: Les résultats après l'application du modèle de Swamy[32] sur le type de béton CE.....	62
Tableau 3.6: Les résultats après l'application du modèle de Swamy[32] sur le type de béton CU.....	63
Tableau 3.7 Résumé les résultats de la méthode des moindres carrés.....	65
Tableau 3.8 Valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans:CE14-CU.....	68.
Tableau 3.9: valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 180jours dans: (a)CE.....	69
Tableau 3.10: valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 180jours dans: (b)CE14-CU.....	71
Tableau 3.11 valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans:(a)CE.....	73
Tableau 3.12: valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans:(b)CU.....	75
 B Partie pratique ouverture de fissure	
Tableau 3.13 Composition du béton de fibre (BF3) pour un mètre cube.....	78
Tableau 3.14 Variation de la charge en fonction d'ouverture de fissure.....	
Tableau3.15 Donne les résultats de calcul en appliquant le modèle de Banthia et Sheng.....	82

Tableau 3.16 Résultats du calcul d'ouverture de fissure (CMOD) pour fibre de palmier
dattier.....89

LISTES DES FIGURES

CHAPITRE 1:

PARTIE A: Généralités sur les fibres et les bétons de fibre.

Figure 1.1 Matériau composite2

PARTIE B: Comportement mécanique des bétons de fibres

Figure 1.2 Fissuration du béton avec et sans fibres12

Figure 1.3 Comportement du béton sous sollicitation uni-axiales [49].....15

Figure 1.4 Diagramme flèche-effort des bétons de fibre en flexion quatre points [Norme NFP18-409].....16

Figure 1.5 : Diagramme contrainte de traction de la matrice-ouverture de fissure.....17

Figure 1.6:Diagramme contrainte de la matrice et d'ouverture de fissure dues à flexion....18

Figure 1.7: Diagramme répartition de contraintes et de déformations en flexion (après fissuration)19

Figure 1.8: Modèle de répartition des contraintes normales la section du béton de fibres fissuré.....19

Figure1.9:Modèle de répartition des contraintes dans la section du béton de fibres fissuré.20

CHAPITRE 2: Généralités sur la modélisation des fibres et les bétons de fibre.

Figure2.1: Répartition des déformations et des contraintes dans la poutre.....26

Figure2.2: Répartition de la courbe.....28

Figure 2.3: Représentation du développement de la première fissure dans les essais.....30

Figure 2.4: La résistance à la flexion en fonction de l'âge: (a) pour SFI et (b) pour SFII.....31

Liste des figures

Figure 2.5 : Variation de la première fissure en fonction de V_f et l'âge de béton: (a) 7jours, (b) 14 jours, (c) 56 jours, (d) 180jours, (e) 360jours.....	32
Figure 2.6: Répartition des déformations et des contraintes dans la poutre.....	33
Figure 2.7: Comportement en charnière.....	35
Figure 2.8:Simulation de l'influence du béton de fibres sur le comportement à l'effort tranchant.....	38
Figure 2.9: Endommagement des bétons composites	39
Figure2.10: Détail de renforcement et la géométrie des poutres	40
Figure2.11:relation contrainte-déformation de béton de fibres à la compression et traction.....	41
Figure 2.12: Courbes contrainte déformation avant rupture de quelques fibres végétales.....	44
Figure2.13:Courbe charge-déplacement or la bande de trois points pour différent pourcentage de masse de fibre.....	45
Figure2.14Variation de module d'young dans la flexion et traction en fonction du pourcentage de mase de fibre.....	46
Figure 2.15 Dispositif de flexion pour les éprouvettes utilisées.....	47
Figure 2.16 Développement d'ouverture de fissure.....	48
Figure 2.17 Estimation de CMOD pour les fibres de carbone.....	51
Figure 2.18 Estimation de CMOD pour les fibres d'acier.....	52
Figure 2.17 Estimation de CMOD pour les fibres de polypropylène.....	51

CHAPITRE 3: Etude et modélisation des déformations des bétons renforcés par des fibres de palmier dattier.

A partie théorique

Figure 3.1 : Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans : (a) : CE, (b) :CU	57
---	----

Liste des figures

Figure 3.2: Diagramme Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans CE14-CU.....	58
Figure 3.3: Diagramme Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 180 jours dans: (a) CE, (b) CE14-CU.....	58
Figure 3.4 Diagrammes charge-flèche pour le modèle de Swamy [32] des bétons de fibres de palmier dattier conservés durant 28, 90 et 180 jours dans CE.....	62
Figure 3.5 Diagrammes charge-flèche pour le modèle de swamy[32] des bétons de fibres de palmier dattier conservés durant 28, 90 et 180 jours dans CU.....	64
Figure 3.6 Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans: CE14-CU.....	68
Figure 3.7 Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 180 jours dans: (a) CE, (b) CE14-CU.....	72
Figure 3.8 Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28jours dans (a) :CE,(b) :CU.....	76
B Partie pratique ouverture de fissure	
Figure 3.9 Essai de flexion 4 points sur éprouvette prismatique 70×70×280mm.....	79
Figure 3.10 Résultats d'ouverture de fissure moyenne en essai de flexion quartes points du béton de fibre de palmier dattier CE142%-60.....	81
Figure 3.11 Estimation de la propagation des fissures du béton de fibre de palmier dattier (Modèle de Banthia & Sheng [34]).....	87
Figure 3.12 Comparaison entre les valeurs expérimentaux et les valeurs modélisés de l'ouverture de fissures du béton de fibre de palmier dattier.....	87
Figure 3.13 Comparaison entre les valeurs expérimentaux et les valeurs modélisés de l'ouverture de fissures du béton de fibre de palmier dattier(modèle modifier).....	88
Figure (3.15): Estimation de la propagation des fissures du béton de fibre de palmier dattier (Modèle modifié de Banthia & Sheng [34]).....	93
Figure 3.14 Comparaison entre les valeurs expérimentaux avec ceux modélisés.....	93

SOMMAIRE

Introduction.....	I
-------------------	---

CHAPITRE 1:

PARTIE A: Généralités sur les fibres et les bétons de fibre.

1.1 Introduction.....	2
1.2 Définition d'un matériau composite.....	2
1.3 Historique et perspective de l'utilisation des fibres.....	3
1.4 Type des fibres utilisées dans le domaine de construction.....	3
1.5 Les fibres végétales.....	6
1.5.1 Introduction.....	6
1.5.2 Classification des fibres végétales.....	6
1.5.3 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales.....	6
1.5.4 Les fibres de palmier dattier.....	8
1.6 Domaines d'application des fibres.....	9

PARTIE B: Comportement mécanique des bétons de fibres

1.1 Introduction.....	11
1.2 Rôle des fibres dans le matériau composite.....	12
1.3 Les bétons de fibres.....	13
1.4 Comportement mécanique des bétons de fibre:.....	14
1.4.1 Introduction.....	14
1.4.2 Comportement de la matrice.....	14
1.4.3 Comportement du béton de fibre en flexion.....	14
1.4.4 Comportement du béton de fibre après à la première fissure en flexion.....	17

1.4.5 Distribution des contrainte et des déformations après la première fissuration des BF en flexion.....	18
1.5 Conclusion.....	21

CHAPITRE 2: Généralités sur la modélisation des fibres et les bétons de fibre.

2.1 Introduction.....	22
2.2 Définition.....	22
2.2.1 Le Modèle.....	22
2.2.2 La Modélisation.....	22
2.2.3 Objectifs.....	23
2.2.4 Comment créer un modèle?	24
2.3 Modélisation du comportement des bétons de fibre.....	24
2.3.1 Introduction.....	24
2.3.2 Modèle mathématique.....	25
2.3.2.1 Modèle de Pierre ROSSI(2008).....	25
2.3.2.2 Modèle de Tayfun Uygunog̃lu(2008).....	29
2.3.2.3 Modèle de CAZANOVA 1994 (calcul d'une poutre en flexion simple).....	33
2.3.3 Modèle Numérique.....	36
2.3.3.1 Modèle de Jacky MAZARS(1988).....	36
2.3.3.1.1 Calcul par éléments finis appliquées aux structures en béton composite.....	37
2.3.3.1.2 L'endommagement des bétons composites.....	39
2.3.3.2 Modèle d'AL-HASSAN	40
2.3.3.2.1 Formulation par éléments finis.....	40

2.3.3.2.2	Résistance à la compression relation contrainte - déformation.....	41
2.3.3.2.3	Résistance à la traction relation déformation - contrainte.....	42
2.3.3.2.4	Comportement biaxial de fibre pour béton de fibre à la compression.....	43
2.3.4	Modèle Empirique.....	44
2.3.4.1	Modèle de SWAMY.....	44
2.3.4.1	Modèle ANDONIAN.....	45
2.3.4.3	Modèle de N.Banthia & J.Sheng	46
2.4	Conclusion.....	54

CHAPITRE 3: Etude et modélisation des déformations des bétons renforcés par des fibres de palmier dattier.

A partie théorique

3.1	Introduction.....	53
3.2	Exposition des travaux de KRIKER[5] sur les propriétés de flexion du béton renforcé par des fibres du palmier dattier.....	53
3.3	Approximation des données numérique par des fonctions analytiques.....	60
3.3.1	L'adaptation du modèle de Swamy.....	60
3.4	Fonction mathématique.....	64
3.3.3	Modèle statique.....	65

B Partie pratique ouverture de fissure.....77

1	Introduction.....	77
2	Détail expérimentaux.....	77
2.1	Composition des bétons de fibre de palmier dattier.....	77
2.2	Méthode d'essai.....	78
2.3	Présentation et commentaire des résultats.....	79
2.4	Courbe charge ouverture.....	79
2.5	Adaptation de l'expression de modèle de Banthia et Sengh[34].....	80
2.6	Modèle modifié de Banthia et Sengh[34].....	84

2.7 Conclusion.....	89
Conclusion Générale.....	91
Recommandation et perspective	93
BIBLIOGRAPHIES.....	94
ANNEXE.....	

INTRODUCTION

Pour ces nombreuses qualités le béton est le matériau le plus utilisé dans la construction, non seulement il peut être moulé dans les formes les plus diverses, mais il a une excellente résistance à la compression, une grande rigidité, il est peu combustible et peu toxique.

malgré tous ces avantages, le béton reste un matériau très fragile et résiste mal à la traction. Cette fragilité est due essentiellement à sa nature fissurable. En effet; dès les premières heures de la prise, il se crée déjà au sein du béton des microfissures qui vont intervenir sur son comportement. Pour des applications structurelles, il est armé avec des armatures d'aciers supportant les contraintes de traction.

Ces derniers temps, la récente mise au point de produits composites renforcés de fibres de différentes natures sont utilisées comme renfort de plusieurs matériaux afin d'accroître leurs résistances mécaniques et améliorer leur stabilité.

Depuis lors, l'utilisation des fibres dans le béton est de plus en plus devenue une pratique courante et des applications sont développées grâce à leur capacité prouvée par l'expérience à limiter et à contrôler la fissuration tant au jeune âge que sous sollicitation mécanique, à améliorer la résistance à la flexion, au choc et aux vibrations ainsi que la résistance à la fragmentation.

L'association fibre-béton constitue un matériau composite ayant un comportement différent de celui du béton classique en se caractérisant principalement par sa ductilité et par sa résistance à la traction et à la fissuration.

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux-mêmes de plusieurs variables tels que :

- Les propriétés des fibres.
- Les propriétés de la matrice.
- Le comportement de la bande d'interface.
- Les conditions de la mise en œuvre.

La complexité du phénomène mis en jeu dans le fonctionnement du béton de fibre est très grande. Pour cela le recours à la modélisation du comportement de ce béton est très souhaitable.

Dans cet esprit plusieurs chercheurs se sont penchés à l'élaboration des modèles qui peuvent simuler le comportement mécanique des bétons de fibres par l'utilisation des lois mathématiques et des méthodes de calcul très poussées notamment la méthode des éléments finis, ou bien en faisant recours à des lois empiriques.

Cependant, la plupart des modèles proposés dans la littérature sont propres aux bétons de fibres métalliques. Et il existe peu de travaux consacrés au béton des fibres végétales.

Pour des raisons de santé et d'autres économiques qui caractérisent quelques fibres industrielles, les efforts de chercheurs sont actuellement orientés vers le renforcement des bétons par fibres végétales, notamment pour les pays qui possèdent ces fibres en grande quantité.

Dans un contexte global de valorisation des fibres végétales de palmier dattier; notre objectif est:

- ◆ D'étudier les déformabilités des bétons de fibres de palmier en flexion (déformation, flèche, ouverture de fissure.....) en fonctions du chargement.
- ◆ Développer les principes de modélisation du comportement des bétons de fibres en flexion.
- ◆ D'étudier la modélisation de déformabilité des bétons de fibres végétales de palmier dattier avec l'exposition et/ou la proportion de quelques modèles ou lois mathématiques.

Outre une introduction et une conclusion générale, le mémoire est scindé en trois chapitres:

Chapitre1: Généralité sur les fibres et les bétons de fibre.

Chapitre2: Généralités sur la modélisation de flexion des bétons de fibre.

Chapitre3: Etude et modélisation des déformations renforcé par des fibres de palmier dattier.

Nous espérons par ces chapitre pouvoir arriver à atteindre le but projeté

CHAPITRE I

***Généralités sur les fibres et les
bétons de fibre.***

PARTIEA: Généralité sur les fibres.

1.1 Introduction :

Les bétons de fibre sont de plus en plus utilisés dans la construction. Les propriétés mécaniques de ce dernier dépendent de plusieurs facteurs:

- les conditions de mise en œuvre.
 - l'espace.
 - l'orientation et la distribution des fibres dans le béton.
- en distingue aussi, les paramètres liés au fibres tels que.

- la géométrie.
- la nature.
- les caractéristiques mécaniques.
- le facteur de forme.
- l'élancement des fibres.

1.2 Définition d'un matériau composite .

Un matériau composite est constitué d'un mélange de plusieurs phases de nature, de structure, de composition physique et chimique, et des propriétés mécaniques variées. En autre termes, un matériau composite est constitué d'une ou plusieurs phases discontinues réparties dans une phase continue de nature différente figure (1.1).

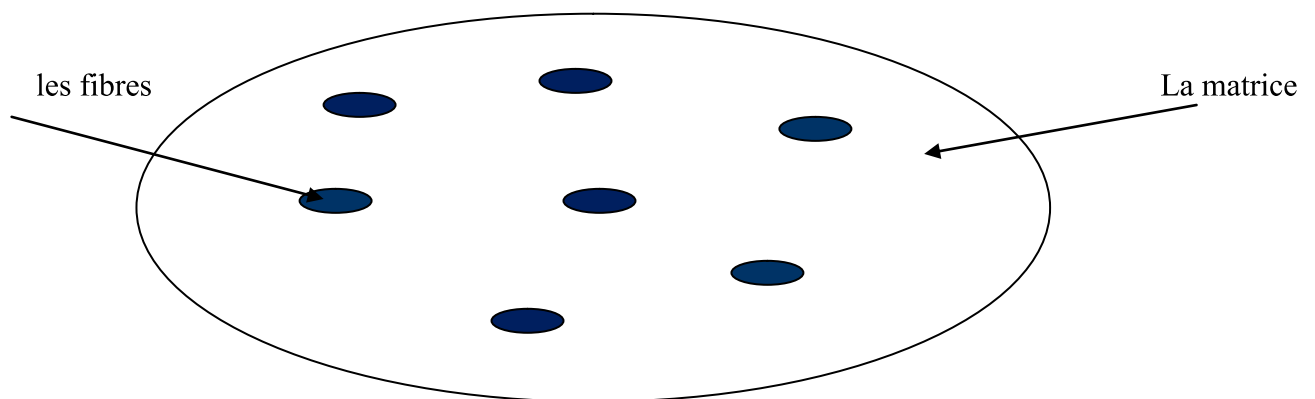


Figure (1.1) : Matériau composite Merkhoufi [1]

1.3 Historique et perspective de l'utilisation des fibres :

Suite aux développements technologiques, l'application des fibres dans plusieurs domaines a augmenté. les fibres ont été Utilisé dans le domaine des textiles depuis le XIX siècle sous forme de fibre de coton; en 1935 la fibre de nylon (plastique), dernièrement la fibre de polypropylène et depuis l'année1950 les fibres de verre et d'acier sont utilisés dans la production de corde et câble.

Vers les années 1900 la première fibre utilisée dans le domaine de la construction pour le renforcement des ciments est la fibre d'amiante.

D'autre part, le renforcement des ciments par les fibres de verre a commencé à partir des années 50, pour répondre aux exigences et aux nécessités de production des matériaux résistant, durables et légers.

1.4 Type des fibres utilisées dans le domaine de la construction :

Il existe plusieurs types des fibres utilisés dans le domaine de la construction, que l'on peut citer ci-dessous:

- a) Les fibres métalliques (acier, fonte).
- b) Les fibres organiques (polyproplènes, polysters, polyamides et polystyrènes).
- c) Les fibres minérales (amiante, verre, carbone).
- d) Les fibres végétales (Jute, sisal, coir, bois, bambou, palmier).
- e) Les fibres animales (Poil, laine, soie).

Le tableau (1.1) donne quelques caractéristiques des différentes fibres utilisées.

Tableau (1.1): Propriétés physiques et mécaniques de certaines fibres [2,3].

Fibre	Diamètre en Mm 144	Densité en (g/cm ³)	Module d'élasticité en Gpa	Résistance à la traction en Gpa	Allongement de rupture en %
Acier	5-500	7,8	200	1-3	3-4
Verre	5-20	2,6	80	1,5-3	2-3.5
Polypropylène	10,200	0,9	5-10	0,4-0,75	15-25
Amiante	0.02-20	2,5-3,4	200	3	2,3
Polyester	-	1,4	8	0,7-0,85	11-13
Carbone	5-9	1,7-2,0	250-400	2-3	0,5-1,5
Cellulose	14-45	1,5	20-40	0,15-0,5	8-12
Jute	18-2000	1,45	-	0,35	3-4
Sisal	10-50	1,5	15,2	0,8	3
Coir	20-700	1,08	2,8	0,17	37,7

D'après, KRIKER [5] ,DEBICKI [4] ont résumés dans le tableau (1.2) quelques propriétés des fibres industrielles.

Chapitre I

Le tableau (1.2) donne quelques caractéristiques des différentes fibres utilisées [4,5].

	NATURE DE LA FIBRE	FORME DE LA FIBRE	COUPE DE LA FIBRE	LONGUEUR DES FIBRES	ELANCEMENT L/φ ou L/e	DIMENSIONS DES GRANULATS ASSOCIES AUX FIBRES (mm)				X VOLUMIQUE DE FIBRE	
						< 1	< 5	< 10			
Renforts discontinus - Fibres	acier	relief irrégulier		25 - 35	25 - 55		x	x	x	1 à 3 %	
			$\phi = 0,45 \text{ à } 1,04 \text{ mm}$								
			$e = 0,3 \text{ mm}$		16 - 32	110		x	x	x	0,7 à 2 %
		formes particulères	$e = 0,25 \text{ à } 0,5 \text{ mm}$		6 - 30		x	x	x	x	0,7 à 3 %
							x	x	x	0,7 à 2 %	
		$\phi = 0,4 \text{ à } 0,6 \text{ mm}$		30 - 40	100-150		x	x	x	0,7 à 2 %	
	Fonte amorphe			30 - 40	1200-1400	x	x	x	x	0,7 à 2 %	
	Verre	$\phi = 5 \text{ à } 20 \mu\text{m}$		10 - 20		x	x			5 à 6 %	
	Carbone	$\phi = 7 \text{ à } 20 \mu\text{m}$		3 - 15	150-400	x				2 à 5 %	
	Aramide	$\phi = 12,4 \mu\text{m}$		1 - 10	100-800	x				1 à 3 %	
Polypropylène	$\phi = 51 \text{ à } 250 \mu\text{m}$		10 - 30	140-1700	x	x	x	x	2 à 6 %		
Amiante	$\phi = 0,0002 \text{ à } 0,002 \text{ mm}$		5	5000					5 à 10 %		
	Mélange hybride : cellulose + polypro. ou polyéthylène ou PVK etc (pour tenue à long terme)									5 à 10 %	
Renforts continus	Aramide	FIBRES ENDUITES DE RESINE				x	x	x	x	4 à 7 %	
	Verre					x	x	x	x		
	Polypropylène	FILETS	FIBRILLES 			x	x				
	Verre		TISSES 			x	x				

1.5 Les fibres végétales :

1.5.1 Introduction:

L'utilisations des fibres naturelles d'origine végétale dans la construction remonte à la période où l'on fabrique des briques renforcées par la paille ou des roseaux.

Dans le temps moderne vers l'année 70 Plusieurs ouvrages ont été réalisés avec du plâtre renforcé de fibres végétales [2] .

Suite aux problèmes de santé posés par les fibres d'amiante, le monde connaît un développements dans le domaine du renforcement de ciment et béton avec des fibres végétales, et plusieurs chercheurs sont orientés vers la substitution de l'amiante par des fibres végétales [5].

1.5.2 Classification des fibres végétales :

Les fibres végétales se présentent généralement comme suit:

a) les fibres de feuilles:

Ces fibres sont dures et rigides [5], les fibres de feuille les plus cultivées sont: la fibre de Sisal [6]

Plusieurs chercheurs tels que : NILSON [7] et AYYAR et al. [8] ont montré l'efficacité du renforcement du ciment par les fibres de feuille.

b) les fibres de tiges:

Les fibres de tiges sont commercialisées sous forme de paquet de coir et en toute longueur, séparées individuellement par un processus de défilage. Une fois séparées, elles sont utilisées dans la fabrication des cordes ou de textile ou bien dans le renforcement du ciment et béton [5,9]

Les fibres de tige les plus utilisées sont les fibres de jute, de lin, de ramie de sun, de Kennaf, de urena et de chanvre [5].

c) les fibres de bois:

Les fibres de bois proviennent du broyage des arbres tels que les bambous ou les roseaux. Elles sont généralement courtes.

Plusieurs chercheurs [9,10] ont montré l'efficacité de ces fibres dans renforcement des ciments.

d) les fibres de surface:

Les fibres de surface entourent en général la surface de la tige de fruit ou de grains. Ils constituent le groupe le plus important dans cette famille de fibres. Nous citons entre autre le coton et la noix de coco [9,11].

Par ailleurs, les fibres de palmier, qui entourent le tronc, appartiennent à cette famille de fibres

1.5.3 Caractéristiques physiques et mécaniques des fibres végétales :

Généralement une fibre végétale est caractérisée physiquement par son diamètre, sa densité sa teneur en eau et son pourcentage d'absorption d'eau [5].

Elle est caractérisée mécaniquement par sa résistance à la traction, à la rupture et par le module d'élasticité.

Les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales ont été traitées par plusieurs chercheurs [5, 12].

Le tableau (1.3) résume les propriétés physiques et mécaniques des fibres végétales [5,13].

Tableau(1.3) : Les caractéristiques physiques et mécaniques de quelques fibres végétales [5,13]

Fibre	Diamètre (mm)	Densité (g/m ³)	Résistance à la traction (MPa)	Module de young (GPa)	Teneur en eau à l'état naturel (%)	Absorption d'eau après 5 min(%)	Absorption deau à la saturation(%)
Cotton	-	1.5-1.6	587-597	5.5-12.6	-	-	-
Jute	-	1.3	393-773	26.5	-	-	-
Lin	-	1.5	345-1035	27.6	-	-	-
Chanvre	-	--	690	--	-	-	-
Ramie	-	--	400-938	61.4-128	-	-	-
Sisal	0.08-0.30	0.75-1.5	278-577.5	9.4-26.7	10.97-14.44	67-92	92-250
Noix de coco	0.08-0.30	0.67-1.33	72-175	2.0-6.0	11.44-15.85	22-43.2	85-185

1.5.4 Les fibres de palmier dattier :

Parmi les fibres végétales, on peut citer les fibres de palmier dattier, les plus cultivées dans le sud de notre pays, il ya plus de 800 variétés de palmier dans les oasis d'après des statistiques universitaire [5].

Les types les plus connus sont : Deglette Nour, Dokar, Elghers.....(appellation locale), on peut avoir plusieurs types de fibres dans le palmier : de bois, de feuille, de tige, de surface.

Les caractéristiques des fibres de surface de palmier dattier d'après les chercheurs [5,12] sont principalement:

- Un pouvoir d'absorption assez élevé (132.5% en poids en moyenne) d'après [5].
- Les fibres sont poreuses avec une surface alvéoles.
- Le pourcentage de cellulose (le responsable de la résistance) est relativement faible par rapport aux fibres de Sisal.

On peut résumer les propriétés physiques principales des fibres de surface de palmier dattier dans le tableau (1.4) suivants [5,12].

Tableau (1.4): les propriétés physiques principales des fibres de surface de palmier dattier.

Propriété	Minimum-Maximum	Moyenne-CV(%)
Diamètre (mm)	0.10-1.00	0.45-54.43
Densité Absolue (kg/m ³)	1300-1450	1383.33-5.52
Densité Apparente (kg/m ³)	512.21-1088.81	900-17.64
Teneur en eau naturelle (%)	9.50-10.00	10-5.00

Avec (CV) : Coefficient de variation.

1.6 Domaines d'application des fibres:

Les fibres courtes et discontinues ont cependant, l'avantage de se mélanger et de se disperser dans le béton de façon uniforme, ils permettent d'arrêter la propagation de la fissuration.

En outre, le renforcement des matériaux à base de ciment par des fibres offre des solutions techniques pour l'amélioration des performances rhéologiques (retrait et fluage).

Le tableau ci-dessous résume les diverses applications des fibres dans les produits cimentaires [5,14].

Tableau (1.5) : Application de divers renforcements de fibre dans les produits à base de ciment [5,14].

Type de fibre	Domaine d'application
Verre	Panneaux préfabriqués, murs, rideaux, tuyaux d'égout, toiture en voile mince, enduit.
Acier	Elément de toiture en béton cellulaire, linteaux, revêtements de chaussée, tabliers de pont, produit réfractaire, tuyaux en béton, piste d'atterrissage, réservoirs sous pression, travaux de restaurations.
Polypropylène Nylon	Pieux de fondation, pieux précontraints, panneaux de revêtement, éléments flottant de débarquement et amarres pour les marinas, réparation des routes, tuyau sous- marin, travaux de restauration bâtiment.
Amiante	Voiles, tuyaux, panneaux matériaux d'isolation thermique, tuyaux d'égouts, plaque de toiture plate et ondulées, revêtement des murs.
Carbone	Elément ondulé pour la construction des planchers, membrane simple ou double courbure, coques, planches d'échafaudage.
Particules de mica	Panneaux, tuyaux, travaux de restauration.
Végétale	Dalles, tuiles.

Chapitre I

Dans l'histoire on trouve que l'amélioration de la résistance des sols pour avoir une terre stabilisée (fabrication de briques du BTS : béton de terre stabilisée) passe le plus souvent par l'incorporation des fibres qui vont reprendre et répartir les contraintes [15], les tensions qui s'exercent dans et sur la terre pour cela plusieurs sortes de fibres végétales sont utilisées dans ce but (paille, écorce, aiguilles de pin).

La paille étant la plus utilisée car elle présente l'avantage d'alléger les produits et donc d'améliorer les qualités d'isolation thermique.

Les fibres végétales peuvent être utilisées dans d'autres domaines pratiques comme indiquent le tableau (1.6) [5].

Tableau (1.6): Résume les diverses utilisations des fibres végétales [5].

Type de fibre	Domaine d'utilisation
<ul style="list-style-type: none">▪ Fibres de gaine: tel que le coton et le kapok.▪ Fibres de tige: tel que le lin, le chanvre et le jute.▪ Fibres de feuille: tel que le sisal et le raphia.	Textile
Paille, Bagasse, bambou Cotton, Roseau, Sisal, Jute, Chanvre, Abaca, Kenaf et falax.	Production du papier
Palmier, Halfa, Cotton....	Art
Fibres végétales-plastique Fibres végétales-résine, Ramie/pp, Curaua/pp	Matériaux composites

PARTIE B: Comportements mécaniques des bétons de fibre.

1.1 Introduction:

Il a fallu toujours renforcer le béton pour tenir compte de la fragilité de ses matériaux sous l'effet des contraintes de traction et des charges d'impact. Dans de nombreux cas, Le béton est renforcé au moyen d'une armature de barres en acier ou de treillis soudé aux endroits les plus fortement sollicités.

Par ailleurs, l'addition de fibres réparties aléatoirement et de façon homogène dans le mélange de béton transforme le béton durci en un matériau composite plus flexible. Aussi les contraintes de traction du béton ne sont plus compensées dans une zone ou deux seulement mais il est renforcé dans toute sa masse et dans de multiples directions.

Le béton renforcé de fibres peut résister à des contraintes beaucoup plus grandes, avant et après la fissuration; plus mieux à la fatigue et aux impacts que le béton à armature traditionnelle, réduisant ainsi considérablement les possibilités d'épaufrure et d'écaillage. Si le béton se fissure, le renforcement de fibres métalliques contribue à minimiser la largeur des fissures en les couturant.

Depuis une quarantaine d'années[] les bétons de fibres métalliques (BFM) ont fait l'objet d'efforts de recherche importants tel que la compréhension de l'interaction fibre-matrice, énoncés de principes de formulation, règles de calcul basées notamment sur les lois contrainte- ouverture de fissure, et finalement un panel d'applications industrielles ciblées.

Il faut préciser qu'un renforcement sous forme de fibre distincte ne peut pas être utilisé en remplacement directement l'armature d'acier traditionnelle dans les pièces en béton armé et précontraint. Les fibres, en effet, sont moins efficaces que les armatures traditionnelles à taux d'acier équivalant face à des contraintes structurelles bien définies pour lesquelles les approches de conception des structures permettent de concentrer la section d'acier aux endroits critiques. De plus, le rapport de la résistance à la traction reste toujours faible. Afin obtenir une bonne résistance à la propagation des fissures et l'intérêt technologique, il faut incorporer les fibres dans le béton frais.

Toutes les études effectuées[5] s'accordent sur la conséquence majeure de l'ajout de fibres face au comportement, en l'occurrence la ductilité. Ces études parlent souvent de façon générale, et ne précisent pas la définition des fibres et leur limite de performance en fonction d'ouverture de la fissure.

Devant la diversité des fibres disponible sur le marché il est nécessaire de mener une recherche de laboratoire afin d'approfondir la connaissance sur le comportement en traction du béton en fonction de l'ouverture de la fissure. et d'étudier les paramètres susceptibles (les différents dosages et les différentes mise en œuvre des fibres) qui ont des conséquences directes sur le comportement des matériaux.

1.2 Rôle des fibres dans le matériau composite :

Les fibres apportent une meilleure réponse au problème de fragilité du béton: renforcé de fibre, c'est-à-dire, il devient plus ductile, ses fissures sont mieux réparties, sa déformation en traction augmente. La présence des fibres peut jouer un rôle de couture après fissuration de la matrice voir figure (1.2).

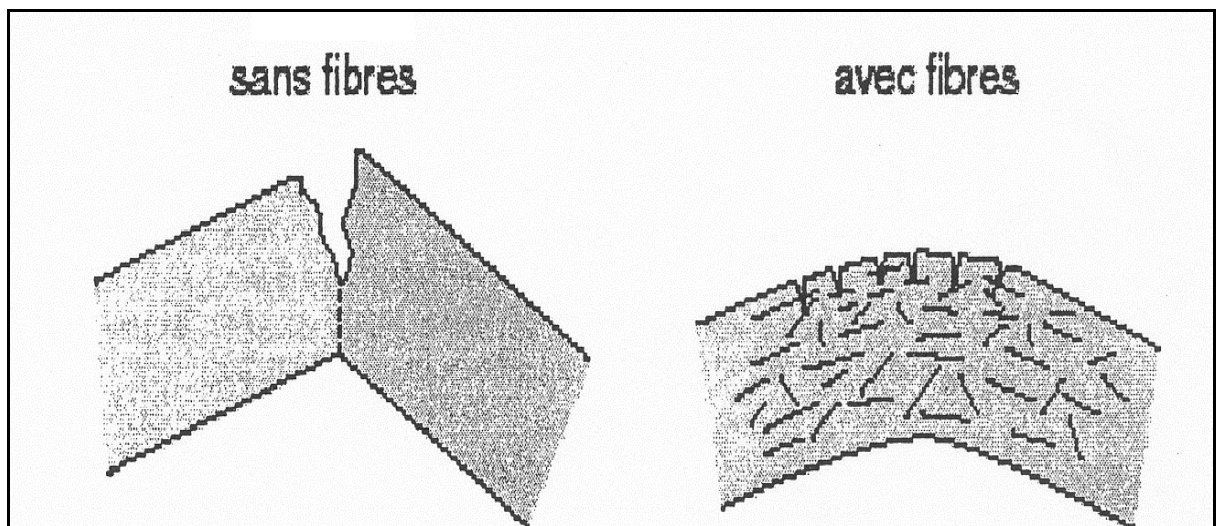


Figure (1.2): Fissuration du béton avec et sans fibres [17]

Lorsque les charges appliquées sur le béton s'approchent de la charge de rupture, les fissures se propagent, parfois rapidement. Le principal intérêt de l'ajout des fibres est alors d'arrêter le développement de la fissuration, l'augmentation de la ductilité et le maintien d'une résistance à la traction après fissuration

Selon Rossi [18], la résistance propre du matériau à la traction peut être améliorée en utilisant des fibres courtes et en grande quantité. Ces fibres luttent contre les microfissures diffusées et en conséquence l'amélioration de la résistance. En revanche les fibres longues mise en œuvre avec des granulats comparables à ceux des bétons ordinaires de structure, plus efficaces à l'échelle macro.

Le comportement du béton de fibre (BF) est constitué de 3 phases[18]:

- Tout d'abord le comportement est linéaire élastique; cette phase correspond au stade homogène non fissuré du matériau.
- Une phase de microfissuration. Durant cette phase, un certain nombre de microfissure se créent mais la contrainte continue à augmenter jusqu'à la contrainte pic. Les fibres sont mobilisées grâce à la bonne adhérence entre celles-ci et la pâte et permettent de reprendre l'effort sans perte de capacité portante.
- La dernière phase correspond à la création d'une macro-fissure qui s'ouvre progressivement. Le comportement et la contrainte diminuent. Enfin, la rupture de l'éprouvette se fait par arrachement ou rupture des fibres sous une ouverture de fissure très importante.

1.3 Les bétons de fibre (BF):

Le matériau composite est un matériau relativement nouveau dans le domaine de la construction. C'est vers les années 1900 [16], qu'a lieu la première utilisation du béton de fibre d'amiante. Les bétons de fibre possèdent plusieurs avantages tels qu'une bonne résistance à la fissuration et à la traction, ainsi qu'une bonne ductilité. Par ailleurs, sa résistance à la compression est généralement inférieure à celle du béton classique. Mais, sa résistance à la traction peut être légèrement améliorée par une bonne orientation des fibres dans la matrice.

Le tableau (1.7) donne la résistance à la traction (R_t) et à la flexion (R_f) de quelques bétons de fibre [1,2].

Tableau (1.7) : Résistance à la traction (R_t) et à la flexion (R_f) de quelques bétons de fibre (BF) par rapport au béton classique (BC) [1,2]

Type de fibres	Volume de fibres en (%)	$R_t(\text{BF})/ R_t(\text{BC})$	$R_f(\text{BF})/ R_f(\text{BC})$
Acier	0.5	2.5-4.0	-
	1.0	4-5.5	-
	1.5	10.0-25.0	2.0
Verre	1.0	1.7-2.0	2.5-3.5
Polypropylène	0.5	1.5-2.0	-
	1.0	2.0-3.5	-
	1.5	3.5-15	-
Nylon	1.0	1.5-1.7	-
Palmier dattier	0.4	0.87-1.06	1.14-1.41

1.4 Comportement mécanique des bétons de fibre:

1.4.1 Introduction:

L'association fibre béton constitue un matériau composite ayant un comportement différent de celui du béton classique, se caractérisant principalement par sa ductilité et par sa résistance à la traction et à la fissure.

Le comportement de ce matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux mêmes de plusieurs variables tels que :

- les propriétés des fibres, qui dépendent de :
 - La nature de la fibre (acier, verre, polymère ou végétale).
 - L'élanement des fibres (l/d).
 - La quantité d'incorporation.
- Les propriétés de la matrice, qui dépend aussi :
- le comportement de la bande d'interface qui dépend :
 - De la géométrie des fibres.
 - Du type de cure.
 - Du mode de chargement.
- Les conditions de la mise en œuvre qui dépendent :
 - De la distribution des fibres, leur orientation et leur espacement.
 - Du mode de remplissage du béton (pression, vibration).

La complicité des phénomènes mis en jeu dans le fonctionnement du béton de fibre (BF) et la sévérité des contraintes qui lui sont appliquées nécessite une bonne précision dans la simulation.

Cependant plusieurs chercheurs [9,18,19,20] se sont penchés sur l'élaboration des modèles qui peuvent simuler le comportement mécanique du béton de fibre (BF) Par l'utilisation de lois mathématiques et des méthodes de calcul très poussées notamment la méthode des éléments finis.

1.4.2 Comportement de la matrice:

Le comportement de la matrice des BF est similaire à ce lui du béton classique qui est assez compliqué et le débat est ouvert quant au choix des théories ou des méthodes de calcul pour sa modélisation. Les méthodes généralement utilisées sont dérivées du modèle élastoplastique.

Parmi les nombreux modèles qui simulent le comportement des bétons classiques (BC) nous citons le modèle de DAVENNE et al. [21] Qui se base sur la théorie d'endommagement scalaire et

qui stipule que la rupture du béton peut être caractérisée par la naissance, la propagation puis la coalescence des micro-fissures qui conduisent la formation des macro-fissures et la ruine finale. Ce modèle est donné par la l'équation (1- 1):

$$\sigma = IE_0 (\Pi_d - ID) \varepsilon \quad (1.1)$$

Avec :

- σ : Le tenseur contraint.
- IE_0 : La matrice de raideur élastique initiale.
- Π_d : La matrice identité.
- ID : l'opérateur d'endommagement.
- ε : Le tenseur déformation.

Sous un état quelconque des sollicitations, l'endommagement dû à la traction ID_c et un endommagement dû à la compression ID_t sous la forme suivante :

$$ID = \alpha^\beta ID_t + (1-\alpha)^\beta ID_c \quad (1.2)$$

Avec

- α , traduit la part respective de traction et de compression, est égale à 0 en compression pure et 1 en traction pure.
- β , traduit le couplage entre ces deux endommagements (voisin de 1.05 pour béton normal).

Les lois d'évolution de ID_t et ID_c sont déterminées à partir des essais uni axiaux comme le montre la figure (1.3).

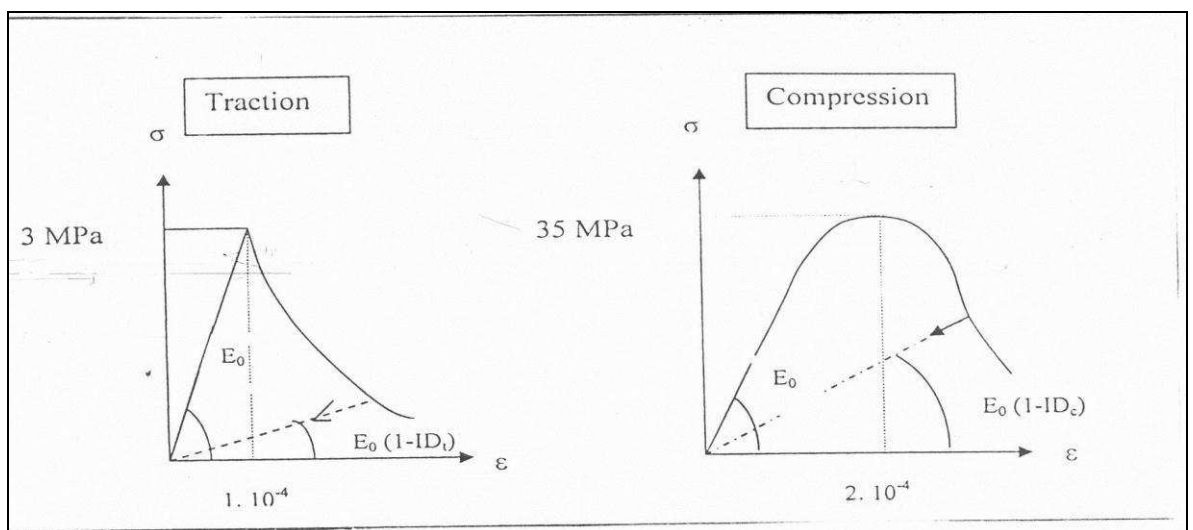


Figure (1.3): Comportement du béton sous sollicitation uni-axiales [5,21]

1.4.3 Comportement du béton de fibre en flexion:

Les fibres sont très efficaces, le comportement dans l'amélioration de la résistance à la flexion et de l'énergie de rupture des bétons de fibre (BF), Cependant, le comportement en flexion des bétons de fibre (BF) est largement influencé par la nature, le pourcentage, et l'orientation des fibres dans la matrice. L'allure générale du diagramme flèche-effort, donnée par plusieurs auteurs [9,3,22,23], peut être résumée par le diagramme illustré par la figure (1.4).

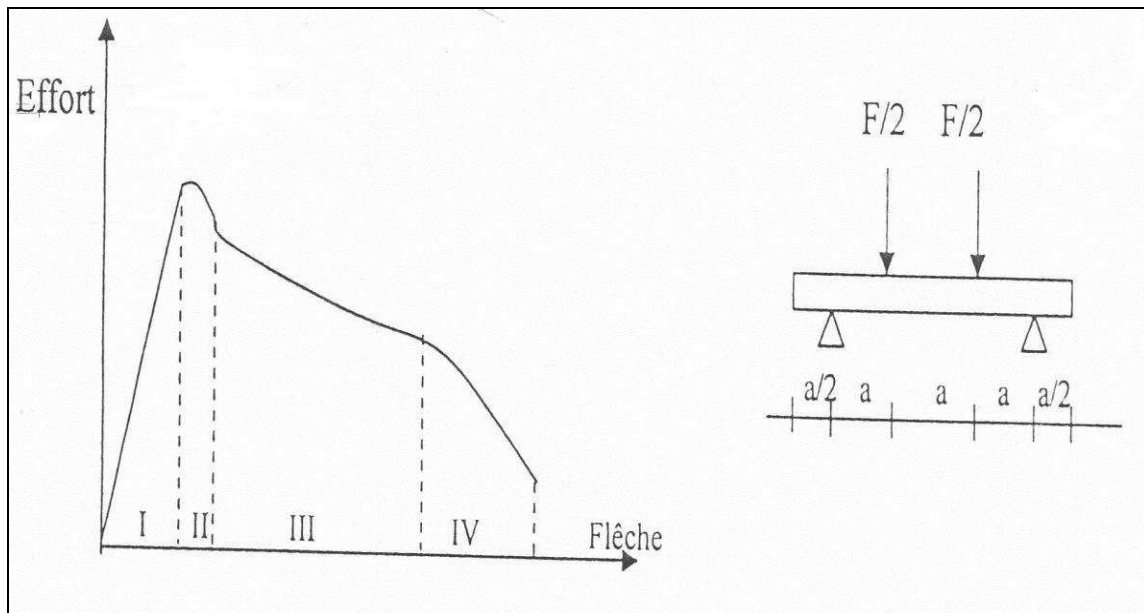


Figure (1.4): Diagramme flèche-effort des BF en flexion quatre points [Norme NFP18-409-5]

Le diagramme flèche –effort des BF en flexion comporte quatre zones. [5], à savoir:

- Zone I: Comportement élastique: Les fibres n'intervient pas, seul les caractéristiques de la matrice régissent le comportement.
- Zone II: Localisation des microfissures qui conduit à l'apparition de la première macro-fissure .Cette zone est largement influencée par la qualité de la matrice, le type et pourcentage des fibres.
- Zone III: Propagation de la macro fissure. Le dosage et l'orientation des fibres sont fondamentaux. Si la contrainte, après la première fissuration, excède la limite élastique de la matrice d'autres macro fissures peuvent apparaître. La distance entre les fissures dépend de la longueur et de l'orientation des fibres.

- Zone IV: Ouverture de la principale macro-fissure de manière importante et qui correspond à une dégradation du renforcement soit par déchaussement soit par rupture des fibres. Cela dépendra de l'intensité de l'adhérence matrice fibre, qui est en fonction du type, de l'état de surface et de la longueur.

1.4.4 Comportement du béton de fibre après la première fissure en flexion:

L'association des fibres au béton lui confère un comportement ductile. C'est-à-dire après l'apparition de la première fissure. Le matériau composite continue à se déformer et à supporter des charges supplémentaires.

Parmi les modèles proposés pour la modélisation du comportement des bétons de fibre (BF) après fissuration nous pouvons citer le modèle proposé par VAN GYSEL et al. [24], illustré par la figure (1.5). L'ouverture de la fissure juste à se produire lorsque la contrainte à la traction ultime de la matrice (σ_{mt}) est atteinte. Quand l'ouverture de la fissure (w) augmente, la contrainte diminue progressivement. Mais lorsque l'ouverture atteint une valeur critique w_{crit} , il n'aura plus de transfert à travers la fissure. Le diagramme de la figure (1.6) montre la relation entre la contrainte et l'ouverture de fissure.

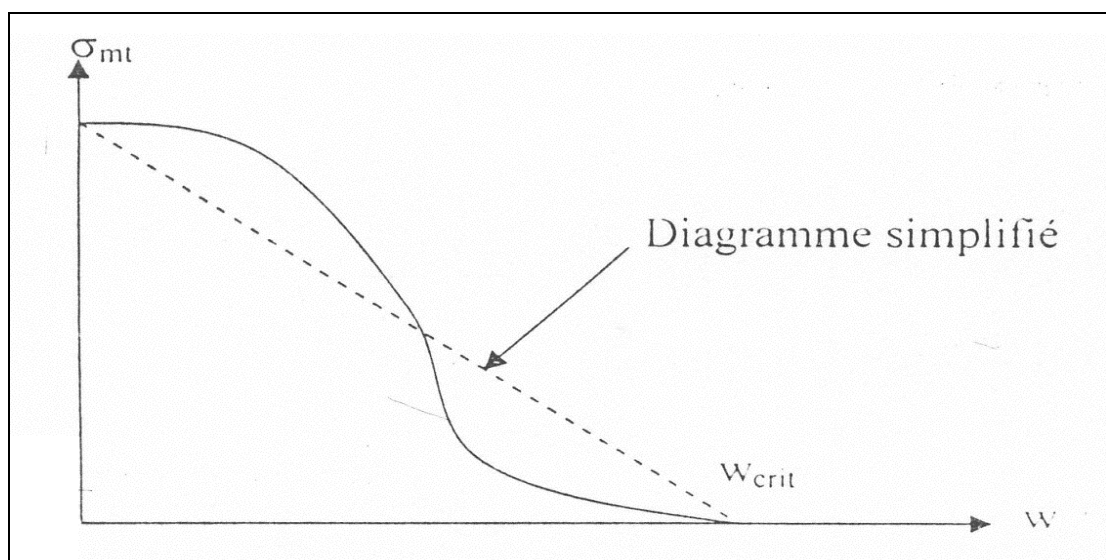


Figure (1.5): Diagramme contrainte de traction de la matrice-ouverture de fissure [5,24].

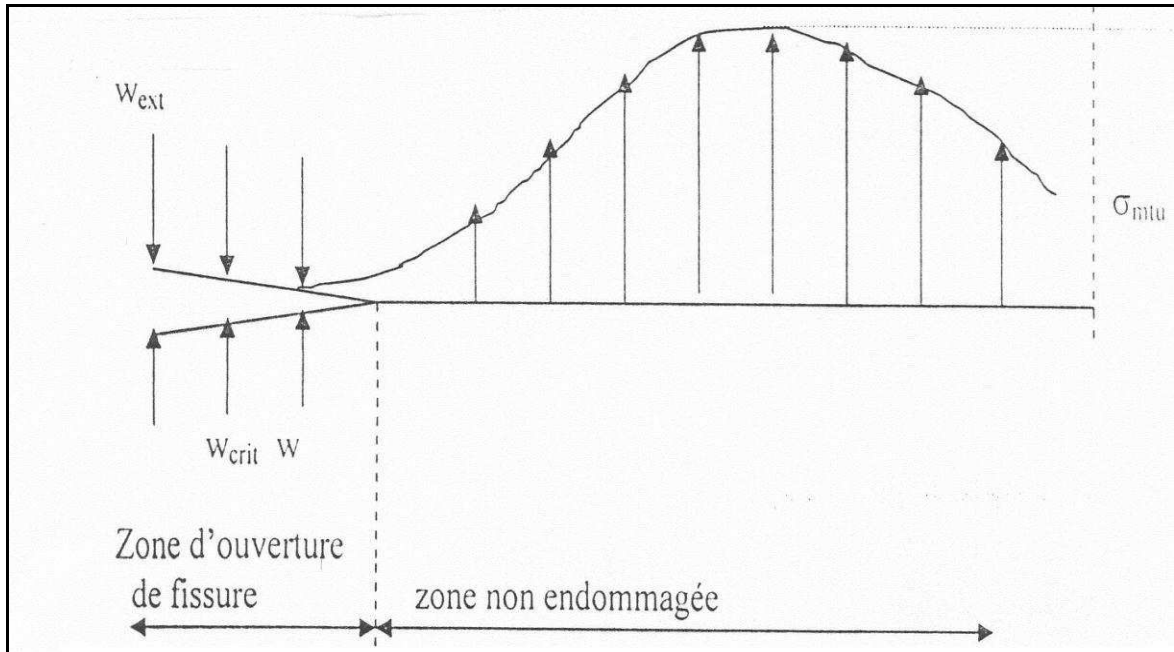


Figure (1.6): Diagramme contrainte de la matrice et d'ouverture de fissures dues à la flexion [5,24]

1.4.5 Distribution des contrainte et des déformations après la première fissuration des bétons de fibre en flexion:

Le diagramme de distribution de contrainte dépend de plusieurs paramètres tels que le type, la dimension, l'orientation, le dosage des fibres ainsi que le mode de fissuration.

HANNANT [25] a proposé sur la figure (1. 7. 8 .9) quelques diagrammes typiques de la distribution des contraintes et de déformations. Le diagramme (c) ou (d) conviennent plus pour les fibres métalliques pour un dosage en fibres inférieur au dosage critique tandis que le diagramme (d) et (e) conviennent plus pour les fibres de verre pour un dosage respectivement inférieur et supérieur au dosage critique.

Dans ce qui suit nous allons donner deux exemples de diagramme de distribution de contrainte en fonction de l'orientation des fibres dans la matrice.

Pour des bétons de fibre métalliques dans le cas où les fibres seraient alignées dans la direction de l'effort des tractions, VAN GYSEL [24] a proposé le modèle des répartitions des contraintes normales illustré sur la figure (1.7).

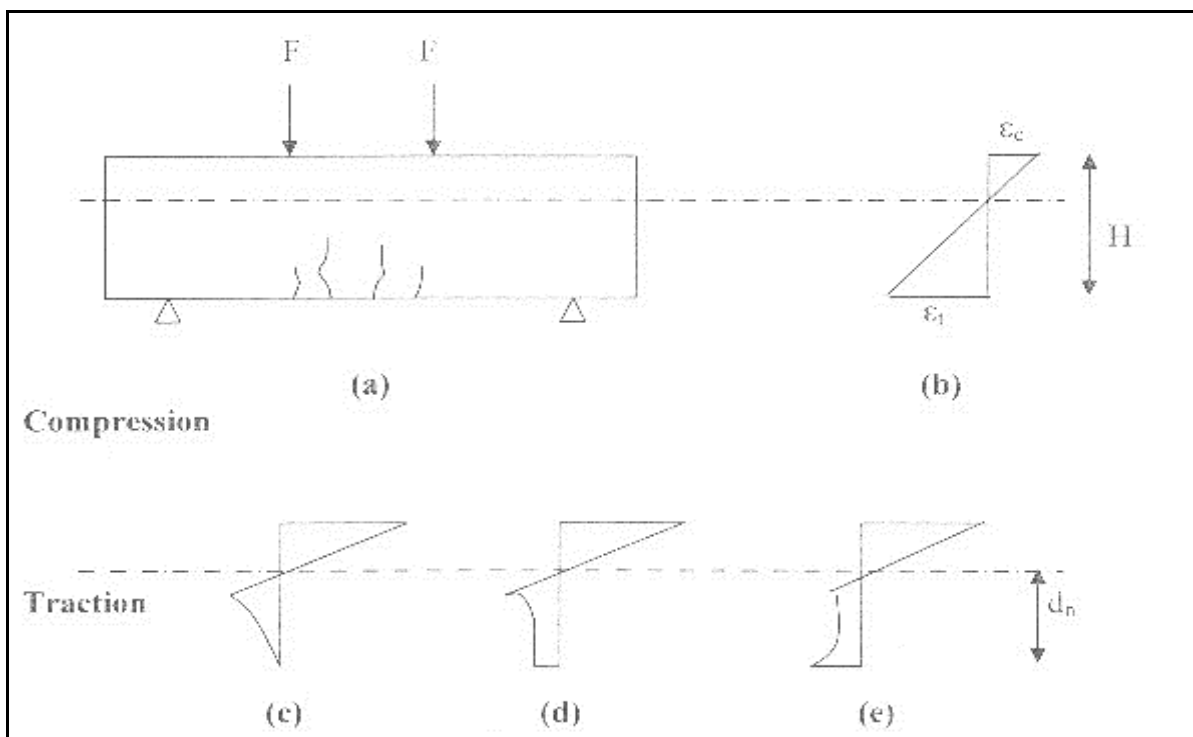


Figure (1.7): Diagramme répartition de contraintes et de déformations en flexion (après fissuration) [5,24,25]

Où:

F : Force.

ϵ_c : déformation de béton en compression

ϵ_t : déformation de béton en traction.

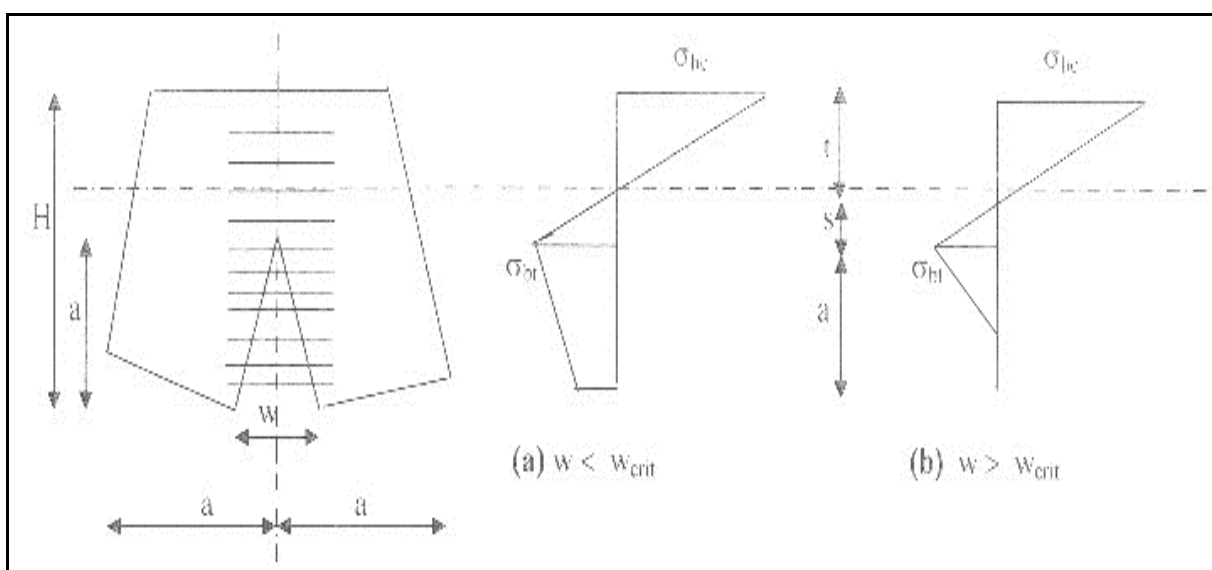


Figure (1.8): Modèle de répartition des contraintes normales la section du béton de fibres fissuré [5,24].

Où : σ_{bc} , σ_{bt} et σ_{bu} sont respectivement :

σ_{bc} : Contrainte de béton en compression.

σ_{bt} : Contrainte de béton en traction .

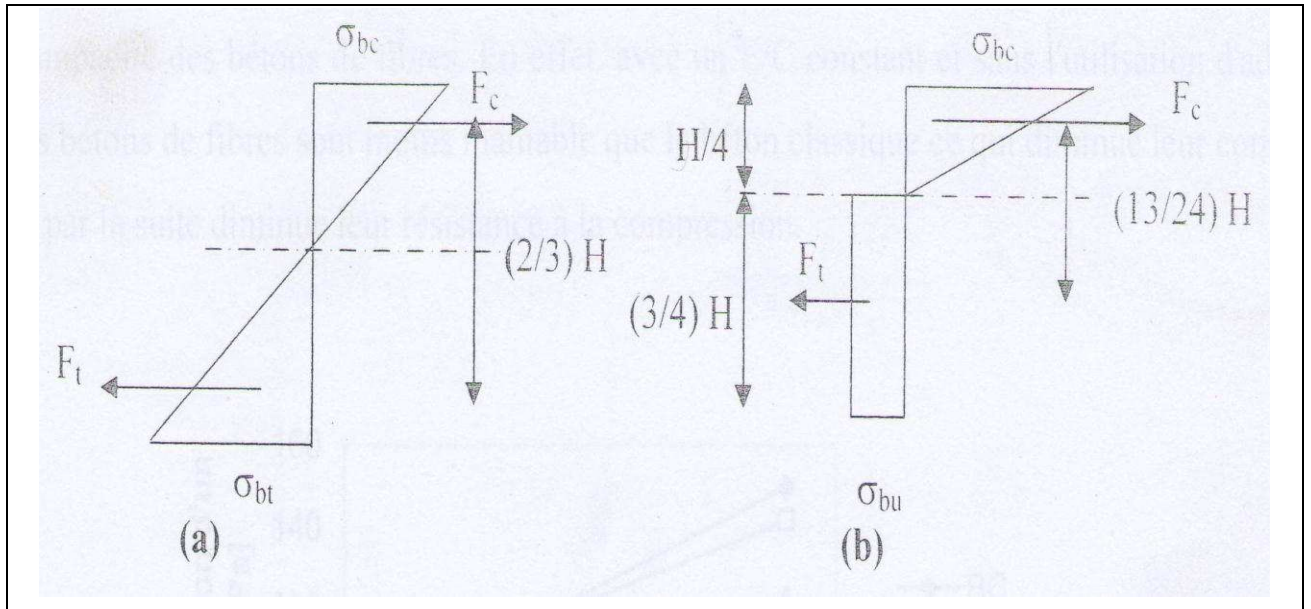
σ_{bu} Contrainte ultime de béton en compression.

W: L'ouverture de fissure.

W_{crit} : L'ouverture de fissure critique.

A titre d'exemple, pour les bétons de fibre métalliques dans le cas des fibres courtes dispersées, HANNANT [25], propose le modèle de répartition de contraintes représenté sur la figure (b). Il a trouvé que σ_{bu} du diagramme (b) de la figure (1.9) peut être exprimé en fonction de σ_{bt} du diagramme(a) de la figure (1.9) par équation suivante :

$$\sigma_{bu} = 0.41 \sigma_{bt} \quad (1.3)$$



Figure(1.9): Modèle de répartition des contraintes dans la section du béton de fibres fissurés [5,25]

Avec : - (a) Modèle élastique.

- (b) Modèle élastique en compression et plastique en traction.

1.5 Conclusion:

Ce chapitre est un aperçu général sur les fibres et les bétons renforcé par les fibres, passant par les différents types de fibres, et en détaille pour les fibres végétales, ensuite nous avons donné quelques caractéristiques physiques et mécaniques de ces derniers, enfin nous avons terminé ce chapitre par les grandes axes d'utilisation des fibres dans les divers domaines.

L'idée d'utilisation des fibres est très ancienne, de la simple utilisation (domaine de textile) jusqu'aux diversités actuelles (matériaux de construction).

Actuellement, les types de fibres les plus utilisés dans le renforcement des bétons sont les plus économiques que présente la production des fibres d'acier, de verre ou de polymère, particulièrement pour les pays en voie de développement qui possèdent une grande richesse en fibres naturelles, l'avenir en terme de renforcement sera attribué aux fibres naturelles, ou bien à la limite aux fibres composites (polymère végétal). Pour cela, il est temps d'orienter les axes de recherches vers la valorisation des fibres naturelles dans la construction d'une façon générale et dans le béton d'une façon particulière.

CHAPITRE II

*Généralités sur la modélisation des
fibres et les bétons de fibre.*

2.1 Introduction:

La complexité du phénomène mis en jeu dans le fonctionnement du béton de fibre et la sévérité des contraintes qui lui sont appliquées nécessitent une bonne précision dans la simulation. Dans cet esprit, plusieurs chercheurs se sont penchés sur l'élaboration des modèles qui peuvent simuler le comportement mécanique des Bétons de Fibres par l'utilisation des lois mathématiques et des méthodes de calcul très poussées notamment la méthode des éléments finis. Cependant, la plus part des modèles proposés sont propres aux bétons de fibres métalliques, et il existe peu de travaux consacrés aux bétons de fibres végétales.

Dans ce chapitre on va traiter quelques exemples de modèle propre aux bétons de fibre. Ceux qui se basent sur des lois mathématique ou numérique et d'autres qui se basent sur des lois empiriques.

2.2 Définition :

2.2.1 Le modèle:

Un modèle est une traduction de la réalité pour pouvoir lui appliquer les outils, les techniques et les théories mathématiques, puis généralement, en sens inverse, la traduction des résultats mathématiques obtenus en prédictions ou opérations dans le monde réel [26].

2.2.2 La modélisation:

La modélisation est la démarche, où le processus scientifique conduisant à la connaissance, et à l'obtention de la loi régissant un phénomène physique. Mais, comme la plupart des phénomènes physique (ou naturels) sont inter dépendants, donc complexes, on ne peut obtenir qu'une "**loi approchée**" qu'on appelle <Modèle>, ou modèle mathématique par différence au modèle physique. Le modèle constitue la meilleure représentation du modèle physique, compte tenu des données qui ont permis son établissement. Mais toute évolution dans la compréhension du phénomène, et/ou, dans les moyens de calcul, ainsi, que dans les techniques de mesure peut faire progresser le modèle vers un autre modèle plus précis, ainsi, un modèle évolue à l'infini vers une loi. Le schéma (2.1) présente l'organigramme de principe de cette évolution, est valable pour toutes les disciplines de la vie.

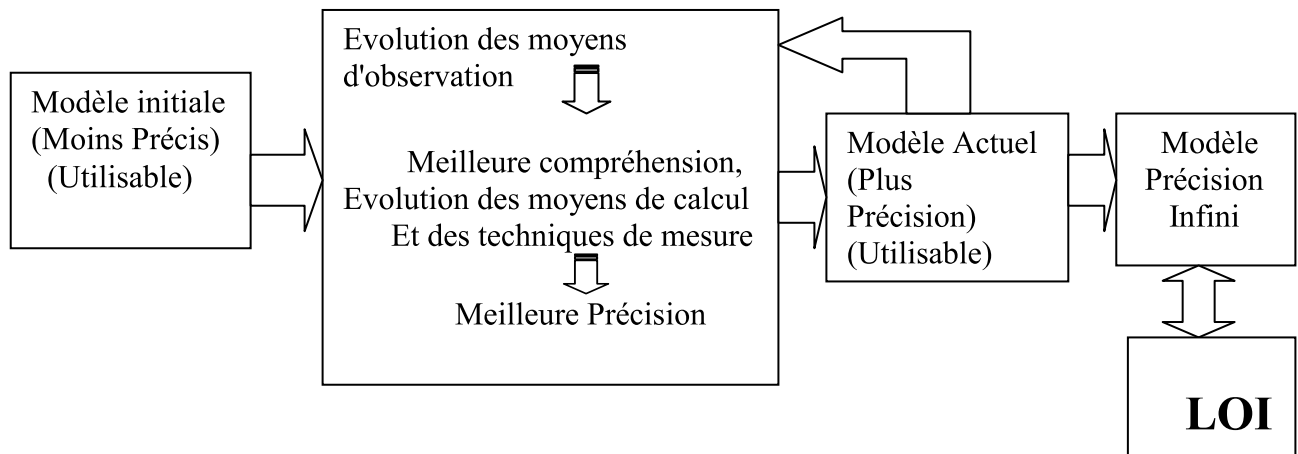


Schéma (2.1): Organigramme de l'évolution du modèle vers la loi [26]

D'autre part, le modèle mathématique nous fournit une description quantitative (la valeur des paramètres) du phénomène physique, la description qualitative concerne la compréhension et l'identification des différents paramètres ayant une influence sur le phénomène.

2.2.3 Objectifs

Parmi les objectifs principaux dans la recherche des modèles est la prédiction des événements futurs, car plus la prédiction est précise, plus la prévision sera efficace, et plus les conditions de sécurité et d'économie seront garanties.

Un de nos objectifs est celui de la maîtrise des processus dans toutes les disciplines.

Dans le schéma (2.2), nous présentons le principe logique derrière la recherche des modèles des phénomènes de la nature.

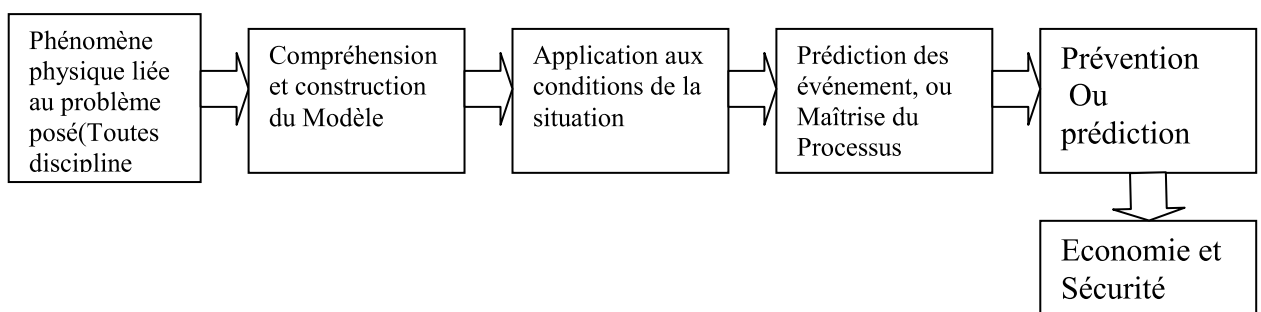


Schéma (2.2): Organigramme du principe logique à la base de la recherche des modèles [26].

2.2.4 Comment élaborer un modèle?

1- Le point de départ est toujours **une question** qu'on se pose sur une situation future et/ou si complexe qu'on n'y trouve pas la réponse de manière évidente.

2- Pour trouver la réponse, il est nécessaire de **limiter le champ du problème** en recherchant les données qu'on imagine avoir un lien direct avec la question. Trop limiter fait courir le risque de ne pas modéliser un phénomène qui a du poids dans le contexte, mais trop ouvrir entraîne une dispersion des moyens et une accumulation de données non pertinentes qu'il faudra écarter en justifiant les choix.

3- Il faut ensuite **construire le modèle**:

C'est là qu'interviennent les outils mathématiques et informatiques, qui permettent un filtrage et une construction avec un minimum de subjectivité en un minimum de temps.

4- Le «substrat» restant constitue le modèle, ensemble de règles ou d'équations. Il faut décrire ces règles le plus complètement possible: leur importance relative, les données en entrées et en sorties, les outils mathématiques utilisés, les étapes par lesquelles il faut passer, les points de contrôle.

5- la dernière étape consiste à **valider le modèle**: en appliquant aux données filtrées les règles du modèle, retrouve-t-on la situation initiale? Si l'écart est trop important, il est nécessaire de se reposer la question des limites que l'on a fixées, ou de la pertinence des outils utilisés pour la modélisation.

2.3 Modélisation du comportement des bétons de fibre:

2.3.1 Introduction:

Les performances des techniques expérimentales actuelles conduisent à cerner en détail les évolutions microstructurelles du matériau et leurs conséquences sur le comportement mécanique macroscopique. Les progrès récents de la mécanique des matériaux permettent de modéliser avec finesse les comportements complexes et d'élaborer des stratégies expérimentales d'identification de ses comportements.

Concernant la flexion des bétons de fibres et après une étude bibliographique, nous exposant dans ce chapitre quelques modèles.

2.3.2 Modèles mathématiques.

2.3.2.1 Modèle de Pierre ROSSI:

L'objectif de ce modèle est de déterminer une relation macroscopique traduisant le comportement d'une section fissurée c'est-à-dire la relation moment-rotation d'un béton de fibre métallique.

Dans ce qui suit, nous exposons la théorie de Pierre ROSSI [27], le calcul est basé sur des hypothèses cinématique qui peuvent être présentées ainsi:

- Considérons une poutre macrofissurée (une ou plusieurs fissures localisées et propagées) soumise à la flexion. Les hypothèses suivantes sont à considérées:
- Chacune des sections fissurées peut être assimilée à une charnière plastique.
- La poutre est alors modélisée par un ensemble de traçons élastique assemblés par des charnières.
- La flèche de la poutre s'exprime simplement en fonction de la rotation aux charnières et des déformations élastiques des segments figure (2.1) ci-dessous.

Il a jugé qu'il convient de déterminer la rotation moment rotation d'une section fissurée on analyse la section fissurée et la zone autour de la fissure. Les fibres après la fissure reprennent L'essentiel de l'effort de traction alors que le béton de fibres non macrofissuré reprend l'effort de compression et une faible part de traction.

Les étapes de calcul à suivre sont les suivantes:

- 1- L'égalité entre le moment et charge résistant de la section et le moment et charge extérieur appliquée.

$$N_b + N_c = N_{ext} \quad (2.1)$$

Avec:

N_b = effort normal repris par le béton.

N_c = effort normal repris par les fibres.

N_{ext} = effort normal extérieur appliqué.

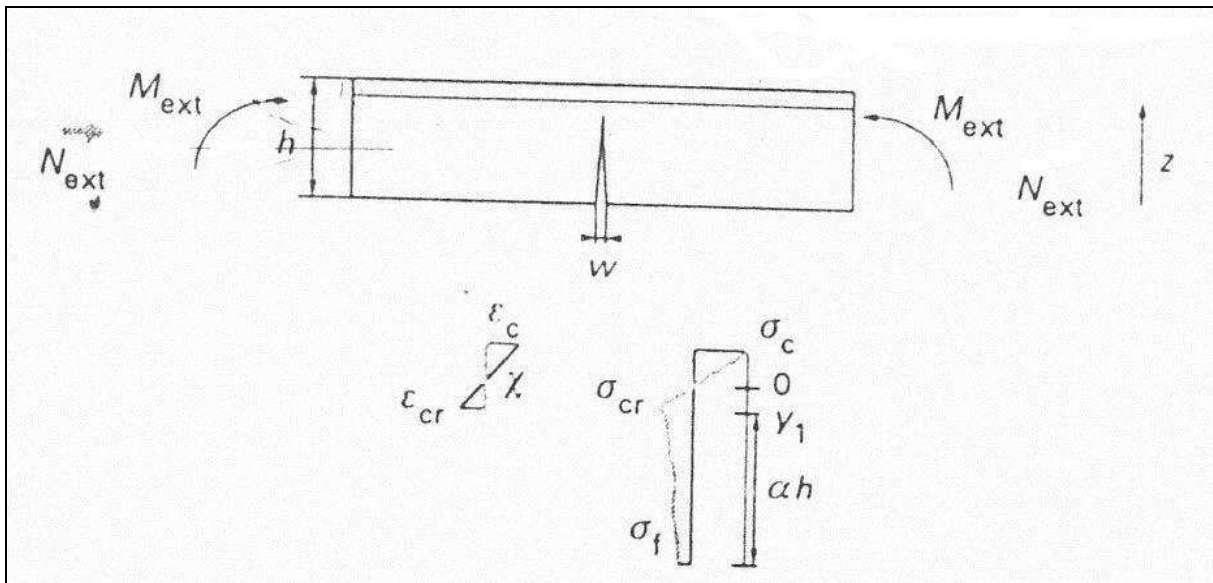


Figure 2.1: Répartition des déformations et des contraintes dans la poutre. [27]

$$M_b + M_f = M_{\text{ext}} + M_{\text{Next}} \quad (2.2)$$

Avec:

M_{ext} : moment de flexion extérieur appliqué.

w : ouverture de la fissure.

h : hauteur de la poutre.

y_1 : l'ordonnée où est atteinte la contrainte de fissuration en traction du béton.

σ_c : contrainte de compression.

σ_f contrainte de flexion.

σ_{cr} : contrainte d'apparition de la fissure.

χ : courbure.

ϵ_c : déformation de compression.

ϵ_{cr} : déformation d'apparition de la fissure.

M_b = moment résistant de béton.

M_f = moment résistant des fibres.

M_{Next} = moment dû à l'effort normal extérieur.

L'ouverture de fissure w , est modélisée par un triangle isocèle de petit côté égal à w et de hauteur de la fissure αh , où $\alpha \in] 0,1[$.

- N_f :se calcule alors simplement à partir de la relation contrainte-ouverture de fissure obtenue par l'essai de traction sur éprouvette entaillée:

$$N_f = \int_0^{\alpha h} \sigma_f \left(1 - \frac{z}{\alpha h} w\right) b dz \quad (2.3)$$

Avec :

σ_f : contrainte reprise par les fibres.

b : largeur de la poutre.

Le béton de fibres de la partie non macrofissurée de la section suit une loi de comportement $\sigma_b(\varepsilon)$ en fonction de la déformation totale et dont l'expression dépend de l'état limite de vérification (ELS ou ELU). Pierre ROSSI [27] a fait l'hypothèse que la présentation des déformations reste linéaire dans cette partie de la section et on définit sa courbe χ . On appelle- y_1 l'ordonnée où est atteinte la contrainte de fissuration en traction du béton

$$y_1 = \sigma_{cr} / E_r \quad (2.4)$$

E : module de young.

- N_b : se calcule comme l'intégrale de la contrainte sur la hauteur non macrofissurée de la section.

$$N_b = \int_{\alpha h}^h \sigma_b [\chi z - \alpha h - y_1] b dz. \quad (2.5)$$

σ_b : la contrainte repris par le béton.

- Moment résistant de la section par rapport à la fibre inférieure:

$$M_f = \int_0^{\alpha h} \sigma_f [1 - (z/ \alpha h) w] b z dz. \quad (2.6)$$

$$M_b = \int_{\alpha h}^h \sigma_b [\chi (z - \alpha h - y_1)] b z dz. \quad (2.7)$$

La figure (2.4) représente la répartition de la courbure dans la zone autour de la fissure est perturbée par rapport au comportement élastique correspondant à une courbure

$$\chi_e = \frac{M_{ext} + M_{Next}}{EI}$$

I : moment d'inertie.

Dans cette zone, Pierre ROSSI [27] a modélisé la poutre par un assemblage de deux couches:

La première couche:

La couche supérieure, non macrofissurée, qui se comporte suivant la théorie des poutres.

La deuxième couche:

La couche inférieure, de hauteur égale à la hauteur de fissure αh , qui est composée de deux blocs rigides reliés ponctuellement. La longueur de la partie perturbée est notée Δ_f .

La compatibilité géométrique aux limites de la zone perturbée implique que la rotation d'angle 2θ au niveau de la fissure est égale à la variation angulaire dans la couche supérieure et pour expression:

$$2\theta = \frac{w}{\alpha h} \int_0^{\Delta_f} \chi(x) dx \quad (2.8)$$

Par ailleurs, en faisant l'hypothèse que w est très petite devant αh , hauteur de la fissure, la géométrie adoptée entraîne

$$2\theta = \frac{w}{\alpha h} \quad (2.9)$$

ROSSI [27], à trouver que le problème posé par les équations (2.1), (2.2) et (2.8) comprend 6 inconnues: $w, \alpha, \chi, M_{ext}, \Delta_f$ et θ où χ est fonction de la position. c'est pour ça il a jugé que Certaines hypothèses simplificatrices sont donc nécessaires.

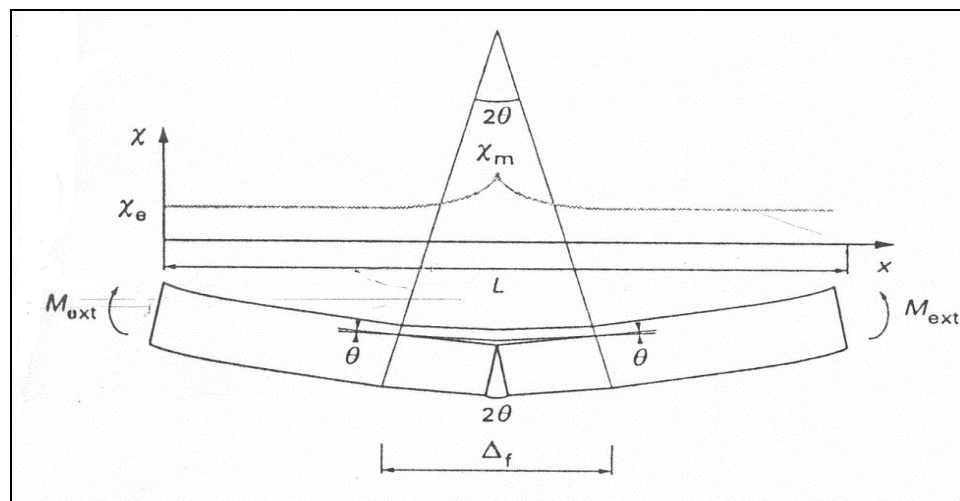


Figure 2.2: Répartition de la courbe [27].

Une étude par élément finis élastique montre qu'une fissure perturbe le champ de déformation sur une distance environ égale à sa hauteur de part et d'autre de la fissure

$$\Delta_f = 2 \alpha h \quad (2.10)$$

ROSSI [27], a fait l'hypothèse supplémentaire que la courbe varie de manière parabolique de χ_m Au droit de la fissure à χ_e sur la distance $\Delta_f/2$ la relation (2.11) s'écrit alors:

$$2\theta = \frac{(\chi_m + 2\chi_e)2 \alpha h}{6} \quad (2.11)$$

-La flèche δ est calculée suivant l'hypothèse de l'apparition d'une charnière plastique entre deux blocs élastiques

Elle est la somme d'un terme élastique δ_e , dû à la courbe de la zone non perturbée, et d'un terme lié à la rotation au niveau de la fissure δ_f

$$\delta_e = \int_0^{(l-\Delta_f)/2} \left(\theta + \int_0^{(l-\Delta_f)/2} \chi_{ed}(x) dx \right) dx \quad (2.12)$$

Où L: longueur entre appuis.

$$\chi_e(x) = \frac{M_e(x)}{EI} \quad (2.13)$$

EI :Le moment élastique.

$$\delta_f = \frac{\theta \Delta_f}{2} \quad (2.14)$$

$$\delta = \delta_e + \delta_f = \frac{\theta L}{2} + \int_0^{(l-\Delta_f)/2} \left(\int_0^{(l-\Delta_f)/2} \chi_e(x) dx \right) dx \quad (2.15)$$

2.3.2.2 Modèle de Tayfun Uygunog̃lu [28]:

Tayfun Uygunog̃lu [28] a étudié l'influence du pourcentage et longueur de fibre sur la résistance à la flexion en fonction de l'âge (à 7,28,56,180 et 360 jours) dans le comportement de béton.

Programme expérimental:

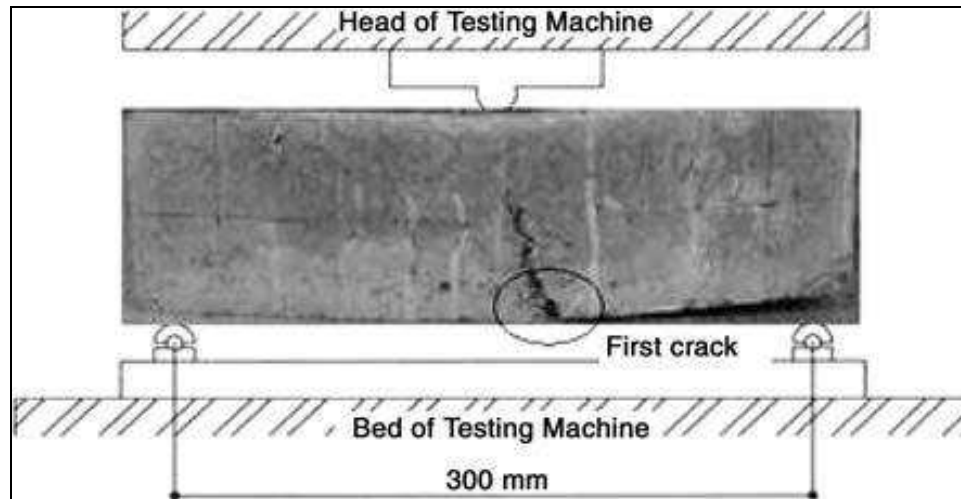
-Il a utilisé deux types de béton dans son étude : le SF I et le SF II.

-ciment utilisé est (CMI):ciment portland ordinaire sa résistance à 28 jours est de 45MPa.

-Les éprouvettes sont de dimensions 100mm×100mm×350mm.

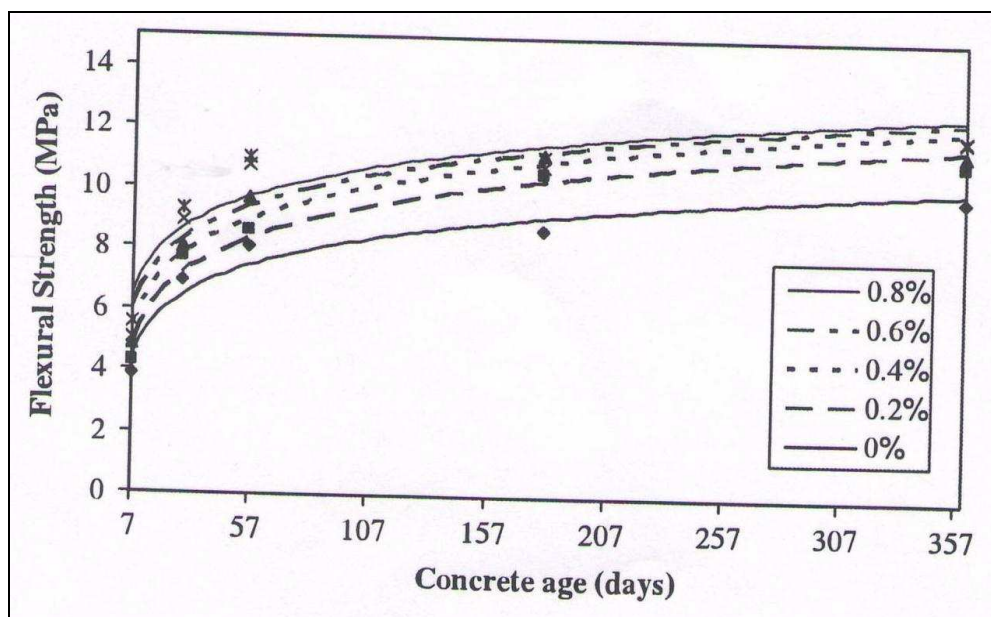
-Les pourcentages des fibres d'aciers utilisés sont : 0%, 2%, 4%, 6% et 8%. Avec une longueur des fibres $l=30$ et 60 mm, diamètres $d=0.5$ et 0.75 mm.

La figure (2.3) représente l'essai utilisé par Tayfun Uygunog̃lu [28] .

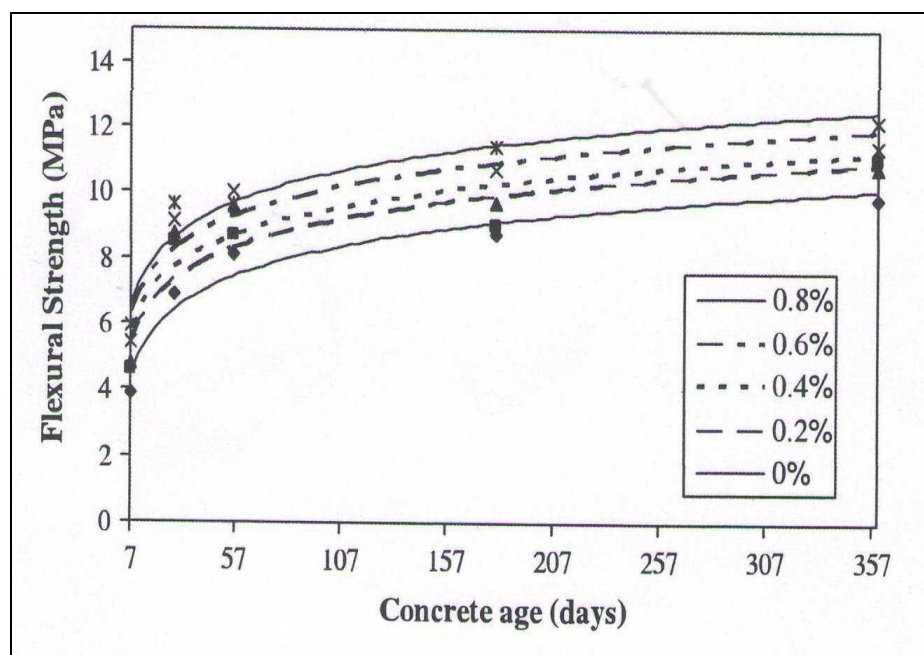


Figure(2.3): Représentation du développement de la première fissure dans les essais [28].

Les résultats expérimentale de cet essai sont illustrés sur la figure (2.4) qui représente la résistance à la flexion en fonction de l'âge.



(a) (SFI)



(b) (SFII)

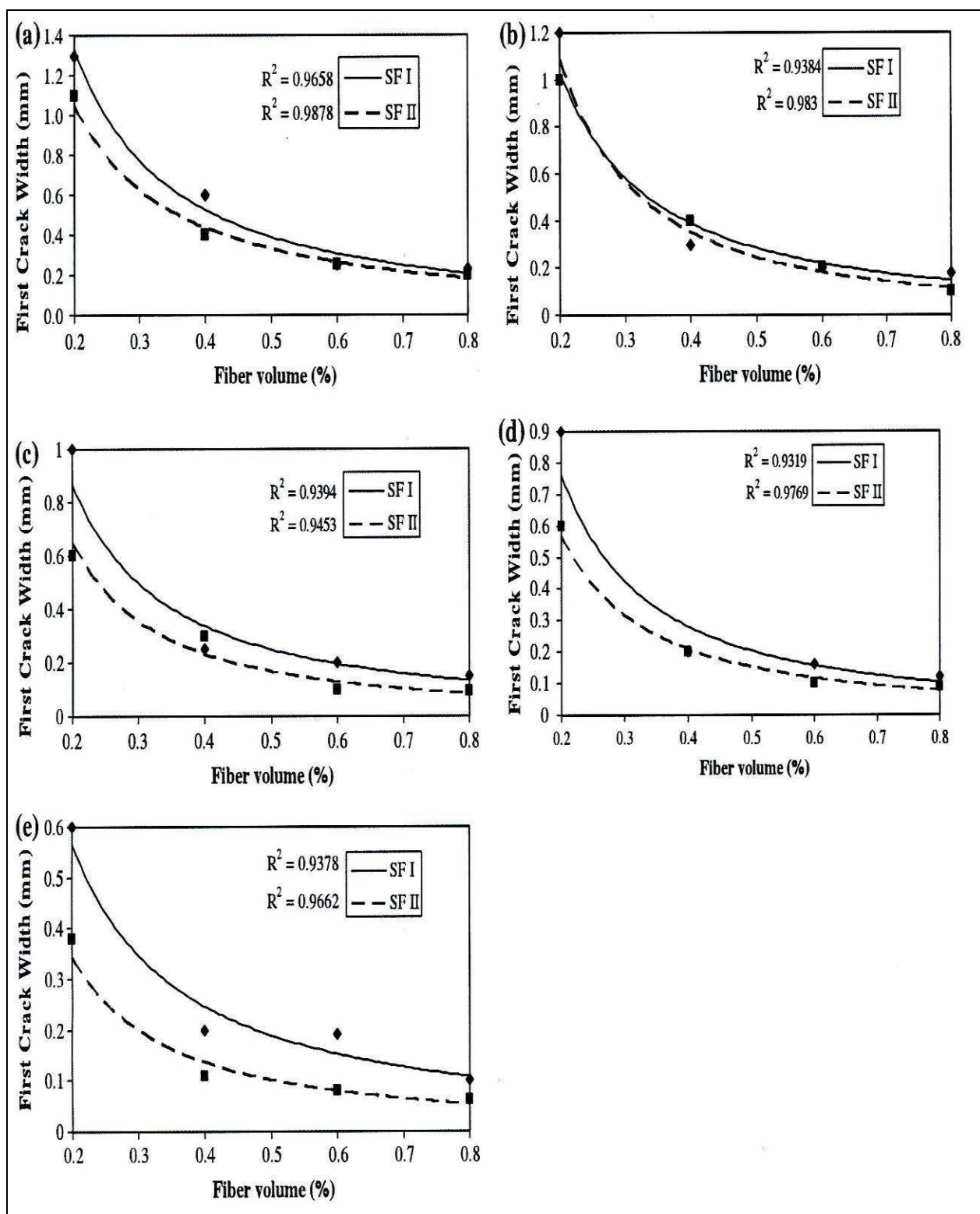
Figure(2.4): La résistance à la flexion en fonction de l'âge: (a) pour SFI et (b) pour SFII [28].

Ensuite, Tayfun Uygunoglu [28] a présenté quelques modèles donnés par le tableau (2.5)

Tableau(2.5): Equation de la résistance à la flexion en fonction de L'âge [28]

Vf (%)	SF I	R	SF II	R
0	$y = 1.4262\text{Ln}(x) + 1.6889$	0.97	$y = 1.4262\text{Ln}(x) + 1.6889$	0.97
0.2	$y = 1.7074\text{Ln}(x) + 1.4428$	0.98	$y = 1.3912\text{Ln}(x) + 2.6899$	0.93
0.4	$y = 1.6982\text{Ln}(x) + 2.0944$	0.97	$y = 1.3694\text{Ln}(x) + 3.1505$	0.98
0.6	$y = 1.6194\text{Ln}(x) + 2.8627$	0.93	$y = 1.4244\text{Ln}(x) + 3.5284$	0.95
0.8	$y = 1.5298\text{Ln}(x) + 3.5327$	0.92	$y = 1.507\text{Ln}(x) + 3.6206$	0.97

Dans ces modèles on remarque que le plus petit corrélation est égale à 0.92. Ensuite, Tayfun Uygunoglu [28] a pu présenter de la modélisation graphique concernant l'ouverture de la première fissuration en fonction du volume voir la figure (2.5).



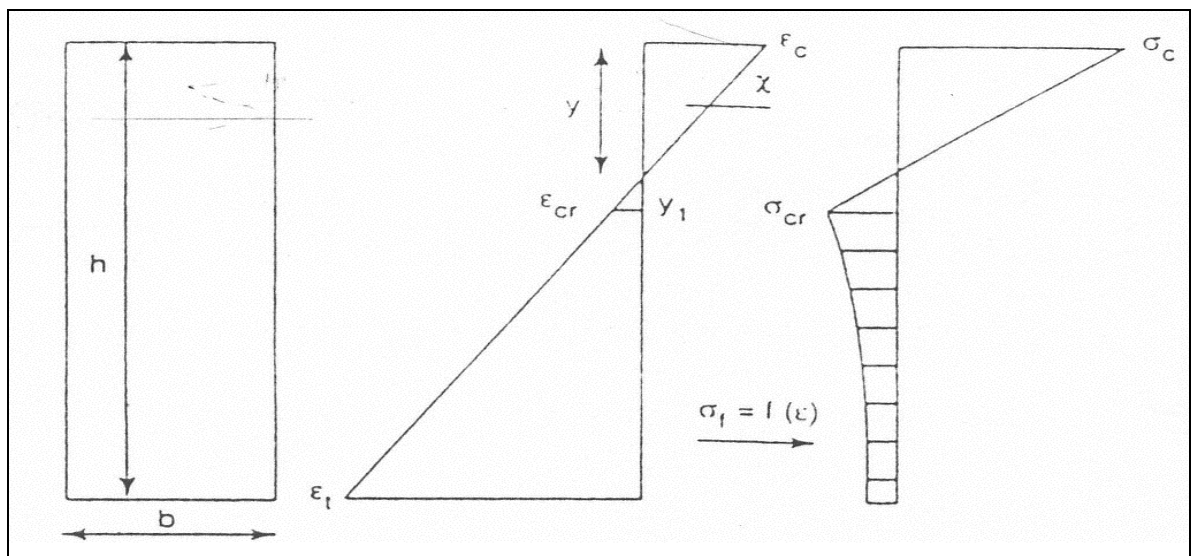
Figure(2.5): Variation de la première fissure en fonction de V_f et l'âge de béton: (a) 7jours, (b) 14 jours, (c) 56 jours, (d) 180jours, (e) 360jours [28].

2.3.2.3 Modèle de CAZANOVA[29].

Le calcul proposé par CAZANOVA [29] pour le dimensionnement d'une poutre en flexion simple correspond à la zone plastique, lorsque les fibres reprennent les efforts à travers une macrofissure.

L'objectif de ce calcul est de déterminer complètement le diagramme "moment -courbure" d'une poutre en flexion simple. L'hypothèse suivante est à considérer:

Les sections planes restent planes même après fissuration, cette hypothèse de linéarité est supposée valable pour la déformation permanente sur la fibre tendue après la fissuration.



Figure(2.6): répartition des déformations et des contraintes dans la poutre [29].

Où:

χ : courbure de la section.

y : hauteur de l'axe neutre.

ε'_{cr} : valeur de la déformation au pic de traction.

σ_t : contrainte post-pic en traction (fonction de l'ouverture de fissure).

σ_{cr} : contrainte au pic.

CAZANOVA [29], à constater que le comportement d'un prisme en flexion simple est considéré comme élastique jusqu'à ce que la contrainte critique en traction σ_{cr} soit atteinte. Alors il a supposé qu'une fissure se produit dans la section centrale du prisme et résoudre les équations d'équilibres.

2.3.2.3.1 Les étapes de calcul à suivre sont les suivants:

2.3.2.3.1.1 Equation d'équilibre:(comportement élastique)

Avant fissuration, la poutre est considérée comme un matériau élastique de module d'Young E.

La résistance des matériaux conduit aux relations suivantes:

$$\sigma = \frac{MY}{I} \Rightarrow \sigma_i = \frac{6M}{bh^2} \quad (2.16)$$

Où M: c'est le moment de flexion dans la section

I: le moment d'inertie

b: largeur

h: hauteur

σ_i : la contrainte de traction au niveau de la fibre inférieure.

La flèche δ_e dépend du type de chargement et donner comme suit:

$$\delta_e = \frac{Fl^3}{48EI} \quad \text{et} \quad F = \frac{4M}{L} \quad \text{en flexion 3 points} \quad (2.17)$$

$$\delta_e = \frac{23Fl^3}{1296EI} \quad \text{et} \quad F = \frac{6M}{L} \quad \text{en flexion 4 points} \quad (2.18)$$

Où F: l'effort total appliqué.

L: la distance entre appuis.

La section est considérée élastique jusqu'à ce que la contrainte en fibre inférieure atteigne une valeur limite σ_{cr} .

2. 3.2.3.1.2 Section fissurée:

Lorsque le critère $\sigma_i = \sigma_{cr}$ est atteint, il a été remarqué que l'hypothèse de fissure unique apparaît dans la section centrale, l'équilibre de la section détermine la position de l'axe neutre.

On suppose la section continue et répartition des déformations linéaire figure(2.8).

$$\sum F = 0 \quad (2.19)$$

$$N_c + N_t + N_f = 0 \quad (2.20)$$

$$N_c = \int_0^y \sigma_c(z) dz \quad \text{Effort normal de compression.} \quad (2.21)$$

$$N_t = \int_0^{y_1} \sigma_t(z) dz \quad \text{Effort normal de traction.} \quad (2.22)$$

$$N_f = \int_{y_1}^{h'} \sigma_f(z) dz \quad \text{Effort repris par les fibres à travers la fissure..} \quad (2.23)$$

$$h': \begin{cases} h-y-y_1 & \text{si } \varepsilon(h-y) < \varepsilon_u \\ \varepsilon_u/\chi & \text{si } \varepsilon(h-y) > \varepsilon_u \end{cases}$$

Y: la hauteur de l'axe neutre.

ε_{cr} : la déformation critique du béton en traction pour la fibre d'ordonnée $-y_1$

La contrainte σ est calculée à partir des déformations $\varepsilon(z) = \chi z$. (2.24)

Où χ : est la courbure.

ε_u : est la déformation ultime du béton de fibres en traction, qui correspond à la l'ouverture limite où il ya rupture des fibres. les fibres ne travaillent alors plus que sur la hauteur $h'-y_1$.

La flèche calculée comme une somme de deux termes :

$$\delta = \delta_e + \delta_c \cdot \delta_e \quad (2.25)$$

La flèche élastique et δ_e est calculée en considérant la fissure comme une charnière, les deux moitiés de la poutre sont supposées rigides et l'angle de rotation θ aux appuis.

Cet angle est égal à la moitié de l'angle fait par la fissure figure (2.7)

$$\delta_e = \frac{\theta L}{2} \quad , \quad \theta = \frac{w}{2(h-y)} \quad (2.26)$$

Où w : est l'ouverture de fissure sur la face inférieure de la poutre.

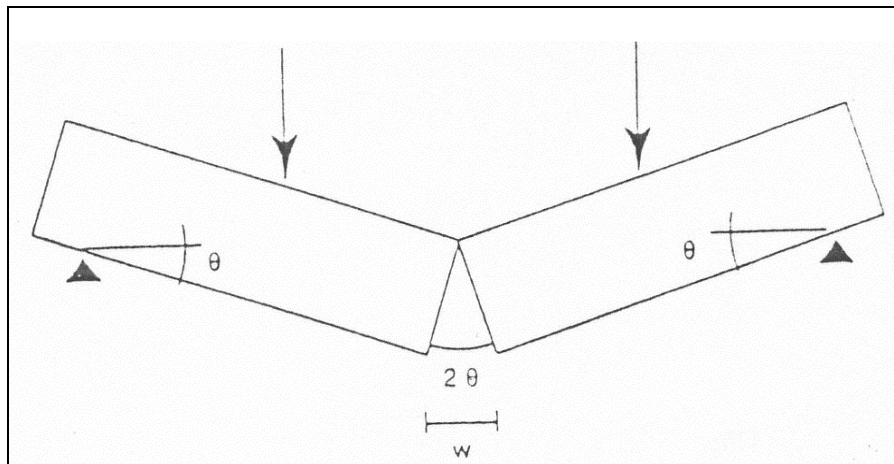


Figure (2.7): comportement en charnière [29]

2.3.2.3.1.3 Algorithme proposé:

CAZANOVA [29], a développé sur micro-ordinateur un programme afin de résoudre ces équations.

Pour une valeur donnée de la courbure, a effectué les étapes de calcul suivantes

1. Ecriture de l'équation d'équilibre de la section fissurée

$$\int_0^y \sigma_c(z) dz + \int_0^{y_1} \sigma_i(z) dz + \int_{h-y-y_1}^{y_1} \sigma_f(z) dz = 0 \quad (2.27)$$

2. Calcul du moment résistant de la section.

$$M = \int_0^h \sigma(z) dz \quad (2.28)$$

3. Calcul de l'effort F, de la flèche δ et de l'ouverture w correspondante.

$$F(\chi) = \frac{4M(\chi)}{L} \quad \text{Flexion 3 points} \quad (2.29)$$

$$F(\chi) = \frac{6M(\chi)}{L} \quad \text{Flexion 4 points} \quad (2.30)$$

$$\delta = \frac{L\theta}{2}, \quad \theta = \frac{w}{2(h-y)} \quad (2.31)$$

L : la distance du point de chargement à l'appui.

θ : la relation au niveau de l'appui.

Ensuite cet algorithme peut être développé pour la détermination des flèches.

2.3.3 Modèles Numérique:

Dans cette partie nous allons exposer les modèles qui se basent sur des méthodes numériques.

2.3.3.1 Modèle de Jacky MAZARS[31]:

Divers essais ont été réalisés sur une structure simple (poutre), Jacky MAZARS[31] a présenté la comparaison des résultats numériques avec ceux obtenus expérimentalement.

La composition du béton utilisé est la suivante:

- Une série d'éléments prismatiques (section $10 \times 10 \text{ cm}^2$, longueur 68cm).
- CPJ 45: 1.0, sable(0 - 4mm):2.1, granulats (4-10mm):2.8, eau: 0.5.
- Type de ferrailage utilisé: armature à haute adhérence diamètre 10 mm.

Les caractéristiques mécaniques sont: $f_{c28}=32\text{MPa}$, $f_{t28}=3\text{MPa}$, $E_0= 3.10^4$, le module d'Young pour l'acier est $E_s= 2.10^5\text{MPa}$.

Les spécimens sont conservés dans l'eau jusqu'à l'essai qui est réalisé 28 jours après le coulage.

Les résultats de cette comparaison est illustrés sur la figure (2.10).

2.3.3.1.1 : Calcul par éléments finis appliqués aux structures en béton composite.

Lorsque les géométries et les chargements deviennent complexes, les calculs analytiques sont très rapidement inopérants. Il faut alors avoir recours à des méthodes numériques dont les domaines d'applications sont plus étendus, c'est le cas de la méthode des éléments finis. Nous présentons ci-dessous quelques résultats obtenus par cette méthode sur des structures en béton armé.

La description de la liaison entre armature et béton a généralement été abordée en utilisant des lois liant la contrainte tangentielle à l'interface et le déplacement relatif des deux matériaux. Dans le cas d'armatures à haute adhérence nous avons vu dans l'étude phénoménologique que celles-ci dégradent le béton sur leur pourtour, créant ainsi un endommagement circonferentiel. Nous avons montré que ce phénomène pouvait être décrit par la mécanique de l'endommagement.

Les deux matériaux sont considérés séparément:

- Le comportement du béton est décrit par le modèle à une variable scalaire avec les hypothèses suivantes: le matériau considéré élastique endommageable et isotrope. Ainsi les déformations totales sont supposées élastiques ($\epsilon_p = 0$).

$$\sigma = A_0 (1-D) : \epsilon \quad (2.32)$$

Où: A_0 : La matrice de rigidité du matériau vierge.

Dans le cas de l'élasticité linéaire, si E_0 et ν_0 sont respectivement le module d'Young et le coefficient de Poisson du matériau vierge, l'équation (2.32) conduit à:

$$E = E_0 (1-D) \quad (2.33)$$

et $\nu = \nu_0$ pour le matériau endommagé.

D est une variable scalaire telle que:

D=0 pour le matériau sain.

D=1 pour le matériau rompu.

- L'acier est supposé élasto-plastique et il est représenté par une tranche particulière d'élément finis.

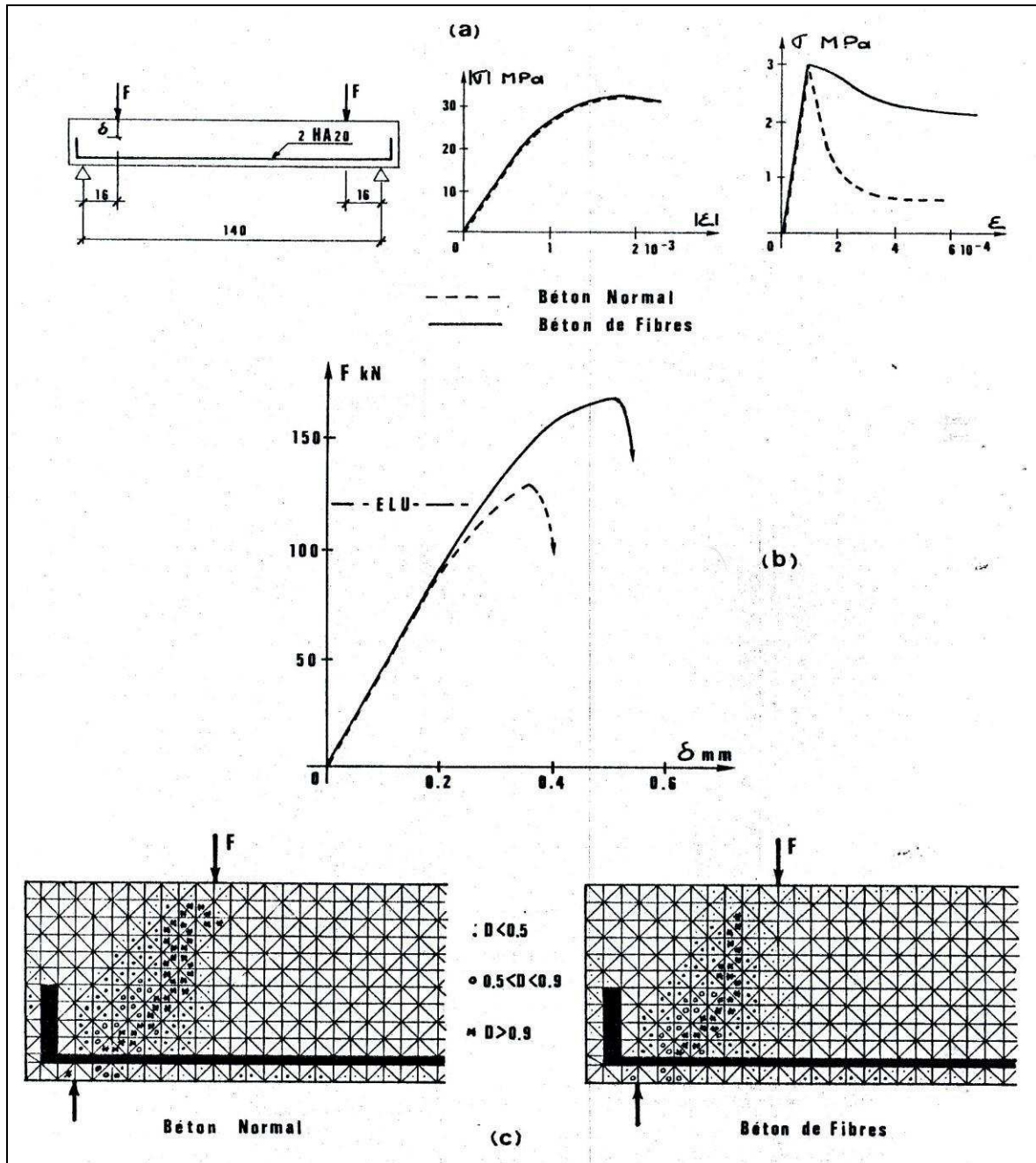


Figure (2.8): simulation de l'influence du béton de fibres sur le comportement à l'effort tranchant[31].

- (a) caractéristiques de la poutre et des matériaux.
- (b) comportement globaux comparatifs
- (c) carte d'endommagements à rupture.

2.3.3.1.2 L'endommagement des bétons composites:

La présence d'élément de renfort dans le béton tels que armatures ou fibres, influent sur l'endommagement du matériau, ce qui a pour conséquence de donner à l'élément composite ainsi formé un comportement qui lui est propre et qu'il diffère de celui du béton et des éléments de renfort.

La figure (2.11) résulte de diverses observations. Ils montrent que:

- comment se localisent les microfissures autour d'une armature, créant une zone de béton endommagée sur sa périphérie,
- les effets de blocage, de branchement des microfissures et d'arrachement des fibres dans un béton à fibres métalliques.

Les résultats obtenus par, MAZARS [31] c'est que :

Les conséquences sur le comportement du matériau sont généralement une amélioration de la déformabilité locale dans le cas d'armatures, et globale dans le cas de fibres. Ces constatations influencent directement sur la modélisation de ces deux types de matériau.

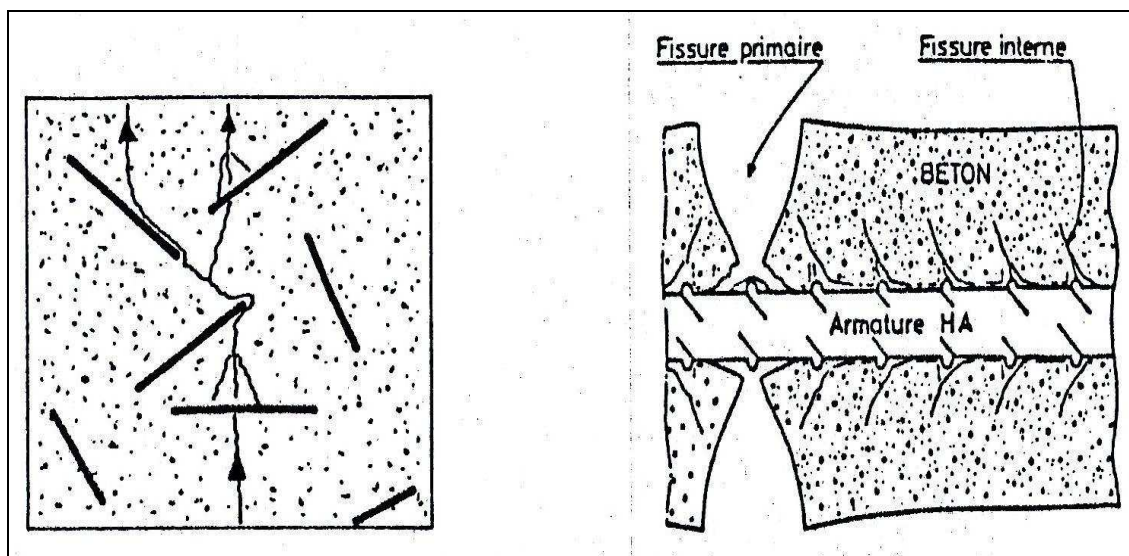


Figure (2.9): Endommagement des bétons composites [31].

2.3.3.2 Modèle d'AL-HASSAN :

AL-HASSAN[30] a développé ce modèle pour une poutre en béton armé renforcé par des fibre métalliques.

2.3.3.2.1 Formulation par éléments finis:

Les poutres assimilées en contrainte plane béton représenté par 8 nœuds d'éléments isoparamétriques. La formulation de ces éléments et la matrice correspondante pourrait être trouver dans la littérature.

Les élément de renforcement et les aciers conventionnel sont assimilé par des éléments barres axiales, comme il est montré par la figure(2.12) suivante:

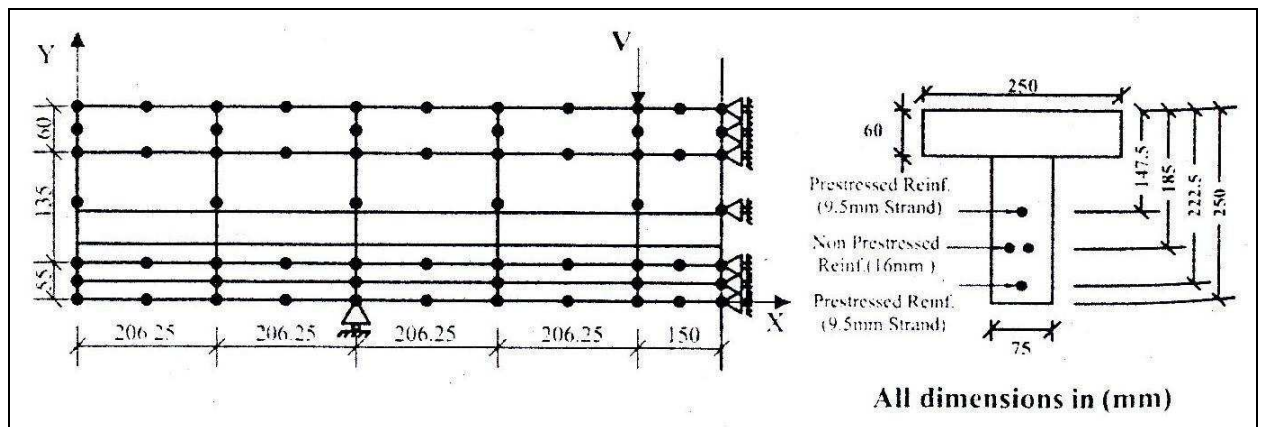


Figure (2.10): Détail de renforcement et la géométrie des poutres [30]

La technique de combinaison incrémentale itérative est utilisée dans cette étude. Pour résoudre les équations d'équilibre, ils ont utilisé la matrice de rigidité tangentielle dans les itérations jusqu'à la convergence. Un déplacement critique à la convergence est utilisé et il est obtenu lorsque:

$$\sqrt{\sum_{k=1}^{N_d} \Delta d_k^i \Delta d_k^i} / \sqrt{\sum_{k=1}^{N_d} d_k^i d_k^i} \leq TOL \quad (2.34)$$

Avec

N_d : le total de degrés de liberté.

Δd_k^i et d_k^i : se sont l'incrément et le total de déplacement respectivement.

TOL: c'est la prescription de tolérance, la tolérance de 3% assumée dans la recherche actuelle.

Dans ce qui suit nous donnons un exemple de modélisation pour la résistance à la compression et à la flexion

2.3.3.2.2 Résistance à la compression relation contrainte - déformation:

Nous exposons une présentation d'un résumé des résultats d' AL-HASSAN[30], la contrainte-déformation est supposé linéaire de 0 jusqu'à 30% suivie d'un diagramme parabole jusqu'à la rupture. voir figure (2.13).

Selon d'AL-HASSAN[30] la déformation ϵ_{pf} au pic contrainte et ϵ_{cuf} sont proposé par Soroushian and Lee.

$$\epsilon_{pf} = \frac{2f'_c}{E_c} + 0.0007 \frac{v_f}{d_f} l_f \quad (2.35)$$

Où f'_{cf} : Contrainte de compression de béton de fibre

f'_c : Contrainte de compression de béton classique.

v_f : Volume de fibre

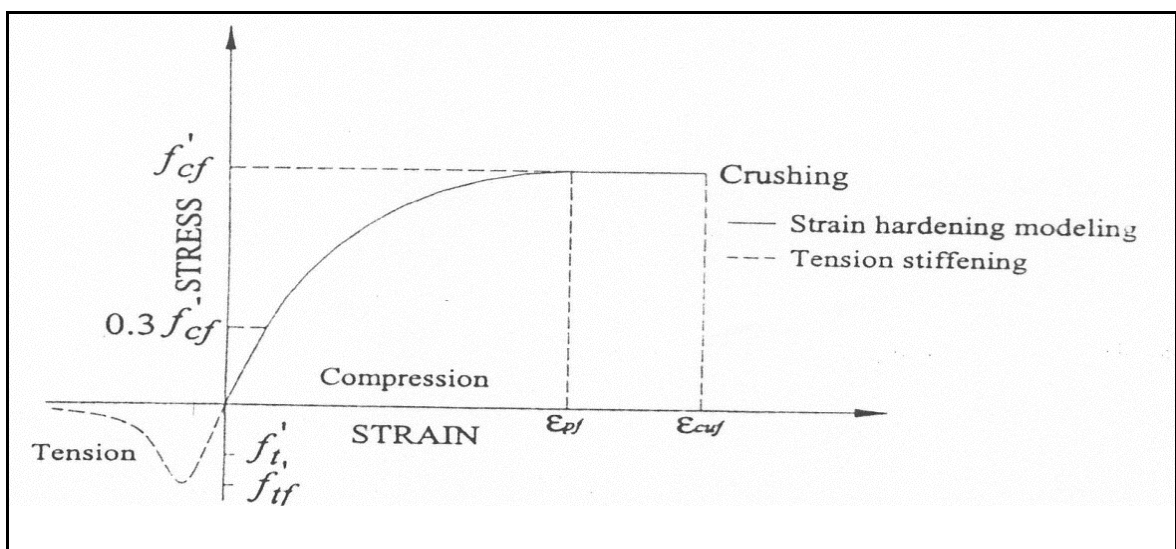
L_f : Longueur de fibre

d_f : Diamètre de fibre.

Ensuite, selon d'AL-HASSAN [30], proposer par Abdul-Razzak:

$$\epsilon_{cuf} = 3011 + 2295v_f \text{ (micro déformation)} \quad (2.36)$$

ϵ_{cuf} : La déformation maximal en compression.



Figure(2.11): relation contrainte-déformation de béton de fibres à la compression et traction [30].

Avec: Strain c'est la déformation, Stress la contrainte, Tension la traction, Compression la compression, et Crushing la rupture.

2.3.3.2.3 Résistance à la traction relation déformation - contrainte:

La continuité de fonction proposée par AL-HASSAN [30], pour béton à la traction est utilisé les fibres d'aciers, dans ce qui suit la forme adoptée dans cette étude est:

$$\frac{f_t'}{f_{tf}'} = \frac{\beta \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{tf}} \right)}{\beta - 1 + \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_{tf}} \right)^\beta} \quad (2.37)$$

Où

ε : Déformation en traction à la contrainte f_t' .

f_{tf}' : Contrainte de traction de fibre.

ε_{tf} : Déformation au pic de la contrainte

f_c' : Contrainte de traction de béton classique.

β : Paramètre de fibre défini par.

$$\beta = 1.093 + 0.7132RI^{-0.926} \text{ Pour recourbé fibre.} \quad (2.38)$$

$$\beta = 1.093 + 7.4848RI^{-1.387} \text{ Pour fibre lisse.} \quad (2.39)$$

$$\beta = 0.5811 + 1.93RI^{-0.7406} \text{ Pour fibre assembler.} \quad (2.40)$$

Avec

$$RI : \text{c'est l'indice de renforcement} = \frac{w_f L_f}{d_f} \quad (2.41)$$

w_f : C'est le poids spécifiques des fibres.

L'absence des données expérimentales de déformation ε'_{tf} au pic contrainte f'_{ft} pour béton de fibre peut être défini et proposé par les relations suivantes:

$$\varepsilon'_{ff} = \varepsilon_t (1 + 0.35 N_f d_f l_f) \quad (2.42)$$

$$f'_{ff} = f'_t \left(1 + 0.016 N_f^{\frac{1}{3}} + 0.05 \pi N_f d_f l_f \right) \quad (2.43)$$

Où:

ε_t : Déformation par fissure du béton classique.

$$\varepsilon_t = \frac{f'_t}{E_c} \quad (2.44)$$

f'_t : Contrainte de traction de béton classique.

E_c : Module élastique de béton classique.

N_f : Nombre des fibres par unité de surface qui est donné comme suit:

$$\text{et égale à } \eta_0 \left(\frac{4V_f}{\pi d_f^2} \right) \quad (2.45)$$

η_0 : Facteur d'orientation pour la distribution tridimensionnelle et on la prend 0.41 où il est égal à 0.5 proposé par Hannant [25]

2.3.3.2.4 Comportement biaxial de fibre pour béton de fibre à la compression:

Pour le béton de fibre en compression au début il aura un comportement élastique jusqu'à $0.3 f'_{cf}$. au delà il aura un comportement plastique lorsque la contrainte effective dépasse $0.3 f'_{cf}$ jusqu'à f'_{cf} le comportement sera parfaitement plastique. La résultante critique est assumée lorsque le comportement plastique est marqué sur la figure (2.13).

$$f(I_1, J_2) = [\beta_f (3J_2) + \alpha_f I_1]^{0.5} = f'_{cf} \quad (2.46)$$

Où I_1 et J_2 sont la première et la seconde déformation invariants α_f et β_f se sont des paramètres donnée selon AL-HASSAN [30], pour classement des fibres métalliques de béton mixe.

$$\alpha_f = \frac{1-w^2}{w^2-2w} f'_{cf}, \quad \beta_f = \frac{1-2w}{w^2-2w} \quad \text{et} \quad w = e^x \quad (2.47)$$

$$x = \frac{1}{3.339 - 0.9772 \ln\left(\frac{v_f L_f}{d_f}\right)} \quad (2.48)$$

Dans le cas de compression, traction la suivante relation parabolique proposé est utilisé.

$$\frac{\sigma_e}{f'_{ef}} + S^2 \left[\frac{\sigma_1}{f'_{ef}} \right]^2 = 1 \quad (2.49)$$

Lorsque $S = \frac{f'_{ef}}{f'_{ff}}$ (2.50)

2.3.4 Modèles Empiriques.

2.3.4.1 Modèle de SWAMY:

Concernant la modélisation du comportement des bétons de fibres en flexion, une synthèse des travaux de plusieurs chercheurs a permis à SWAMY[32] et al, de proposer une relation qui permet d'estimer la résistance en flexion des béton de fibres métalliques.

$$\bar{\sigma}_f = 0.97 \bar{\sigma}_{mf}(1-V_f) + 3.41 V_f(1/d) \quad (2.51)$$

$\bar{\sigma}_{mf}$: Contrainte de flexion de la matrice

V_f : volume des fibres.

1: longueur de fibre.

d: diamètre de fibre.

L'ensemble des valeurs réglementaires SWAMY [32] et al sont illustrées par les courbes de la figure (2.12).

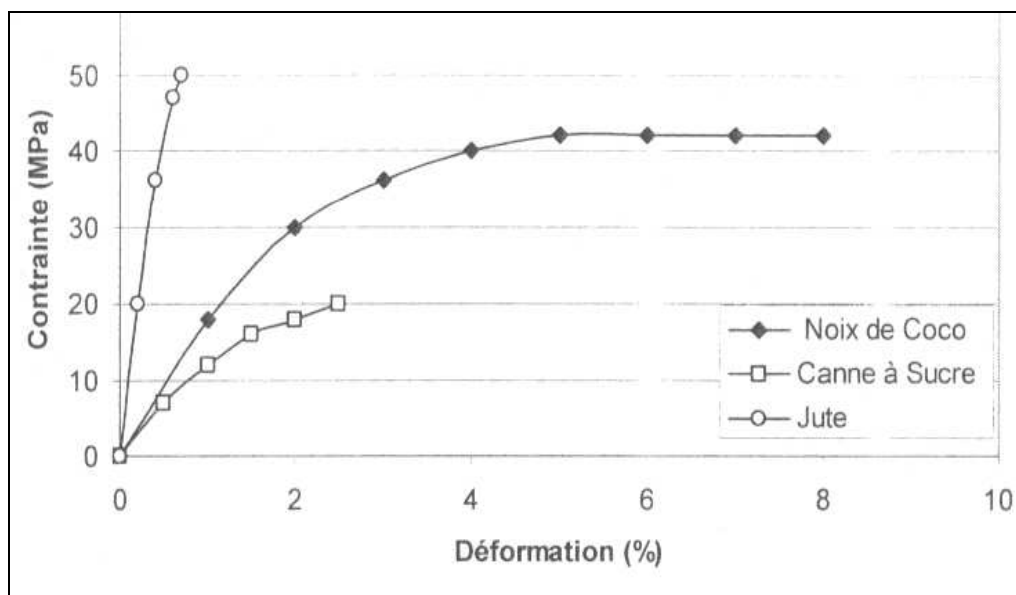


Figure 2.12: Courbes contrainte déformation avant rupture de quelques fibres végétales [32].

2.3.4.2 Modèle ANDONIAN:

ANDONIAN [33], proposent une relation (2.52) qui simule le comportement du béton de fibres de cellulose en flexion.

$$\bar{\sigma}_t = \bar{\sigma}_m(1-V_0)(1-V_f) + 2\eta\tau V_f (1/d) \quad (2.52)$$

Où: $\bar{\sigma}_t$: Résistance ultime en traction pour béton de fibre.

$$\bar{\sigma}_f = (\alpha / \beta) \bar{\sigma}_{mf}(1-V_0)(1-V_f) + 2\eta\tau \alpha V_f (1/d) \quad (2.53)$$

Avec: $\bar{\sigma}_f$: contrainte de flexion pour fibre.

$\bar{\sigma}_{mf}$: Résistance à la flexion de la matrice.

$$\alpha = \bar{\sigma}_f / \bar{\sigma}_t$$

$$\beta = \bar{\sigma}_{mf} / \bar{\sigma}_{mt}$$

V_0 :

V_f : volume des fibres.

l: longueur de fibre.

d: diamètre de fibre.

η : coefficient de rendement des fibres.

Et il propose aussi une relation (2.54) qui permet de calculer le module d'élasticité en traction (E_{mt}) ou en flexion (E_{mf}) des bétons de fibre (BF) de cellulose.

$$E_{mt} = E_{mf} = E_m(1-V_0)(1-V_f) + \eta E_f V_f \quad (2.54)$$

Où: E_m et E_f : Respectivement, modules d'élasticité de la matrice et fibre.

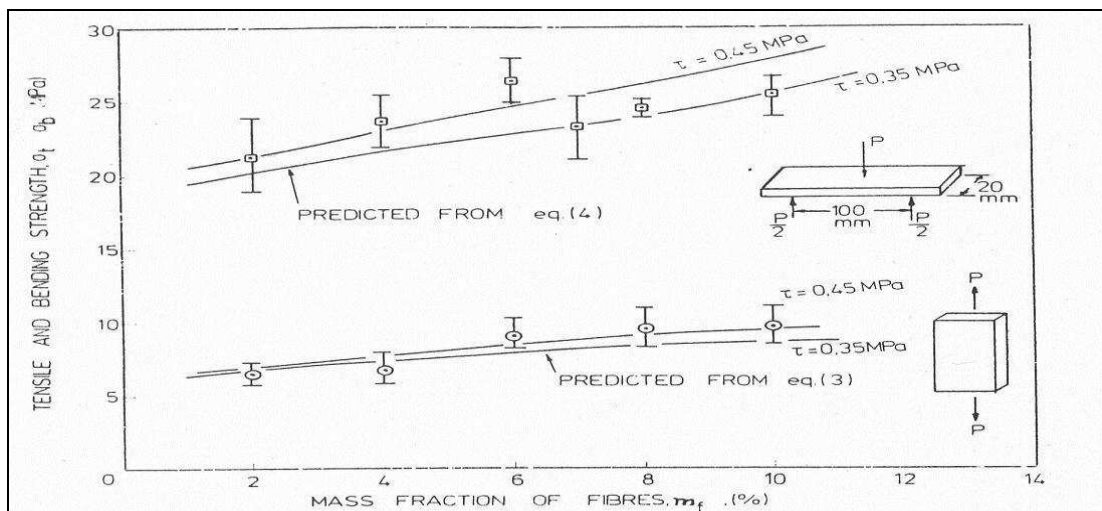


Figure (2. 13): Courbe charge-déplacement or la bande de trois points pour différent pourcentage de masse de fibre [32].

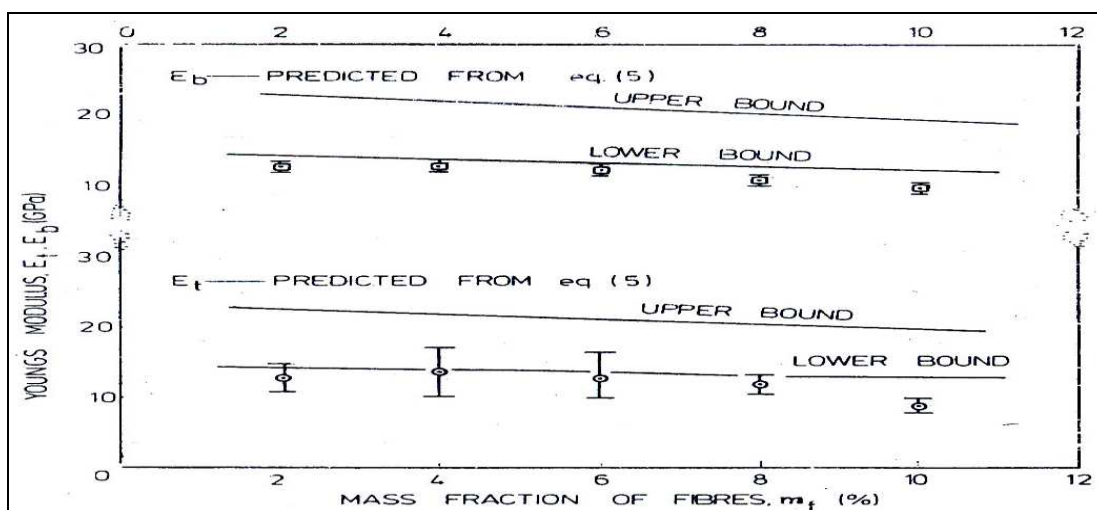


Figure (2.14): Variation de module d' young dans la flexion et traction en fonction du pourcentage de masse de fibre [32].

2.3.4.3 Modèle de Banthia et Sheng [34]:

D'après Banthia et Sheng [34], ont examiné la rupture du matériaux composites à base de fibre de carbone d'acier et de polypropylène.

Les compositions des bétons sont:

la pâte de ciment: (eau: ciment: silica fumée=0.35:1.00:0.20).

mortier de ciment: (eau: ciment: silica fumée sable =0.35:1.00:0.20:0.50), le pourcentage des

fibre varie de 1à3 en volume les éprouvettes sont de dimensions 25mmX25mmX200mm,

l'ensemble des caractéristiques mécaniques et géométriques des fibres sont illustrées dans le tableau ci-dessous:

Tableau (2.2):les caractéristiques mécaniques et géométriques des fibres utilisées.

Type de fibre	Diamètre ou section en μm	Longueur mm	Module élastique E en (GPa)	Force de traction en MPa
Fibre de carbone	18	6	30	590
Fibre d'acier	25×12	3	200	600

Fibre de polypropylène	4		1-41	32
------------------------	---	--	------	----

Le dispositif expérimental est donné par la figure (2.15).

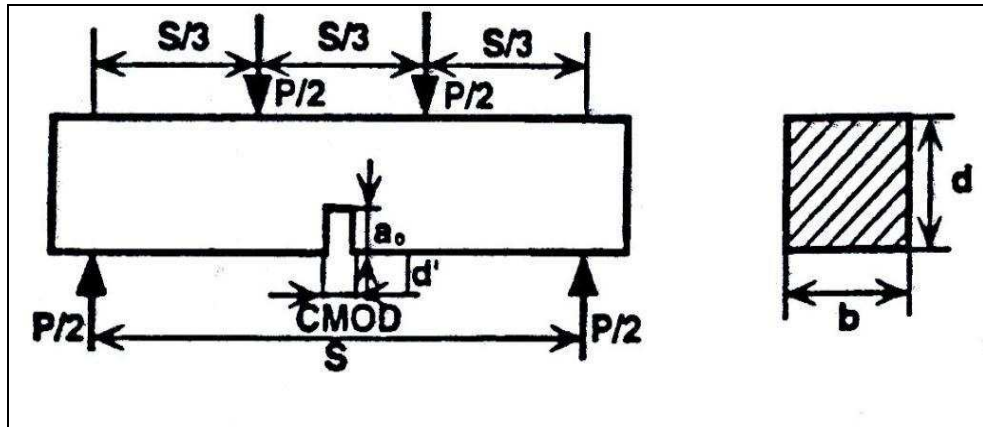


Figure 2.15: dispositif de flexion pour les éprouvettes utilisées [34].

Avec:

P: charge appliquée.

S: longueur entre appui.

b: hauteur de la poutre.

d: épaisseur de la poutre.

Δ : flèche au milieu de la longueur entre appui.

CMOD: l'ouverture de fissure au niveau de la rainure.

CTOD: fissure.

σ : contrainte de flexion

a: longueur de la fissure longitudinale

a_0 : longueur de la première fissuration longitudinale

a_{eff} : la fissuration longitudinale effective. ($> a_0$)

C: conformité = $CMOD/P$

M: moment de flexion.

La figure suivante (2.16) représente l'ouverture de fissure en fonction de la charge.

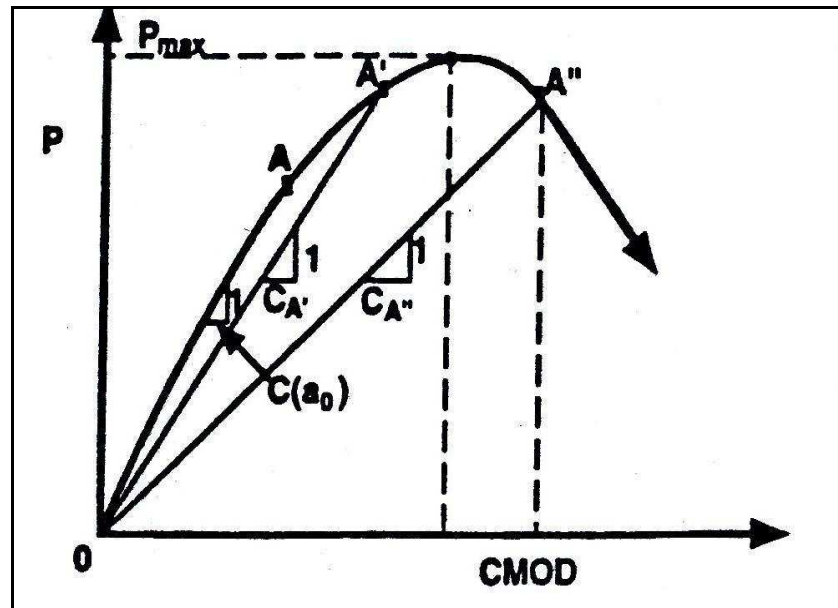


Figure 2.16: développement de fissure d'ouverture [34].

Avec:

de 0 à A: comportement élastique, les fibres n'intervient pas et seule les caractéristiques de la matrice régissent le comportement.

de A à A': localisation des microfissures qui conduit à la création de macrofissures.

de A' à A'': comportement plastique, la macrofissures s'ouvre de manière importante ce qui correspond à une dégradation du renforcement et se traduit par une rupture, elle est liée à une perte d'adhérence .

$c(a_0)$: Conformité initial.

$c(a_{eff})$: Conformité au fissure longitudinale $a_{eff} (> a_0)$.

d' : Profondeur de la poutre où le CMOD est mesuré.

l'ensemble des équations de calcul sont données par [34] comme suit:

$$\alpha(a) = \left(\frac{a+d'}{d+d'} \right), \quad (2.55)$$

$$\alpha(a_0) = \left(\frac{a_0+d'}{d+d'} \right), \quad (2.56)$$

$$\alpha(a_{eff}) = \left(\frac{a_{eff}+d'}{d+d'} \right). \quad (2.57)$$

Le CMOD est donné par:

$$CMOD = \frac{6\sigma a}{E} V_1(\alpha(a)) \quad (2.58)$$

Où:

$$V_1[\alpha(a)] = 0.8 - 1.7\alpha(a) + 2.4\alpha^2(a) + 0.66/(1 - \alpha^2(a)). \quad (2.59)$$

pour la flexion trois points.

$$\sigma = \frac{PS}{bd^2} \quad (2.60)$$

de (2.53) et (2.54) alors

$$E = 4 \left(\frac{P}{CMOD} \right) \left(\frac{aS}{bd^2} \right) (v_1(\alpha(a))). \quad (2.61)$$

$$E = \frac{4}{c(a_0)} \frac{a_0 S}{bd^2} V_1[\alpha(a_0)] \Big|_{\text{au point A}} = \frac{4}{c(a_{eff})} \frac{a_{eff} S}{bd^2} V_1[\alpha(a_{eff})] \Big|_{\text{aux points } \dot{A} \text{ et } A''} \quad (2.62)$$

de (2.56)

$$a_{eff} \Big|_{\text{aux points } \dot{A} \text{ et } A''} = \frac{c(a_{eff})}{c(a_0)} \times a_0 \left[\frac{V_1 \alpha(a_0)}{V_1 \alpha(a_{eff})} \right] \quad (2.63)$$

$K_1(a)$: facteur d'intensité de déformation.

$$K_1 = \sigma \sqrt{\pi a} F_1 \left(\frac{a}{d} \right) \quad (2.58)$$

Où

$$F_1(a/d) = 1.122 - 1.4(a/d) + 7.33(a/d)^2 - 13.08(a/d)^3 + 14.0(a/d)^4 \quad (2.64)$$

σ est donné par l'équation (2.54).

l'ouverture de fissure, CTOD

$$CTOD = CMOD Z[\alpha(a), \beta(a)] \quad (2.65)$$

Où

$$\alpha(a) = a/d, \quad \beta(a) = a_0/a \quad (2.66)$$

et

$$Z[\alpha(a), \beta(a)] = \sqrt{[(1 - \beta(a))^2 + (1.081 - 1.49\alpha(a))(\beta(a) - \beta^2(a))]}$$

Les résultats expérimentaux sont illustrés sous forme des diagrammes charge-déplacement dans les figures pour tout type de fibres, pâte et mortier.

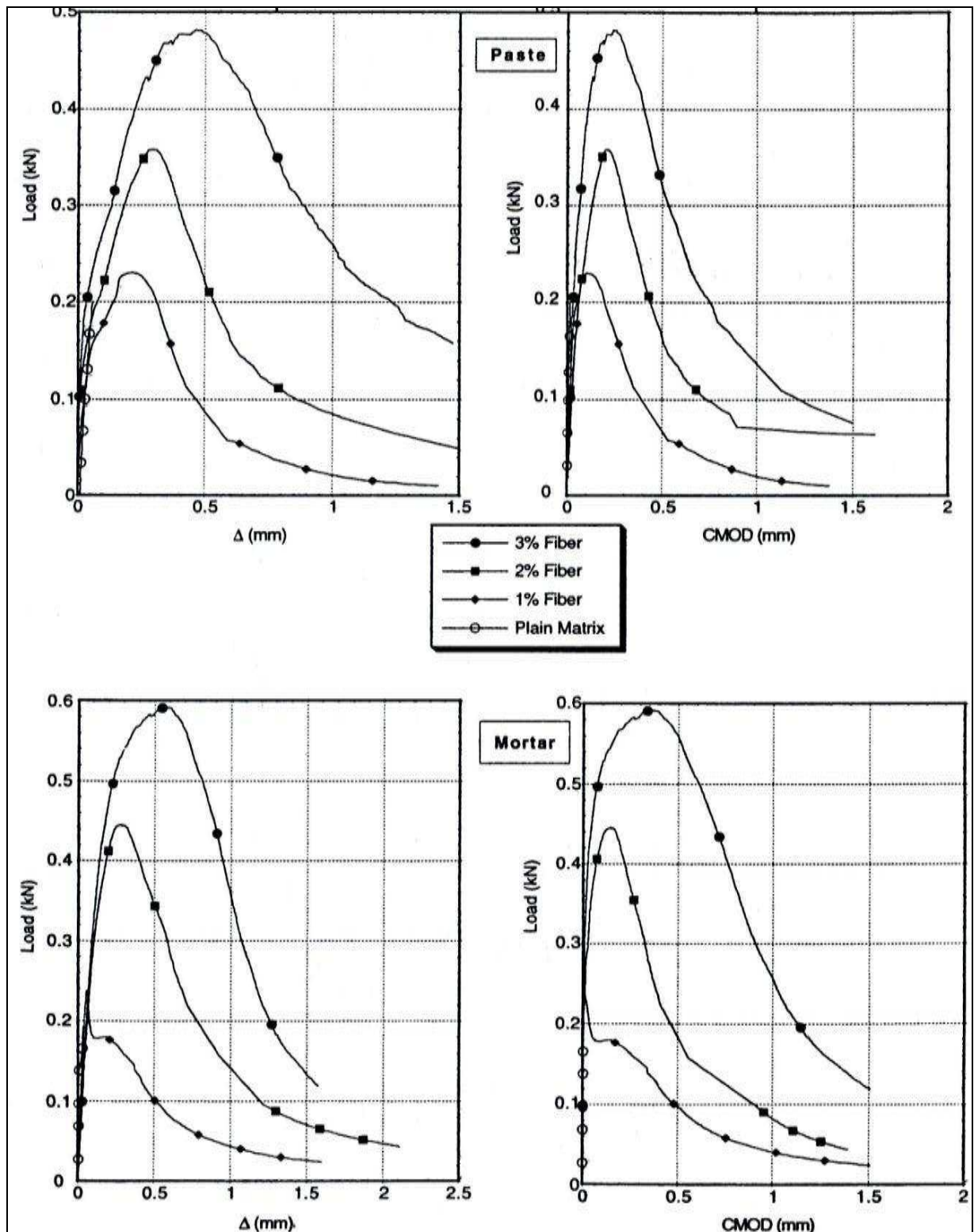


Figure (2.17) : Estimation de CMOD pour les fibres de carbone.

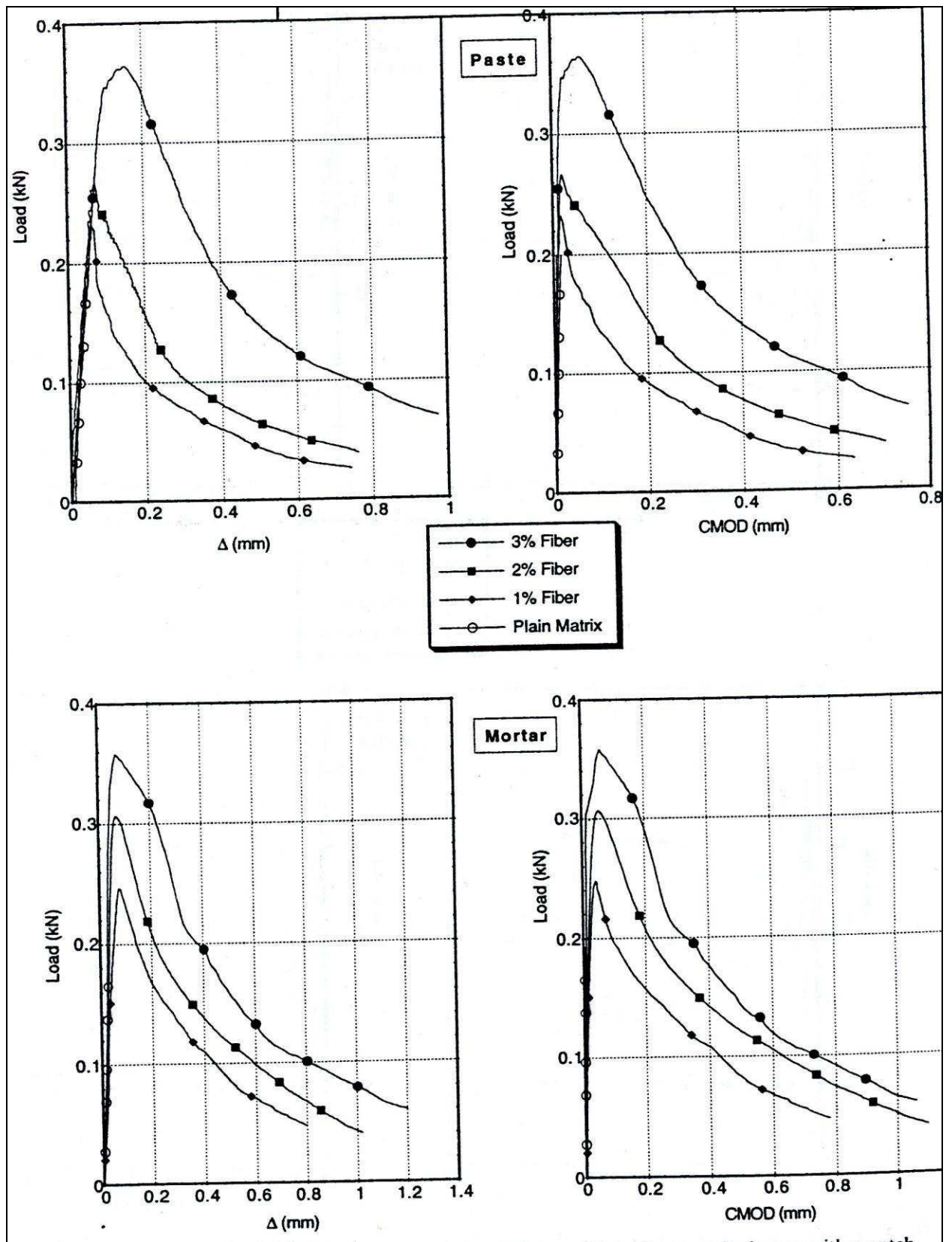


Figure 2.18 : Estimation de CMOD pour les fibres d'acier.

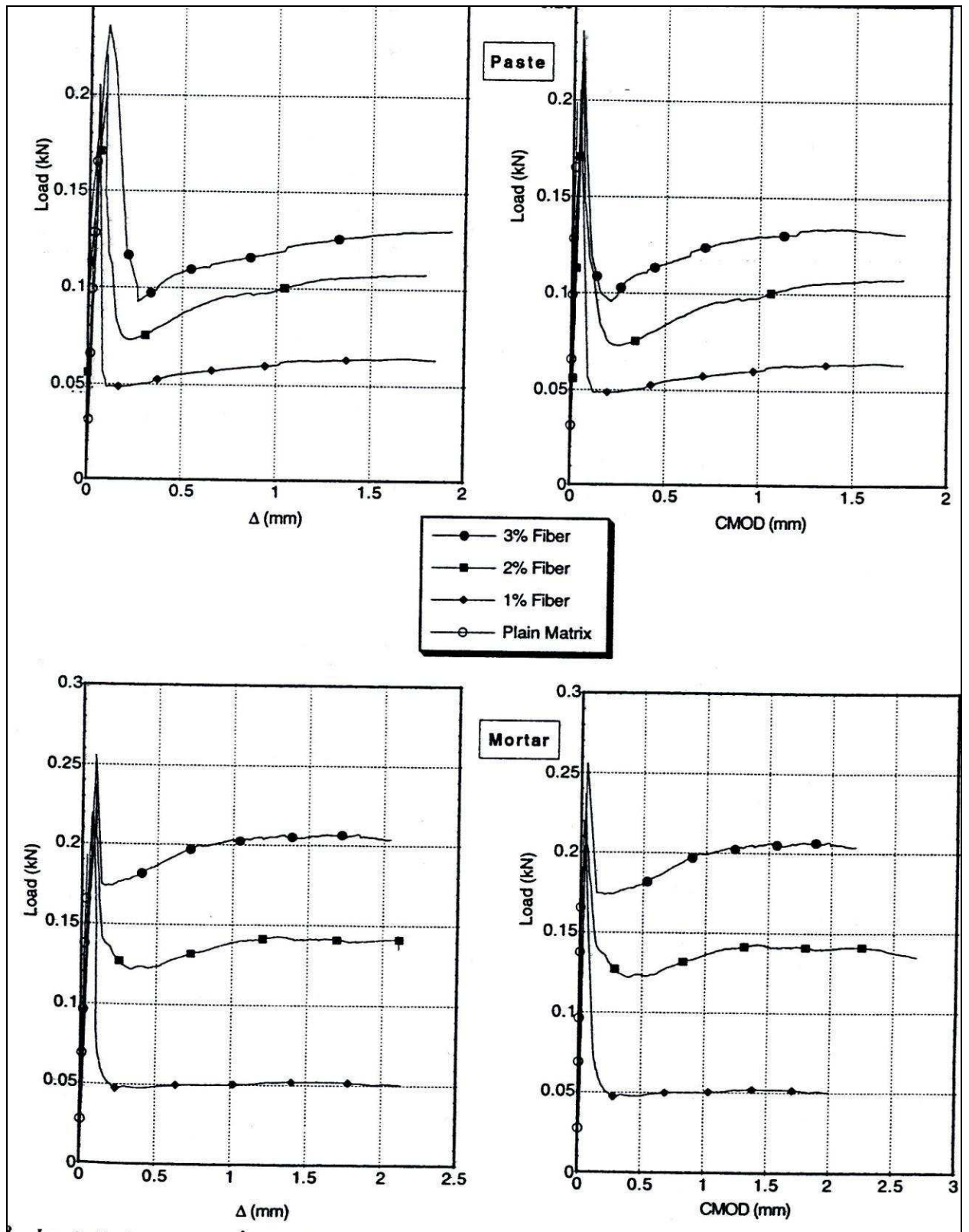


Figure 2.19 : Estimation de CMOD pour les fibres de polypropylène.

Conclusion:

- Le modèle de Jacky MAZARS [31]: a étudié l'endommagement des structures simple (poutre) il a présenté une comparaison des résultats numériques avec ceux obtenus expérimentalement
- Le modèle de Pierre ROSSI [27]: la modélisation est déterminée par une relation macroscopique traduisant le comportement d'une section fissurée sont théorie est basé sur des hypothèses cinématique et il a utilisée les fibres d'aciers.
- Le modèle de CAZANOVA [29]: a proposé un calcul pour le dimensionnement d'une poutre en flexion simple, suivi d'un organigramme pour fibre métallique.
- Le modèle de AL-HASSAN [30] : il a proposé une fonction pour le béton en traction et en compression est utilise le béton de fibre d'acier avec une relation contrainte-déformation et traction.
- Le modèle de Tayfun Uygunog̃lu [28] : il a proposé des équations de la résistance à la flexion pour le comportement vis-à vis le développement de la première fissure.
- Le modèle de SWAMY[32]: il a proposé une relation qui permet d'estimer la résistance en flexion des béton de fibres métalliques , pour des raisons pratiques notre choix portera sur se modèle. En effet par faire intervenir les caractéristiques mécaniques et géométriques des fibres
- Le modèle de ANDONIAN[33]: il a il a proposé une relation qui permet d'estimer la résistance en flexion des béton de fibres de cellulose.
- Le modèle de N.Banthia^a et J.Sheng^b [46]: ont donné un modèle de calcul pour la propagation d' ouverture de fissure(CMOD, CTOD) d'une poutre et ils ont fait une comparaison entre les valeurs modélisées et les valeurs expérimentaux.

Comme nous constatons qu'il ya à la fin peu de modèle propre au fibres végétales vis-à vis la modélisation sur flexion par contre il ya suffisamment de modèle pour tout les autres fibres.

Dans ce qui suit nous allons essayé d'adopter ces modèles par les fibres de palmier dattier.

CHAPITRE III

Etude et modélisation des déformations des bétons renforcés par des fibres de palmier dattier.

3.1 Introduction

L'ingénieur a souvent à prendre des décisions au sujet des phénomènes dont leur comportement est connu à partir des données (mesures) expérimentales.

Dans certains cas, en physique par exemple, la connaissance fondamentale des phénomènes en question nous permet de proposer un modèle mathématique précis que l'on nomme modèle de connaissance.

Mais souvent, on ignore les mécanismes précis du phénomène, sont ignorés ou encore les mesures effectuées sur le phénomène peuvent être influencées par les variations aléatoires des variables incontrôlables. On peut alors proposer un modèle statistique dont on cherchera à estimer les paramètres à partir de l'échantillon des mesures. C'est à dire de faire une approximation des données numériques par des fonctions analytiques

C'est le problème que nous introduisons dans ce chapitre. De ce fait, nous allons résumer au début, les résultats expérimentaux de KRIKER[5] sur la flexion de bétons et mortiers renforcés par les fibres de palmier dattier, ensuite nous essayons de faire une proposition d'un modèle qui prédit le comportement de ces bétons de fibre végétale vis-à-vis la flexion.

Dans une seconde partie nous allons réaliser quelques essais expérimentaux sur l'ouverture des fissures du béton de fibre de palmier dattier, qui a présenté la meilleure résistance à la flexion (CE14 2%-60) et ensuite nous procédons à sa modélisation.

3.2 Exposition des travaux de KRIKER[5] sur les propriétés de flexion du béton renforcé par des fibres du palmier dattier:

Il est important de donner quelques détails expérimentaux et d'exposer les résultats d'essais effectués par KRIKER[5] sur la résistance à la flexion des bétons de fibre de palmier dattier.

Les propriétés de flexion du béton classique (BC2) et des bétons de fibres de palmier (BF2) voir leurs compositions sur le tableau (3.1) et (3.2), sont déterminées par un essai de flexion quatre points à l'aide d'un dispositif expérimental conforme à la norme NFP 18-409 [35]. La presse universelle utilisée est de type INSTRON (voir Photo 1 annexe). La vitesse de chargement est de 0.1 mm / min. La presse est équipée d'un capteur de forces de 50 kN. Le système est muni d'un dispositif pour mesurer la flèche au milieu de l'éprouvette qui est formé de deux capteurs de déplacement (LVTD). Afin de mesurer la flèche nette, ce dernier dispositif s'appuie directement sur l'éprouvette elle-même. Un système d'enregistrement des valeurs de la

charge et de déplacement est continuellement assuré à l'aide d'une chaîne d'acquisition numérique, permettant de donner entre autre la courbe charge-flèche pour chaque éprouvette. Voir Annexe photo2 montre le dispositif expérimental de flexion avant chargement. Six éprouvettes de dimension 70x70x280mm, pour chaque durée et pour chaque type de béton sont utilisées.

Les propriétés de flexion sont évaluées par les trois paramètres suivants :

- La contrainte à la première fissuration (σ_0) :

$$\sigma_0 = 6M_0 / bd^2 \quad (3.1)$$

Avec : M_0 moment de flexion à la première fissuration, b et d sont respectivement la largeur et la hauteur de la section de l'éprouvette.

- La charge maximale après la première fissuration P_{max}
- Les coefficients de ductilité D_n : Selon la norme NFP 18-409 [35],

$$D_n = P_n / P_0 \quad (3.2)$$

Avec :

- P_n : Les charges correspondantes aux déflexions (flèches) 0.7, 1.4 et 2.8 mm
- P_0 : La charge à la première fissuration

Remarque: les bétons utilisés sont confectionnés à l'INSA de Lyon. Pour simuler les conditions climatiques moyennes de la cure chaude sèche (CA) nous avons conservé les éprouvettes dans une étuve (CU) dans les conditions climatiques voir ci-dessus.

- CE: Conservation continue dans l'eau à une température de $20 \pm 2^\circ\text{C}$.
- CE14: Conservation durant les 14 premiers jours dans une chambre humide et saturé sous des conditions climatiques de $T=20 \pm 2^\circ\text{C}$ et $HR=100\%$
- CU: Conservation dans l'étuve sous les conditions $T=32 \pm 2^\circ\text{C}$ et $HR=28\% \pm 2$

Les résultats sont donnés par les figures (3.1) et le tableau (3.3). Ces derniers donnent le comportement à la flexion représenté par les courbes flèche-charge des bétons de fibre conservés respectivement dans l'eau (CE) et dans l'étuve (CU), durant 28 jours. Au début de l'essai, nous remarquons que l'augmentation de la charge en fonction de la déflexion suit un comportement élastique et linéaire jusqu'à la première fissuration. A cet instant, les flèches pour tous les bétons de fibres, sont de l'ordre de 0.05 mm. L'intensité de la charge à la première fissuration (P_0) dépend du pourcentage et de la longueur des fibres. Nous constatons que P_0 diminue avec l'augmentation du dosage et des longueurs des fibres. Après la première fissuration de la matrice, nous constatons que les efforts repris par les fibres de palmier sont très faibles et

la chute des charges est très remarquable. Pratiquement la reprise progressive des efforts par les fibres commence après une ouverture de la fissure qui correspond à une déflexion de l'ordre de 0.5 mm. Nous remarquons aussi qu'entre les déflexions 0.7 mm et 3 mm la charge reste quasi-constante. L'interprétation de la variation des charges en fonction des flèches est la même que celle des coefficients de ductilité D_n , qui seront exposés dans ce qui suit.

Les valeurs moyennes des σ_0 , P_{max} , et D_n et leurs coefficients de variation (CV) sont mis sur le tableau(3.3). A chaque échéance (28, 90, 180 jours) nous remarquons que les contraintes à la première fissuration (σ_0) des bétons de fibres conservés dans les différentes cures diminuent avec l'augmentation de la teneur et des longueurs des fibres dans la matrice. En effet, elles varient de la même façon que P_0 . De plus, σ_0 des bétons de fibres restent inférieure à celle du béton classique (BC2). Cette diminution en fonction de l'augmentation du dosage et de la longueur des fibres est probablement due aux causes suivantes :

- ✚ 1- l'augmentation de la quantité totale d'eau en fonction de l'augmentation du dosage en fibres dans la composition des bétons BF2 ce qui a probablement diminué la résistance à la première fissuration. A cette cause principale s'ajoute .
- ✚ 2- une deuxième cause, qui est la qualité de résistance du ciment utilisé (CPA-CEM I 5 2,5) ce qui donne un σ_0 élevé spécialement pour le béton classique BC2, et en conséquence l'élévation de son énergie de rupture à la première fissuration.

Par ailleurs, pour chaque type de béton nous constatons que les contraintes à la première fissuration (σ_0) des bétons conservés dans l'eau sont plus grandes que celles des bétons conservés dans l'étuve. En outre, dans l'eau σ_0 continue à évoluer en fonction de l'âge alors que dans l'étuve ces contraintes diminuent. L'évolution avec l'âge des contraintes σ_0 dans l'eau est due à la continuité du processus d'hydratation. Alors que les

principales causes de la réduction de ces mêmes contraintes dans l'étuve sont :

- la réduction du processus d'hydratation causé par l'évaporation rapide de d'eau de gâchage, comme nous l'avons montré précédemment.
- l'expansion des microfissures et l'augmentation du volume des vides à l'intérieur du béton notamment à l'interface fibre-matrice.

Ce qui diminue l'adhérence et la résistance à la flexion.

Tableau (3.1) : Composition du béton classique (BC2) pour un mètre cube.

Type de béton	Ciment (Kg)	Sable (Kg)	Gravier (Kg)	Eau (Kg)	Adjuvant (Kg)	Affaissement
BC2	400	750	1000	200	--	70±10

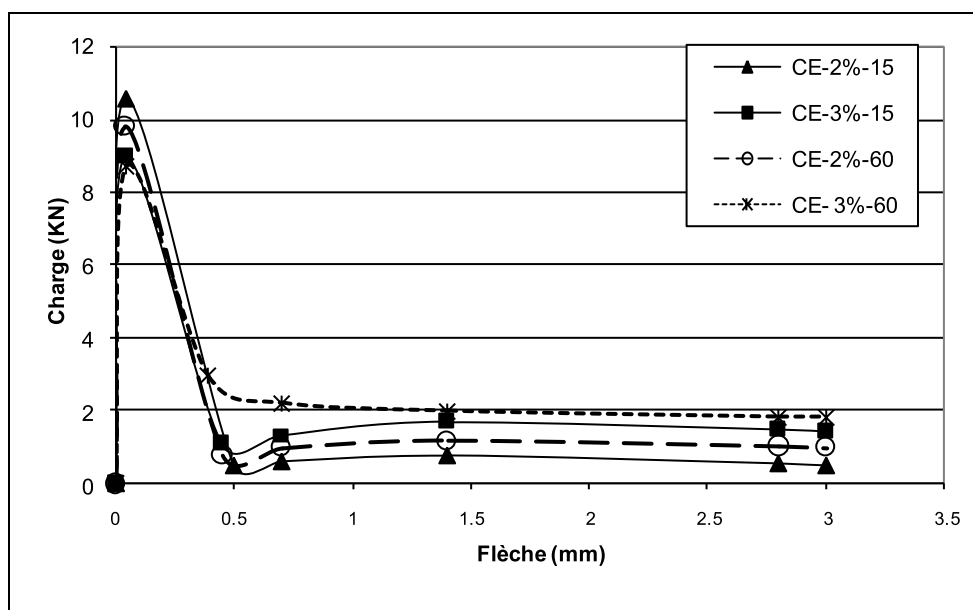
Tableau (3.2): Composition du béton de fibre (BF2) pour un mètre cube.

Type de béton	% de fibre en volume	Longueur de fibre en (mm)	Cim. en (Kg)	Sabl. (Kg)	Gravier (Kg)	Fibre (Kg)	Eau Totale (Kg)	Eau moy. Absorbée par les fibres (Kg)	Eau Réelle (Kg)
BF2 VeBe=20 ±5s Haff= 70±10	2	15	400	750	982	18	252	24	228
		60							236
	3	15	400	750	973	27	280	36	244
		60							252

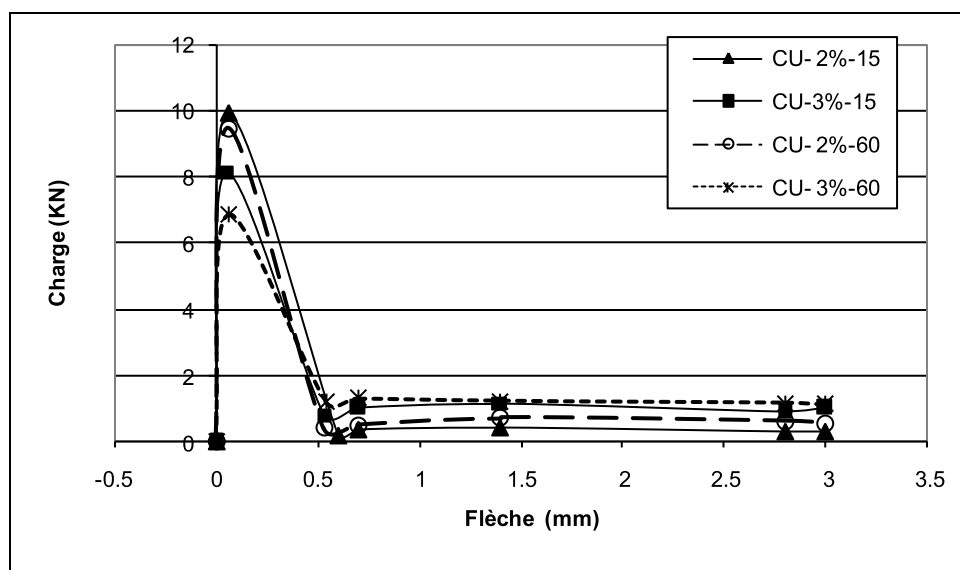
Eau réelle=Eau totale-Eau moy. Absorbée par les fibres.

VeBe: La variation de l'ouvrabilité.

Haff: Affaissement.

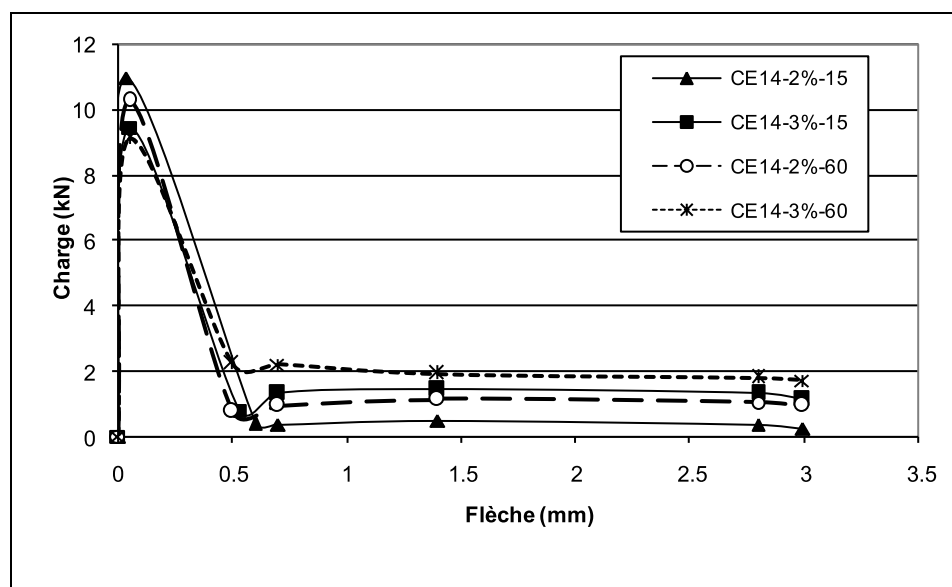


(a) : (CE)

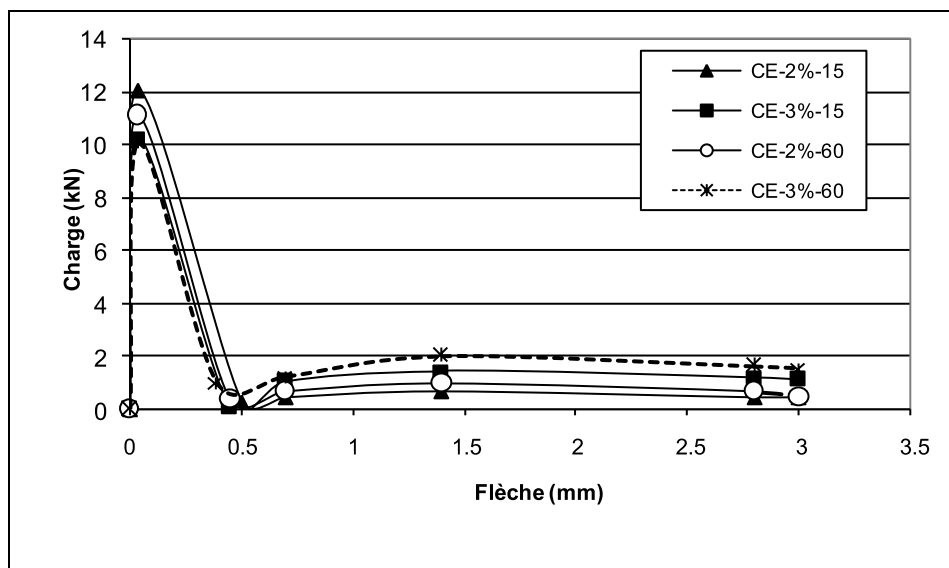


(b) : (CU)

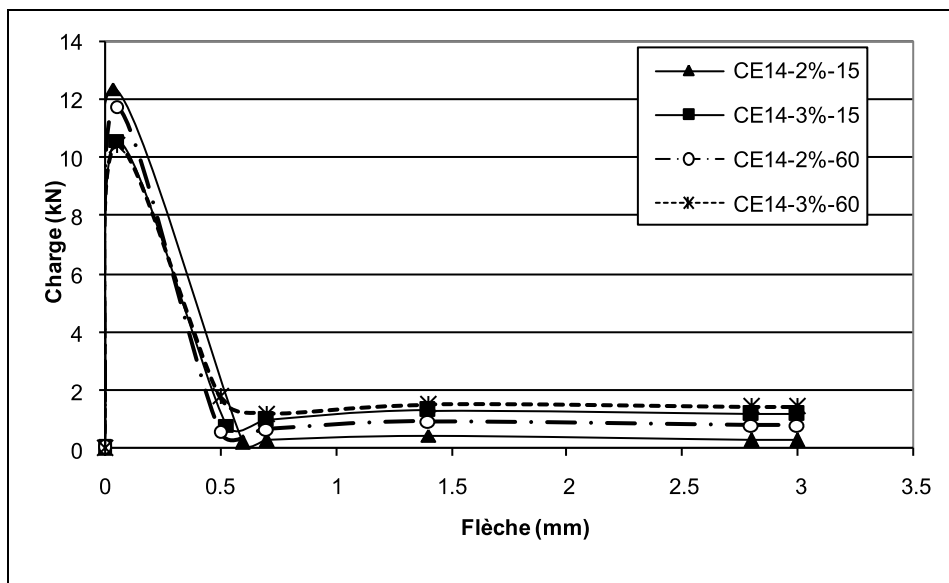
Figure(3.1) : Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans : (a) : CE, (b) :CU [5].



Figure(3.2): Diagramme Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans CE14-CU.



(a) : (CE)



(b) : (CE14-CU)

Figure (3.3): Diagramme Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 180 jours dans: (a) CE, (b) CE14-CU.

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

Tableau(3.3): Les caractéristiques mécaniques en flexion (σ_0 , P_{max} , D_n et leurs CV) du béton classique (BC2) et des bétons de fibre de palmier (BF2)conservé dans CE et CU[5].

Paramètres	Cure	Temps (j)	Type de Béton				
			0%-0	2%-15	3%-15	2%-60	3%-60
σ_0 (CV) (MPa)(%)	CE	28	7.60 (7.11)	6.47 (11.59)	5.50 (14.54)	6.02 (10.82)	5.34 (12.47)
		90	8.06 (4.96)	7.00 (11.00)	6.00 (14.66)	6.50 (10.66)	5.95 (11.76)
		180	8.35 (5.98)	7.40 (8.78)	6.30 (11.11)	6.82 (8.95)	6.21 (12.86)
	CU	28	7.07 (7.77)	6.09 (4.59)	5.00 (6.00)	5.81 (3.61)	4.20 (7.14)
		90	6.80 (7.35)	5.19 (7.70)	3.89 (11.56)	5.00 (8.00)	3.45 (11.59)
		180	5.82 (7.87)	3.82 (7.85)	2.86 (15.00)	3.00 (16.66)	1.94 (14.48)
P_{max} (CV) (MPa)(%)	CE	28		0.80 (19.32)	1.69 (11.77)	1.18 (11.06)	2.96 (2.57)
		90		0.73 (14.25)	1.50 (23.96)	1.00 (15.32)	2.51 (17.73)
		180		0.70 (26.67)	1.40 (11.14)	0.99 (29.69)	2.02 (19.04)
	CU	28		0.40 (9.98)	1.14 (19.32)	0.70 (24.98)	1.29 (7.15)
		90		0.30 (12.56)	0.30 (15.87)	0.30 (23.34)	0.30 (8.85)
		180		0.30 (13.63)	0.30 (16.32)	0.30 (18.82)	0.30 (10 .37)
$D_{0.7}$ (CV) (%)	CE	28		0.06 (19.64)	0.15 (57.58)	0.09 (11.68)	0.26 (66.60)
		180		0.04 (26.30)	0.10 (8.84)	0.06 (15.65)	0.12 (9.27)
	CU	28		0.04 (24.17)	0.12 (25.00)	0.05 (26.95)	0.19 (14.78)
		180		0.03 (13.72)	0.02 (27.28)	0.03 (19.43)	0.02 (17.84)
$D_{1.4}$ (CV) (%)	CE	28		0.08 (2.85)	0.19 (38.03)	0.11 (13.84)	0.23 (24.20)
		180		0.06 (15.76)	0.14 (10.32)	0.06 (24.30)	0.20 (18.45)
	CU	28		0.04 (9.24)	0.14 (14.28)	0.07 (28.98)	0.17 (28.36)
		180		0.04 (12.32)	0.03 (15.13)	0.03 (10.16)	0.03 (13.85)
$D_{2.8}$ (CV) (%)	CE	28		0.05 (18.64)	0.17 (20.00)	0.09 (17.69)	0.21 (10.23)
		180		0.04 (37.16)	0.12 (25.35)	0.06 (14.16)	0.16 25.34)
	CU	28		0.03 (39.14)	0.11 (20.20)	0.06 (24.69)	0.17 (11.11)
		180		0.02 (15.73)	0.02 (14.27)	0.02 (37.28)	0.02 (32 .54)

Tableau(3.4): Propriétés de flexion (σ_0 , P_{max} et D_n) du béton classique (BC2) et des bétons de fibres de palmier (BF2) conservés dans la cure CE14-CU.

Paramètres	Cure	Temps (j)	Type de Béton				
			0%-0	2%-15	3%-15	2%-60	3%-60
σ_0 (CV) (MPa)(%)	CE14-CU	28	7.90 (7.28)	6.74 (4.68)	5.80 (5.60)	6.30 (4.92)	5.60 (6.81)
		180	8.70 (3.08)	7.60 (4.15)	6.50 (3.54)	7.22 (6.12)	6.40 (2.66)
P_{max} (CV) (MPa) (%)	CE14-CU	28	--	0.59 (25.22)	1.50 (25.62)	1.15 (17.84)	2.23 (20.15)
		180	--	0.49 (23.19)	1.20 (12.35)	0.96 (17.03)	1.50 (13.37)
$D_{0.7}$ (CV) (%)	CE14-CU	28	--	0.03 (15.30)	0.13 (09.02)	0.09 (3.91)	0.22(16.51)
		180	--	0.02 (16.36)	0.08 (11.96)	0.05 (34.82)	0.11(28.44)
$D_{1.4}$ (CV) (%)	CE14-CU	28	--	0.04 (41.21)	0.15 (38.03)	0.11 (21.01)	0.19 (10.22)
		180	--	0.03 (13.64)	0.11 (27.64)	0.06 (39.74)	0.15 (22.04)
$D_{2.8}$ (CV) (%)	CE14-CU	28	--	0.03 (38.95)	0.13 (18.35)	0.09 (16.73)	0.18 (26.51)

3.3 Approximation des données expérimentales par des fonctions

analytiques:

Le comportement de matériau composite est assez compliqué et difficile à cerner parce qu'il dépend de plusieurs facteurs dépendant eux mêmes de plusieurs variables c'est pour sa ce n'est pas facile de proposer un modèle mathématique précis.

En premier lieu et d'après la littérature nous allons adopter le modèle de SWAMY[32]. Et ensuite, nous allons présenter quelques fonctions mathématiques, qui nous donne des allures assez proche de nos diagrammes de flexion. A la fin et à l'aide du logiciel MATLAB nous allons essayer de proposer une équation mathématique de ces fonctions.

3.3.1 Adaptation du modèle de Swamy[32]:

les quelques modèles présentés au chapitre précédent des chercheurs, nous a permis de juger que le modèle de Swamy [13] est le plus proche de notre étude. En effet, il englobe pas mal de paramètres propres à notre béton de fibre.

$$\text{Modèle de SWAMY[32]: } \sigma_f = 0.95 \sigma_{mf} (1 - v_f) - 3.41 v_f (l/d) \quad (3.3)$$

Avec: σ_{mf} : Contrainte de flexion de la matrice.

V_f : volume des fibres. ($v_f = 0\% - 2\% - 3\%$)

l : longueur de fibre. ($l = 15 \text{ et } 60 \text{ mm}$)

d : diamètre de fibre. ($d = d_{\text{moy}} = 0.5 \text{ mm}$)

La résistance des matériaux conduit aux relations suivantes:

$$\sigma/Y = M/I \quad \text{et} \quad F = 6M/L$$

$$\delta_e = \frac{23Fl^3}{1296EI} \quad \text{et} \quad \sigma_f = 3F/a^2 \quad \text{en essai de flexion 4 points.}$$

Où F : l'effort total appliqué en N.

$Y = \delta_e$: la flèche en mm.

L : la distance entre appuis.

M : c'est le moment de flexion dans la section

I : le moment d'inertie

a : largeur

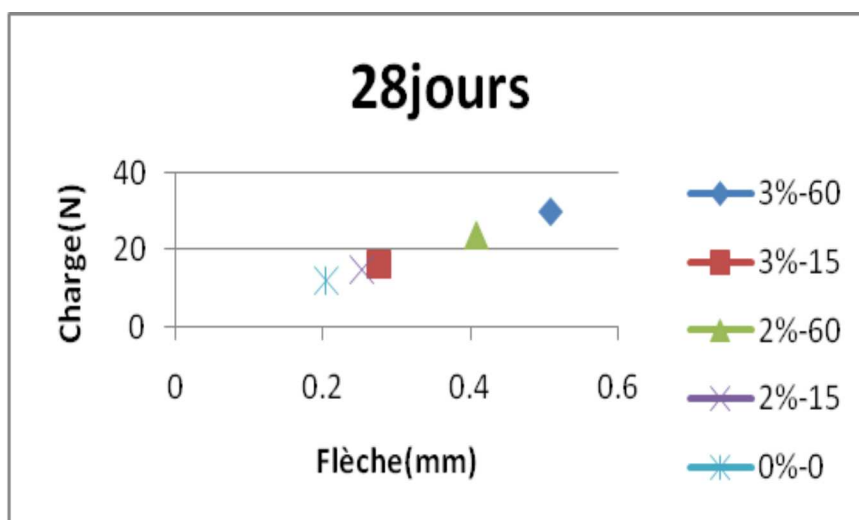
$h = a$: hauteur.

Les résultats après l'application du modèle sont donnés sur les tableaux (3.5) et (3.6):

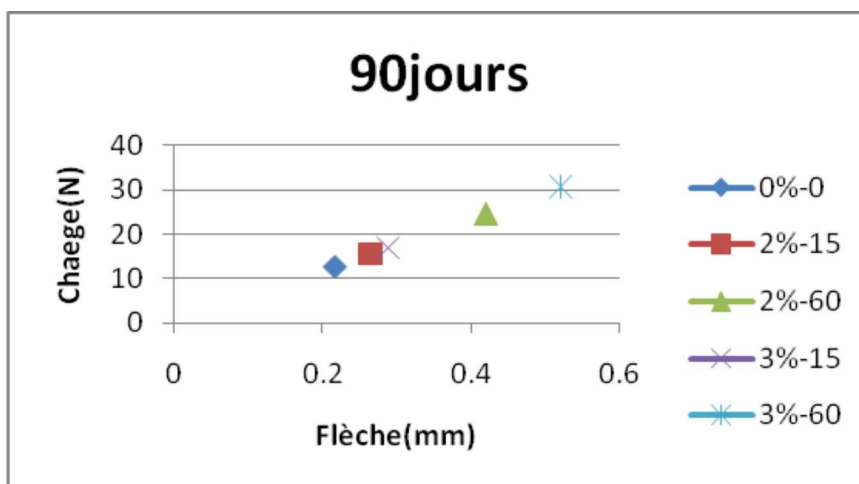
Tableau (3.5): Les résultats après l'application du modèle de Swamy [32] sur le type de béton CE.

CE

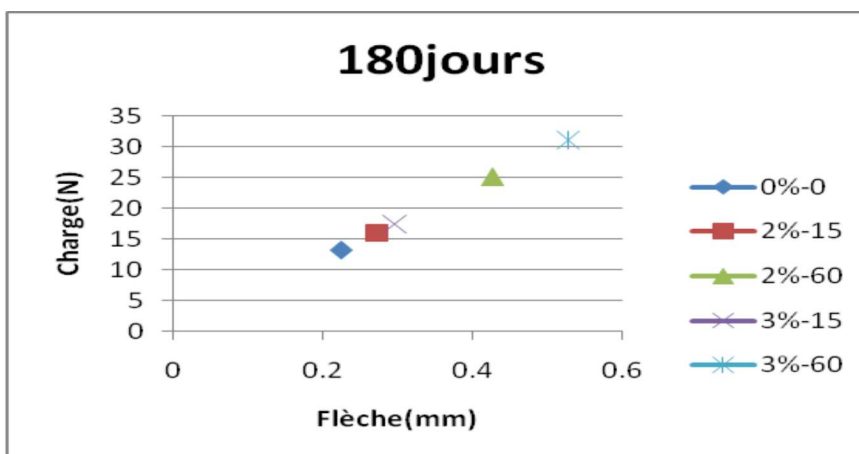
		Type de béton				
Temps/jours	Effort/Flèche	0%-0	2%-15	2%-60	3%-15	3%-60
28j	F	12,0409333	14,8381147	23,9521147	16,2367053	29,9077053
	Y	0,204696	0,252248	0,407186	0,276024	0,508431
90j	F	12,7697267	15,5523321	24,6663321	16,9436349	30,6146349
	Y	0,217085	0,26439	0,419328	0,288042	0,520449
180j	F	13,2291833	16,0025997	25,1165997	17,3893078	31,0603078
	Y	0,224896	0,272044	0,426982	0,295618	0,528025



(a)



(b)



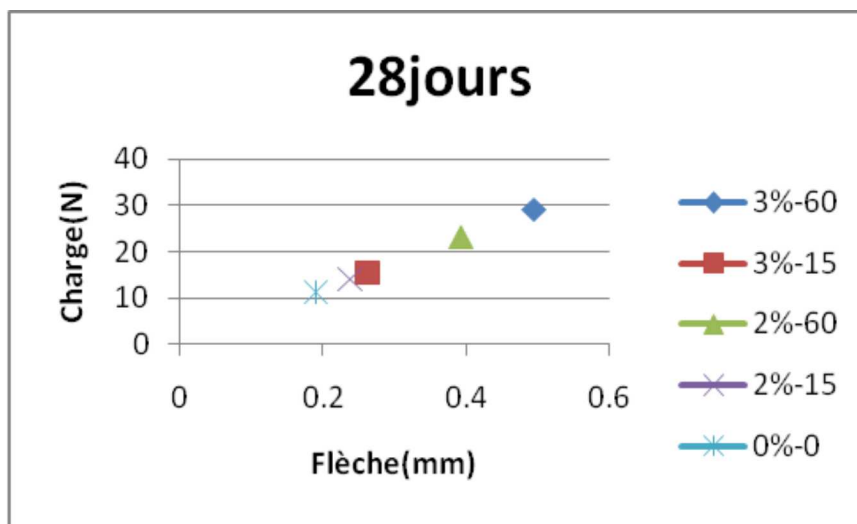
(c)

Figure (3.4): Diagrammes charge-flèche pour le modèle de Swamy[32] des bétons de fibres de palmier dattier conservés durant a) 28j, b) 90j et c) 180 jours dans CE.

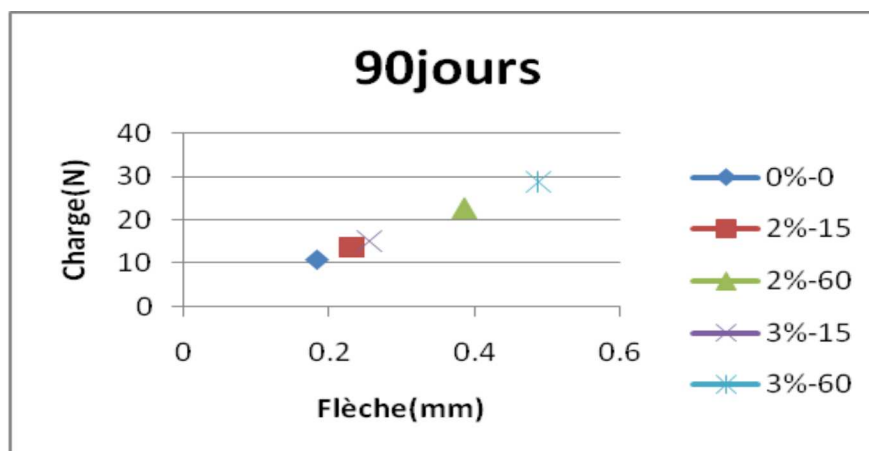
Tableau (3.6): Les résultats après l'application du modèle de Swamy [32] sur le type de béton CU.

CU

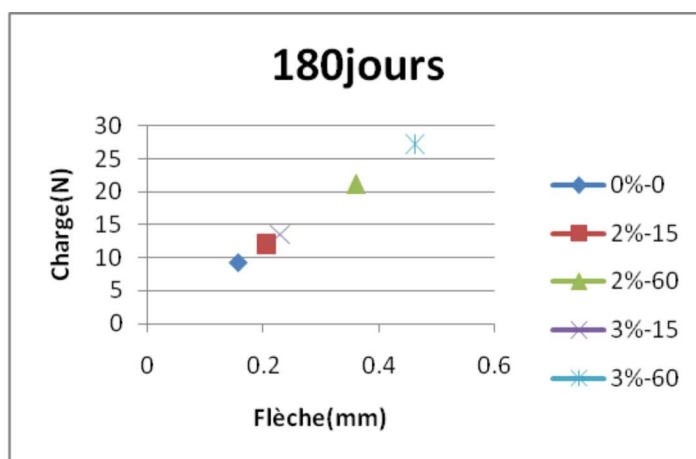
Temps/jours	Effort/Flèche	Type de béton				
		0%-0	2%-15	2%-60	3%-15	3%-60
28j	Y	0,190421	0,238259	0,393197	0,262177	0,494584
	F	11,20124	14,01521	23,12921	15,4222	29,0932
90j	Y	0,183149	0,231132	0,38607	0,255123	0,48753
	F	10,77347	13,596	22,71	15,00726	28,67826
180j	Y	0,156754	0,205265	0,360203	0,22952	0,461927
	F	9,22082	12,0744	21,1884	13,5012	27,1722



a)



(b)



(c)

Figure (3.5): diagrammes charge-flèche pour le modèle de swamy [32] des bétons de fibres de palmier dattier conservés durant a) 28j, b) 90j et c) 180 jours dans CU.

Discutions des résultats:

Après l'application du modèle nous avons constaté que:

L'équation de Swamy [32] nous donne pour chaque pourcentage de fibre une valeur de σ_f cette dernière correspond à une valeur de charge et une valeur de flèche c'est à dire un point.

les résultats obtenus après l'application du modèle de Swamy [32] sont illustré sur les tableaux(3.4) et (3.5). L'allure des courbes de la figure (3.4) et (3.5) sont assez loin des allures de notre béton de fibre. Une correction mathématique est donc souhaitable pour s'approcher de notre allure

3.4 Fonction mathématique:

Nous vison une représentation algébrique simple qui permet d'utiliser l'essentiel de l'information contenue dans les données sous une forme compatible avec les opérations de l'analyse mathématique.

Nous avons procéder à chercher aléatoirement une fonction mathématique qui prend en considération les observations suivantes selon l'allure générale des diagrammes illustrées dans la figure (3.1) .Ainsi la fonction à proposer doit vérifier les conditions suivantes:

- 1- Commencer par un point voisinage à l' origine (0.0).
- 2- Présenter une allure linéaire croissante avant le point d'abscisse au voisinage de 0.05mm.
- 3- Présenter une allure constante au delà du point d'abscisse 0.7mm
- 4- Une valeur maximal de la force provoquant la première fissure et qui correspond à une flèche d'environ 0.05 mm pour tout les bétons de fibres.

Les résultats de la recherche mathématique nous a conduit à une fonction qui remplit plus au moins les conditions précédentes. L'équation est

$$Y = 1/e^{-ax^2+bx} \quad (3.4)$$

Ensuite pour définir les constantes a, b nous avons utilisé la méthode des moindres carrées. Les résultats nous ont conduit à l'expression:

$$Y=1/EXP (-0,10049X^2+0,944X) \quad (3.5)$$

Les résultats de Cette méthode sont résumés dans le tableau(3.4) suivant. Prenant par exemple le cas du béton de fibre (CE2%-15):

Tableau (3.7):Résume les résultats de la méthode des moindres carrés.

Tableau (3.7): Résultats de la méthode des moindres carrés.

n° point	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Σ
x	0,042	0,2	0,3	0,4	0,5	0,7	1,4	2	2,5	2,8	3	14,842
y	10,75	8	5	3	0,26	0,28	0,26	0,14	0,15	0,2	0,18	28,49
x ²	0,001764	0,04	0,09	0,16	0,25	0,49	1,96	4	6,25	7,84	9	31,08176
x ³	7,41E-05	0,008	0,027	0,064	0,125	0,343	2,744	8	15,625	21,952	27	76,88807
x ⁴	3,11E-06	0,0016	0,0081	0,0256	0,0625	0,2401	3,8416	16	39,0625	61,4656	81	202,7076
lny	2,374906	2,079442	1,609438	1,098612	-1,34707	-1,27297	-1,34707	-1,96611	-1,89712	-1,60944	-1,7148	-5,30152
x ² lny	0,004189	0,083178	0,144849	0,175778	-0,33677	-0,62375	-2,64026	-7,86445	-11,857	-12,618	-15,4332	-52,2748
xlny	0,099746	0,415888	0,482831	0,439445	-0,67354	-0,89108	-1,8859	-3,93223	-4,7428	-4,50643	-5,1444	-21,6478
ax ² +bx	2,973271	13,7312	20,1912	26,3808	32,3	43,3272	73,4048	88,64	93,9	93,8112	92,4	638,8997
f(x)	0,051136	1,09E-06	1,7E-09	3,49E-12	9,38E-15	1,52E-19	1,32E-32	3,19E-39	1,66E-41	1,81E-41	7,43E-41	0,051137
2f(x)	10,22716	0,000218	3,4E-07	6,98E-10	1,88E-12	3,05E-17	2,64E-30	6,39E-37	3,32E-39	3,63E-39	1,49E-38	10,227
y-f(x)	0,522843	7,999782	5	3	0,26	0,28	0,26	0,14	0,15	0,2	0,18	18,26262
y-f(x)/f(x)	0,051123	36764,83	14684756	4,3E+09	1,39E+11	9,18E+15	9,85E+28	2,19E+35	4,52E+37	5,52E+37	1,21E+37	1,13E+38

Remarque: l'erreur =y-f(x) /f(x)

Discutions des résultats:

Nous constatons que :

L'erreur $=y-f(x) / f(x)$ est très grande, elle varie de l'ordre: 10^9-10^{37} . Cela nous conduit à rejeter cette fonction mathématique et penser à proposer d'autre modèle.

3.5 Modèle statique:

Dans cette partie nous allons faire une exploitation statique de nos résultats expérimentaux. Pour choisir une fonction aléatoire qui donne des résultats proche de nos allures on utilisons un logiciel mathématique Matlab, après plusieurs tentatives nous avons proposé l'équation polynomiale de la forme suivante:

$$Y=A_6X^6+A_5X^5+A_4X^4+A_3X^3+A_2X^2+A_1X$$

Les constants A_1, A_2, A_3, A_4, A_5 et A_6 sont calculés toute en introduisant les paramètre propres au béton de fibre (σ_{mf}, v_f, l, d)

L'équation proposée est:

$F=\sigma_{mf} (0.01-v_f)X^6+\sigma_{mf} (0.1-v_f)X^5+\sigma_{mf} (0.015-v_f)(l/d)X^4+5\sigma_{mf}(0.1-v_f)X^3+\sigma_{mf}(0.015-v_f)(l/d)X^2+0.5\sigma_{mf} (0.1-v_f)X$ <p style="text-align: right;">(3.6)</p>
--

σ_{mf} : Contrainte de flexion de la matrice.

v_f : Volume des fibres (2% et 3%).

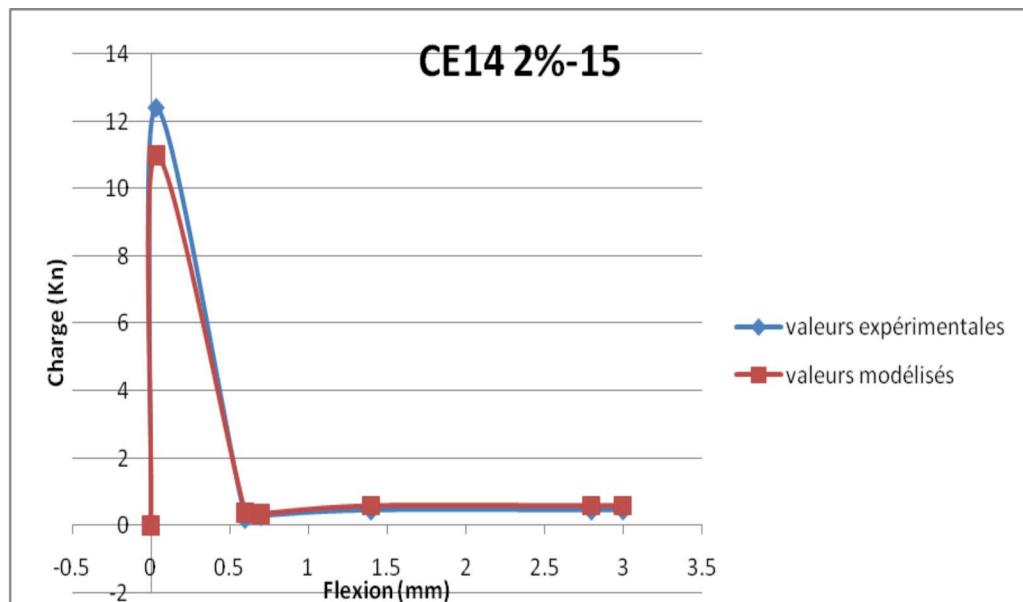
l : Longueur des fibres (15mm et 60mm).

d : Diamètre des fibres 0.5 mm.

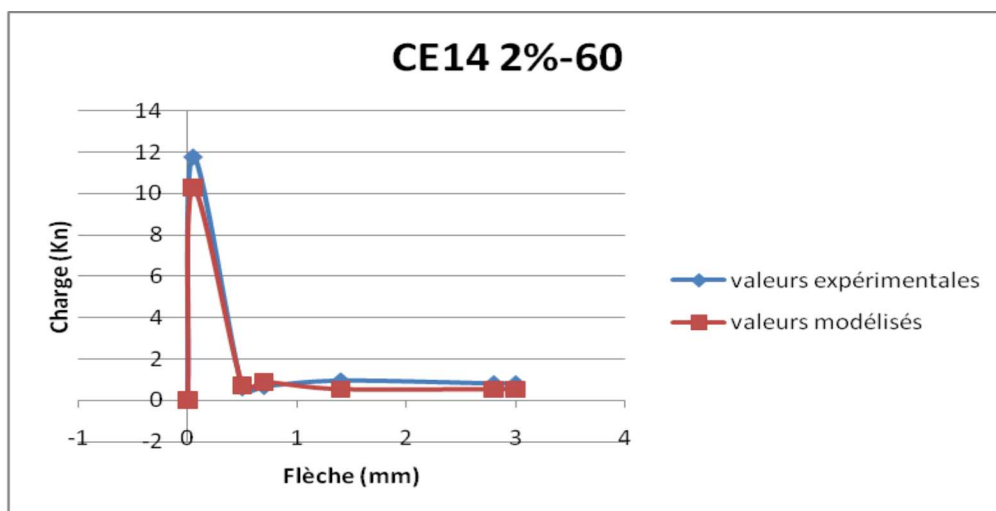
En appliquant les données expérimentaux sur notre modèle, les résultats obtenus sont résumées dans les tableaux (3.8,9,10,11 et 12) et les figures (3.6,7 et 8) pour différents pourcentages, longueurs, diamètre et différents types de cure (CE,CU,CE14-CU).

Tableau(3.8): valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans: CE14-CU.

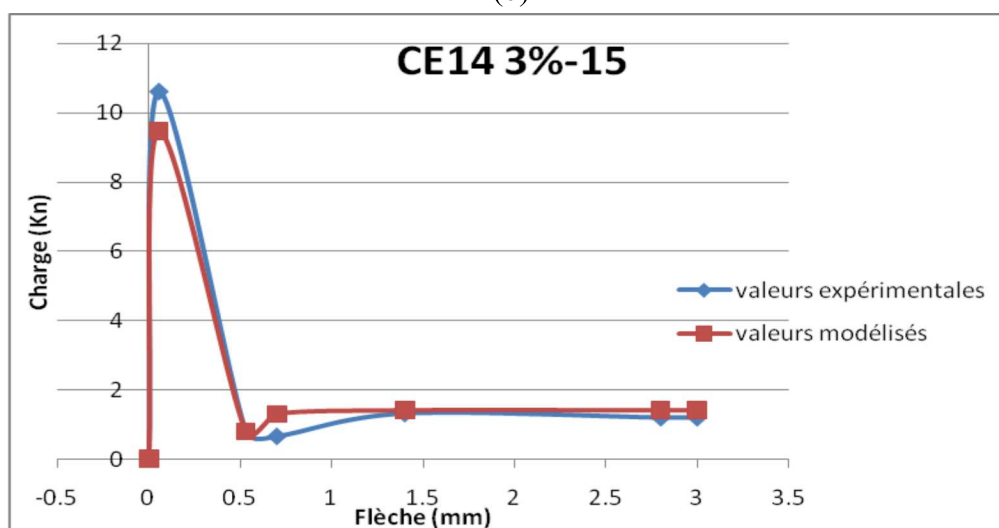
Type de béton	Flèche/ Effort							
CE14 2%-15	Y	0	0,036	0,6	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	9,11865456	1,2307584	0,6363959	0,5260416	0,5260416	0,5260416
CE14 2%-60	Y	0	0,05	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	11,7896865	0,5859375	0,6363959	0,5260416	0,5260416	0,5260416
CE14 3%-15	Y	0	0,055	0,53	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	12,6365379	0,364526421	0,6363959	0,5260416	0,5260416	0,5260416
CE14 3%-60	Y	0	0,05	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	11,7896865	0,5859375	0,6363959	0,5260416	0,5260416	0,5260416



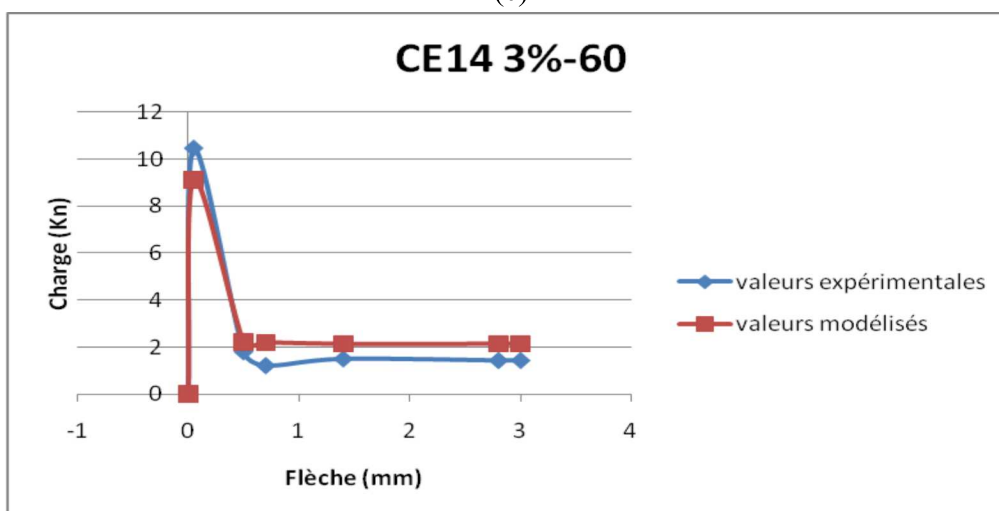
(a)



(b)



(c)

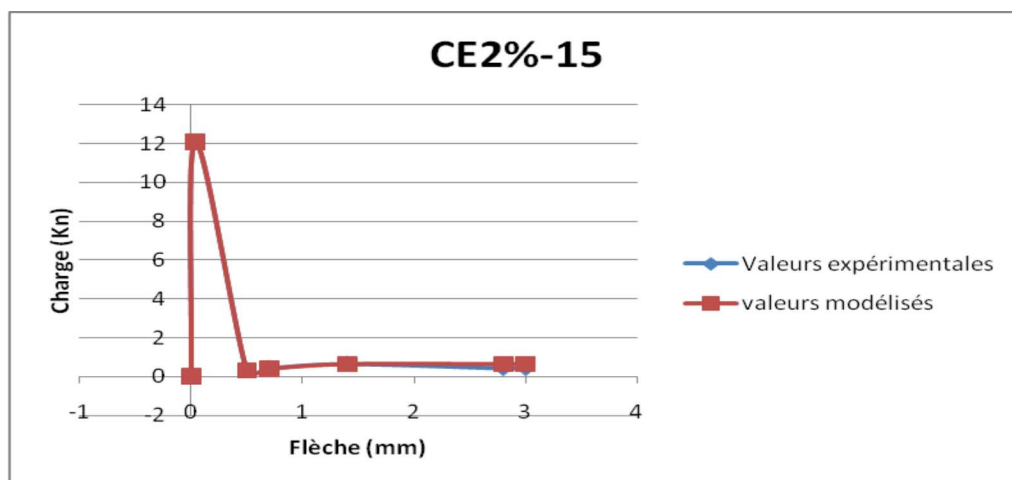


(d)

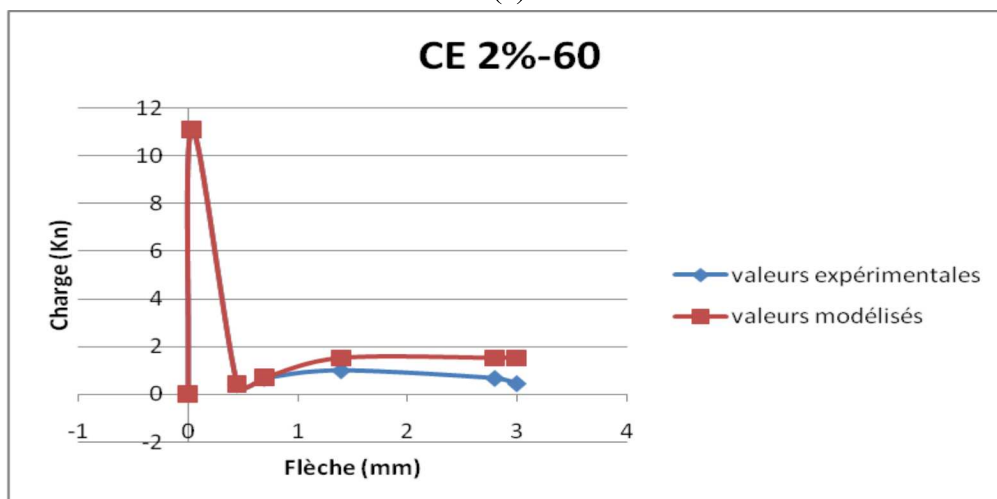
Figure (3.6) : Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans: CE14-CU a)2%-15, b)2%-60, c)3%-15 et d)3%-60.

Tableau(3.9): valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 180jours dans: CE.

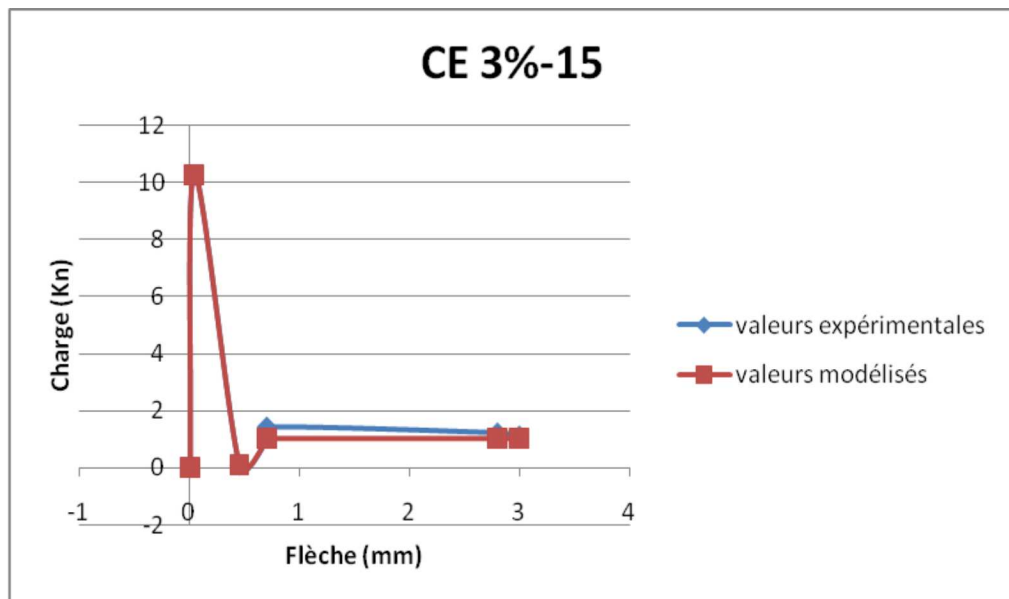
Type de béton	Flèche/Effort							
CE 2%-15	Y	0	0,04	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	0,2640625	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CE 2%-60	Y	0	0,036	0,45	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	9,34215965	2,65856008	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CE 3%-60	Y	0	0,04	0,39	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	6,58274444	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CE 3%-15	Y	0	0,04	0,45	0,7	0,7	2,8	3
	F	0	10,1707886	2,65856008	0,2846361	0,2846361	0,2411584	0,2411584



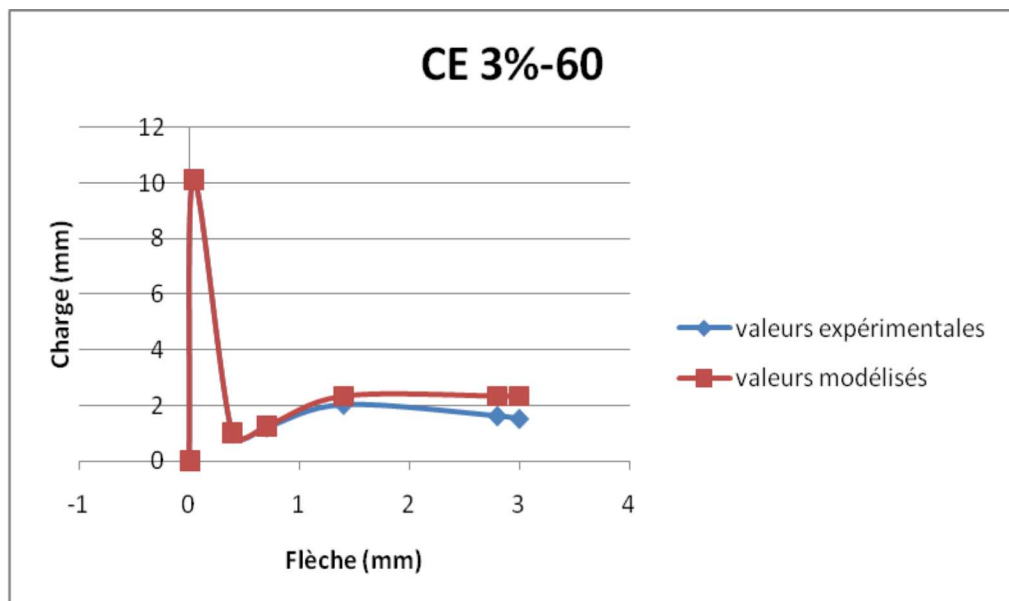
(a)



(b)



(c)



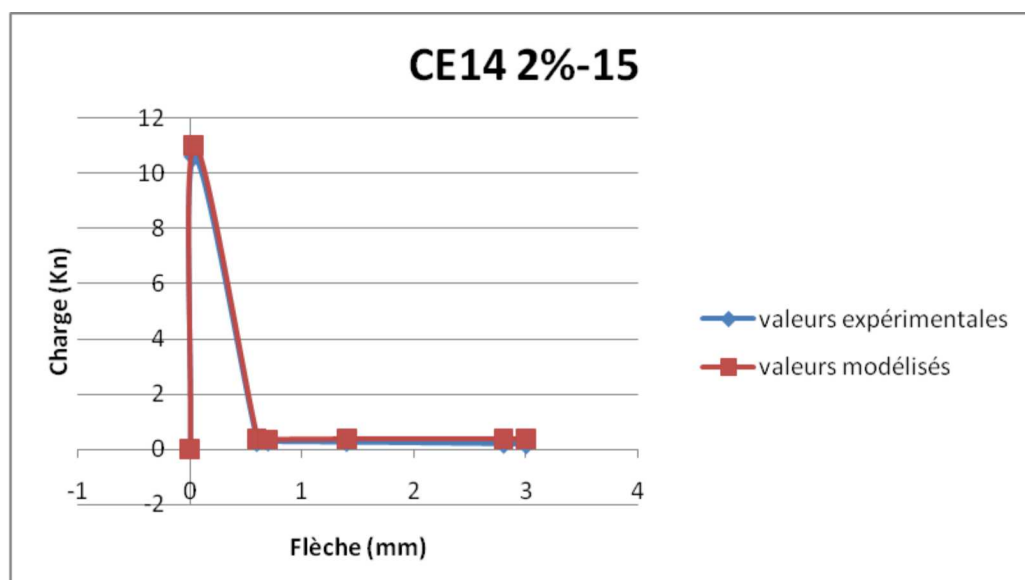
(d)

Figure (3.7): Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 180 jours dans CE:

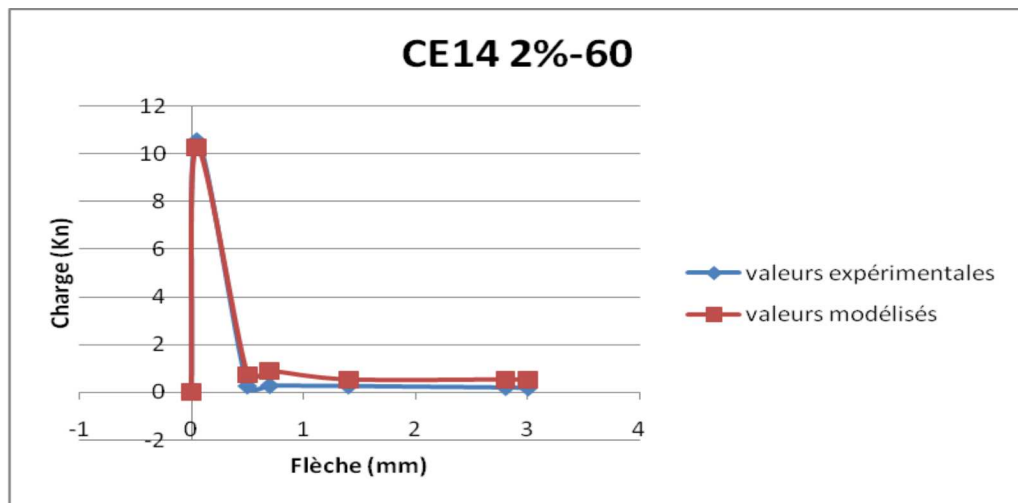
a)2%-15, b)2%-60, c)3%-15 et d)3%-60

Tableau(3.10): valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 180 jours dans: CE14-CU.

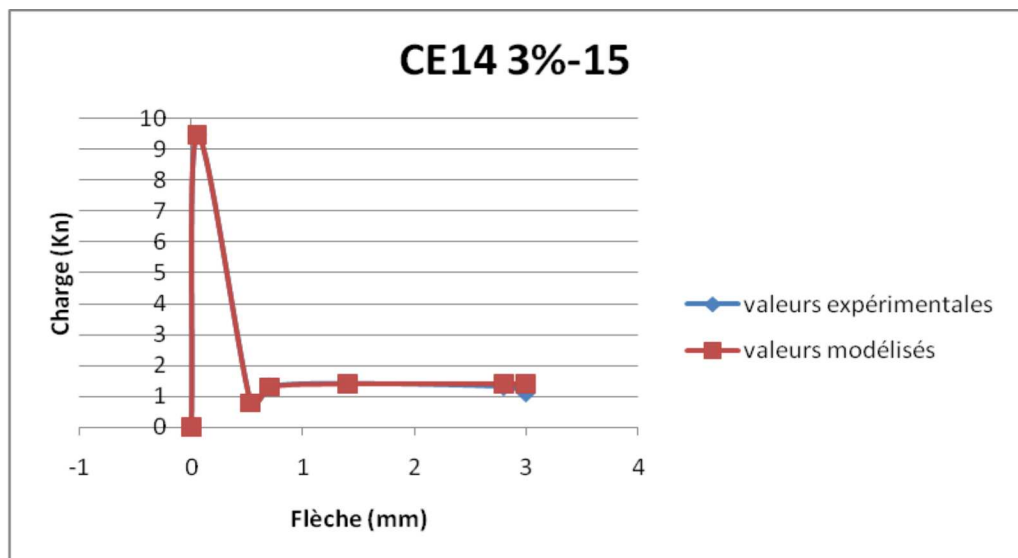
Type de béton	Flèche/Effort							
CE14 2%-15	Y	0	0,036	0,6	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	9,1186546	1,230758	0,6363959	0,5260416	0,5340608	0,5340608
CE14 2%-60	Y	0	0,05	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	11,789686	0,5859375	0,6363959	0,5260416	0,5340608	0,5340608
CE14 3%-15	Y	0	0,055	0,53	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	12,636538	0,364526	0,6363959	0,5260416	0,5340608	0,5340608
CE14 3%-60	Y	0	0,05	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	11,789686	0,5859375	0,6363959	0,5260416	0,5340608	0,5340608



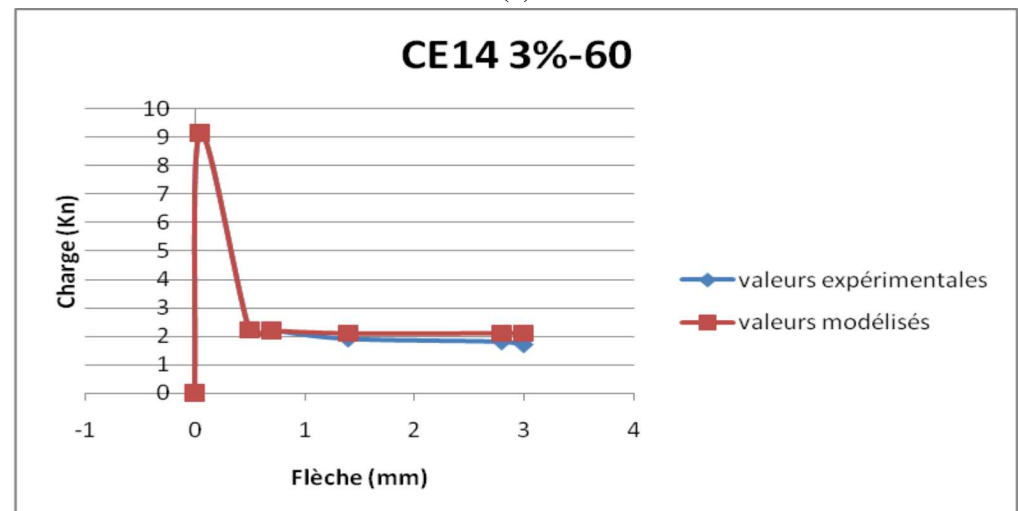
(a)



(b)



(c)



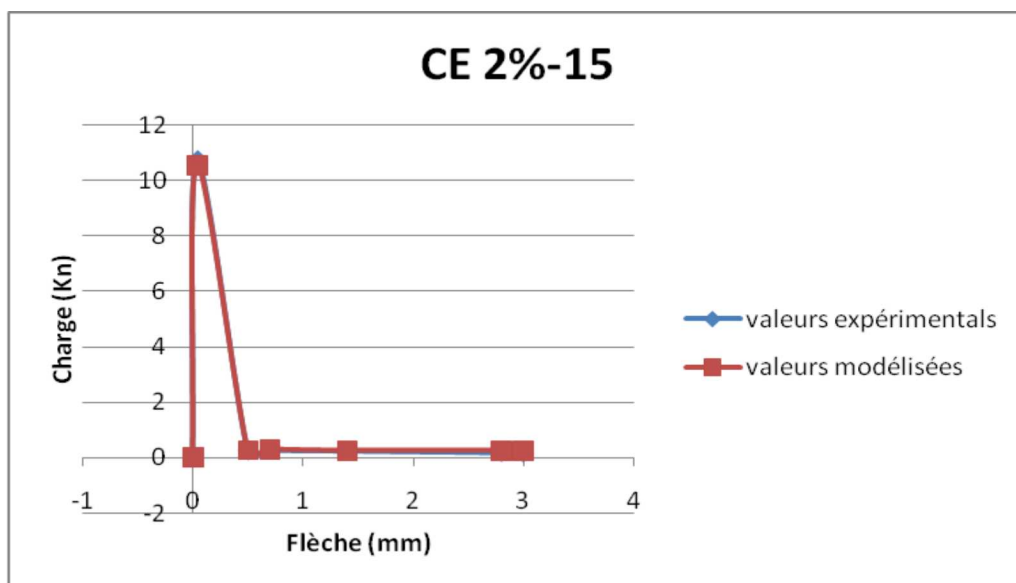
(d)

Figure (3.8): Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 180

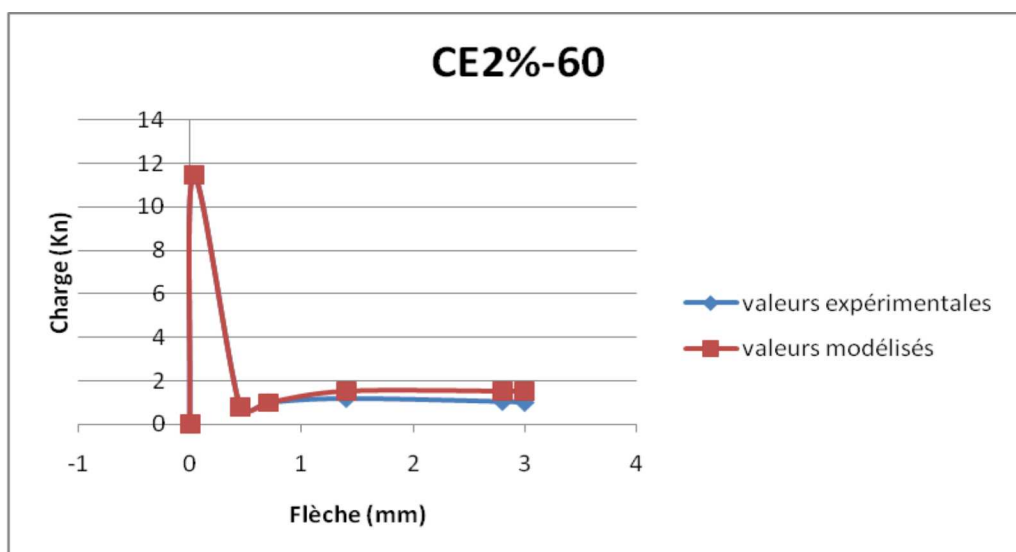
jours dans CE14-CU a)2%-15, b)2%-60, c)3%-15 et d)3%-60.

Tableau(3.10): Valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans:(a)CE

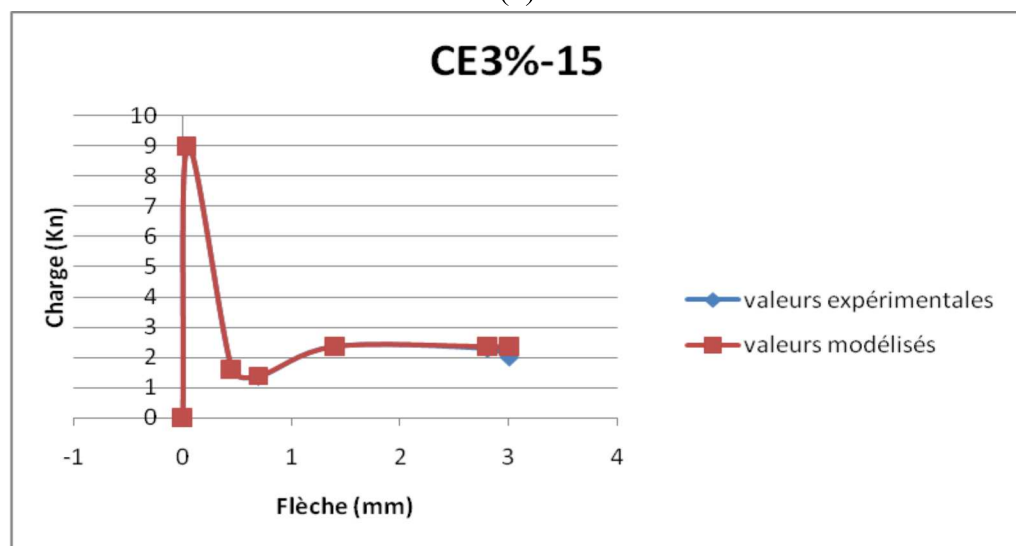
Type de béton	Flèche/Effort							
CE 2%-15	Y	0	0,04	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	0,2640625	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2410472
CE 2%-60	Y	0	0,036	0,45	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	9,34215965	2,65856008	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2410472
CE 3%-15	Y	0	0,04	0,45	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	2,65856008	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2410472
CE 3%-60	Y	0	0,04	0,39	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	6,58274444	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2410472



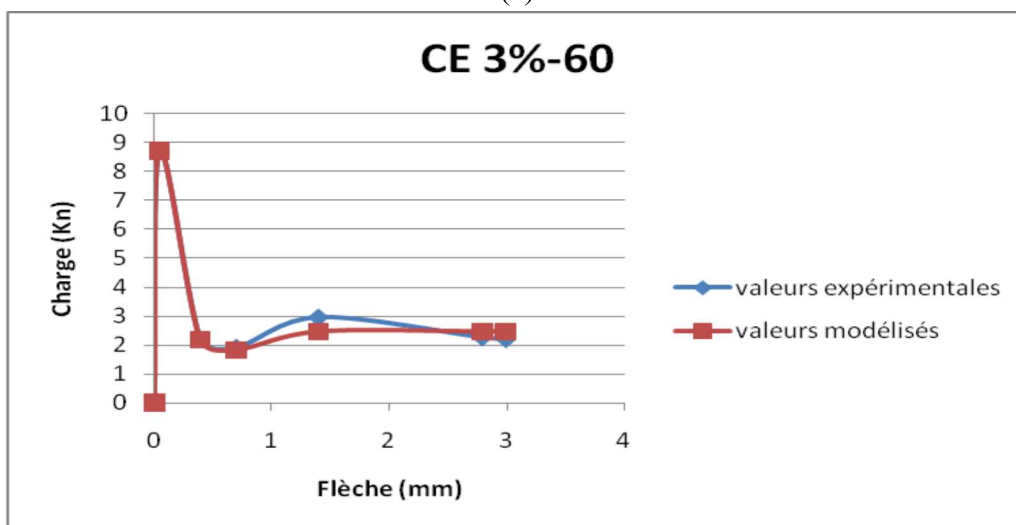
(a)



(b)



(c)



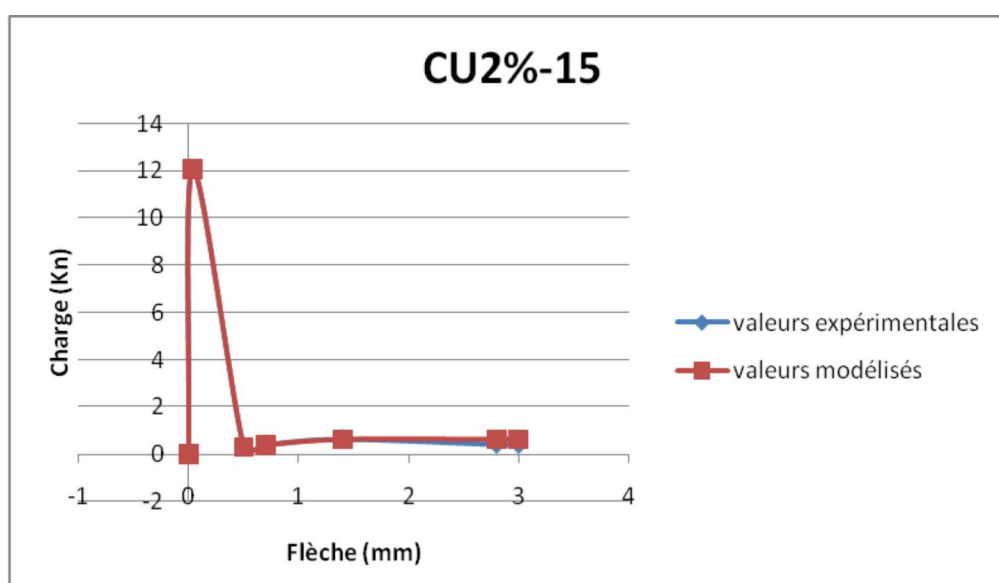
(d)

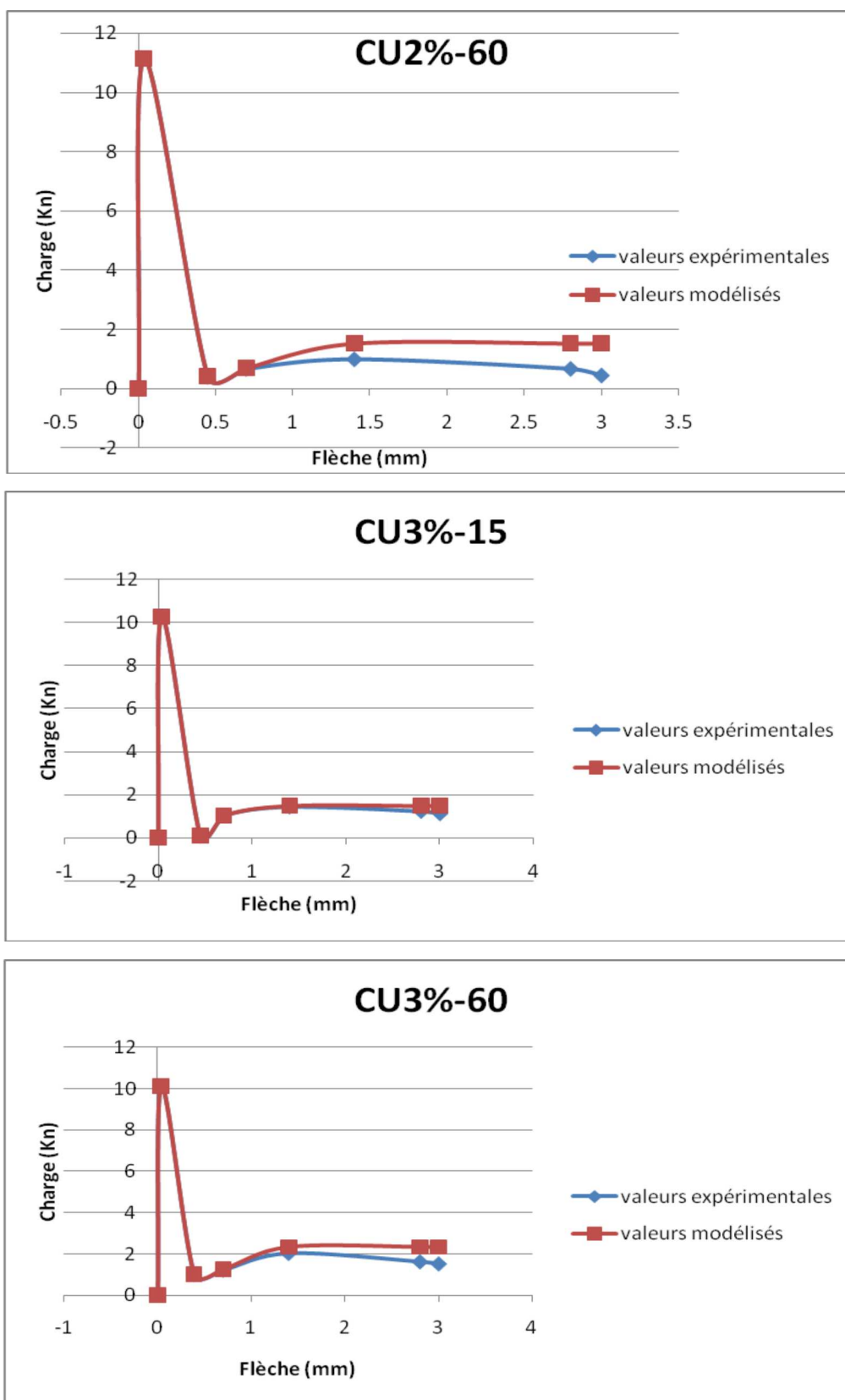
Figure (3.9): Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28

jours dans :CE a)2%-15, b)2%-60, c)3%-15 et d)3%-60.

Tableau (3.11): Valeur de la charge en fonction de la flèche en appliquant le modèle (l'équation mathématique) des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans:(b)CU

Type de béton	Flèche/Effort							
CU 2%-15	Y	0	0,04	0,5	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	0,2640625	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CU 2%-60	Y	0	0,036	0,45	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	9,34215965	2,65856008	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CU 3%-15	Y	0	0,04	0,45	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	2,65856008	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584
CU 3%-60	Y	0	0,04	0,39	0,7	1,4	2,8	3
	F	0	10,1707886	6,58274444	0,2846361	0,2411584	0,2411584	0,2411584





(b)

Figure (3.10): Diagrammes Charge-Flèche des bétons de fibres conservés durant 28 jours dans :CU a)2%-15, d)2%-60, c)3%-15 et d)3%-60.

Discussion des résultats:

Suivant les résultats nous constatons que le modèle statique a donné des résultats plus proche des résultats expérimentaux car dans les figures précédentes les diagrammes sont presque confondu entre la déflexion de 0 à 0.7mm ce que signifie que l'erreur est très petite par contre après 0.7mm il ya une petite différence entre les valeurs modélisées et les valeurs expérimentaux. Ce qui nous a conduit à dire qu'il ya une bonne corrélation entre les données expérimentales et les résultats modélisées.

B:PARTIE OUVERTURE DE FISSURE:

1 Introduction:

Afin de voir l'influence des fibres de palmier sur les ouvertures des fissures. Nous avons lancer une série d'expérience sur le béton qui à donner les meilleures performances de flexion.

2 Détails expérimentaux:

2.1 Composition des bétons de fibre de palmier dattier:

Selon KRIKER [5], et pour des raisons expérimentales justifie notre choix qui portera sur le béton de fibre CE14-CA 2%-60 car il a donné une meilleure résistance après à la première fissuration à 28 jours .

Rappelons le béton utilisée est 2%-60le tableau(3.13) donne la composition du béton de fibre utilisée. Et pour travailler avec E/C constant et égale au béton sans fibre nous avons ajouter un adjuvant.

-La cure des éprouvettes se fait comme suit

CE14-CA: Conservation durant les 14 premiers jours dans une chambre humide et saturé sous des conditions climatique de $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $\text{HR}=100\%$, ensuite à l'air libre.

-La méthode de composition est inspirée de la méthode de BARON-LESAGE [36] qui a été adopté par ROSSI [18] pour la confection des bétons de fibres métalliques.

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

- Ciment (CPA-CEM II/A 32.5)
- L'eau de gâchage utilisés est l'eau potable du robinet et en maintien la quantité d'eau fixe E/C=0.55 pour cela nous avons ajouté un adjuvant.
- les fibres sont bien lavées dans de l'eau plus un faible dosage de javel (2 ml/l), pour bien enlever la couche de lignine qui entourent la fibre et qui gênent l'adhérence.
- le malaxage a été effectués dans un malaxeur à axe horizontale, de type «Zyclos» de capacité 150 l.
- Le Gravier utilisés ces origine est de Lyon (Dmax=10mm).
- Le sable utilisés ces origine est de Lyon (0/5)

Tableau (3.13): Composition du béton de fibre (BF3) pour un mètre cube.

Type de béton	% de fibre en volume	Longueur de fibre en(mm)	Cim. en (Kg)	Sabl. (Kg)	Gravier (Kg)	Fibre (Kg)	Eau Totale (Kg)	Eau moy Absorbée par les fibres (Kg)	Eau Réelle (Kg)	Adjuv (Kg)
BF3 VeBe=20 ±5s Haff= 70±10	2	60	400	750	982	18	200	24	176	4.80

Eau réelle=Eau totale-Eau moy. Absorbée par les fibres.

VeBe: La variation de l'ouvrabilité.

Haff: Affaissement.

2.2 Méthode d'essai:

Les sept éprouvettes de la flexion sont des prismes normalisés de dimensions 70×70×280 mm. La surface intérieure du moule est l'huilée avant coulage du béton. La mise en place du béton se fait selon l'axe vertical du moule de la manière suivante: Une truelle au centre puis une dans chaque tiers extrême du moule en une seule couche. Le compactage se fait à l'aide d'une table vibrante, les éprouvettes sont gardées au laboratoire couvert d'un plastique sous les

conditions $T=20\pm 2^{\circ}\text{C}$ et $HR=65\%\pm 5$ après 28 jours de durcissement nous réalisons une rainure au centre des éprouvettes afin de contrôler la fissuration (voir photo 3Annexe).

Les propriétés de flexion des bétons de fibres de palmier sont déterminées par un essai de flexion quartes points à l'aide d'un dispositif expérimental conforme à la norme NFP 18-409 [35]. La presse universelle utilisée est de type INSTRON (voir Photo 1 Annexe). La vitesse de chargement est de 0.1 mm / min. La presse est équipée d'un capteur de forces de 50 kn. Le système est muni d'un dispositif pour mesurer la flèche au milieu de l'éprouvette qui est formé de deux capteurs de déplacement (LVTD). Afin de mesurer la flèche nette (voir photo 4 annexe), ce dernier dispositif s'appuie directement sur l'éprouvette elle même. Un système d'enregistrement des valeurs de la charge et de déplacement ainsi que pour mesurer l'ouverture de fissure à l'aide d'un LVTD est continuellement assuré à l'aide d'une chaîne d'acquisition numérique, permettant de donner entre autre la courbe charge-flèche pour chaque éprouvette. La figure (3.9) et (photo2 Annexe) montre le dispositif expérimental de flexion avant chargement.

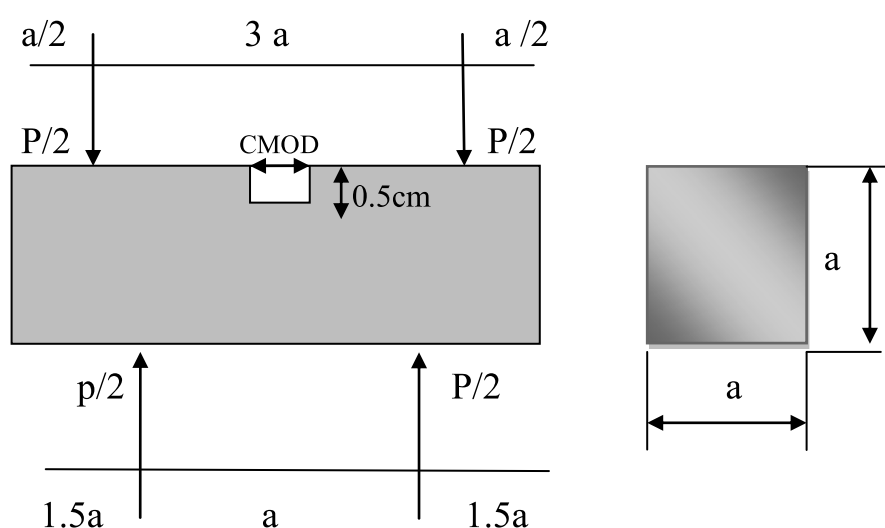


Figure (3.9): Essai de flexion 4 points sur éprouvette prismatique 70×70×280mm.

La résistance à la flexion est donnée par la formule suivante:

$$\sigma_f = 3F/a^2 \quad (3.7)$$

σ_f : résistance à la flexion en N/mm^2 .

F: la charge appliquée à l'essai de flexion 04 points.

a: côté de l'éprouvette (a=70mm).

3.3 Présentation et commentaire des résultats:

Chaque résultat est moyenne de sept mesures. Les résultats d'essais sont présentés dans le tableau(3.14) suivant:

Tableau (3. 14): Variation de la charge en fonction d'ouverture de fissure à 28 jours.

Ouverture de fissure (mm)/Ecart moyen	Charge (N)
0	0
0.01867033 ±(0.0062)	0.0067±(0.0113)
0.03224876 ±(0.0475)	1.3886±(0.9665)
0.07807594 ±(0.0866)	2.60396±(1.7683)
0.13366261 ±(0.1289)	3.68102±(1.9523)
0.17948979 ±(0.1339)	4.59808±(1.9016)
0.23507646 ±(0.154052)	5.35104±(1.9352)
0.28090364 ±(0.1601)	5.95548±(1.6483)
0.62672913 ±(0.1556)	7.20748±(1.6041)
1.02771696 ±(0.2931)	7.83642±(3.2282)
1.49786988 ±(0.3473)	7.86916±(3.6089)
1.84369537 ±(0.5461)	7.90602±(3.7261)
2.24935078 ±(0.77844)	7.96868±(3.8132)
2.67367653 ±(1.06379)	8.0439±(0.0062)
3.01016684 ±(1.2966)	8.07164±(0.0062)

3.4: Courbe charge-ouverture de fissure obtenue lors de l'essai de flexion:

La figure (3.10) donne la courbe charge- ouverture de fissure obtenue lors des essais de flexion.

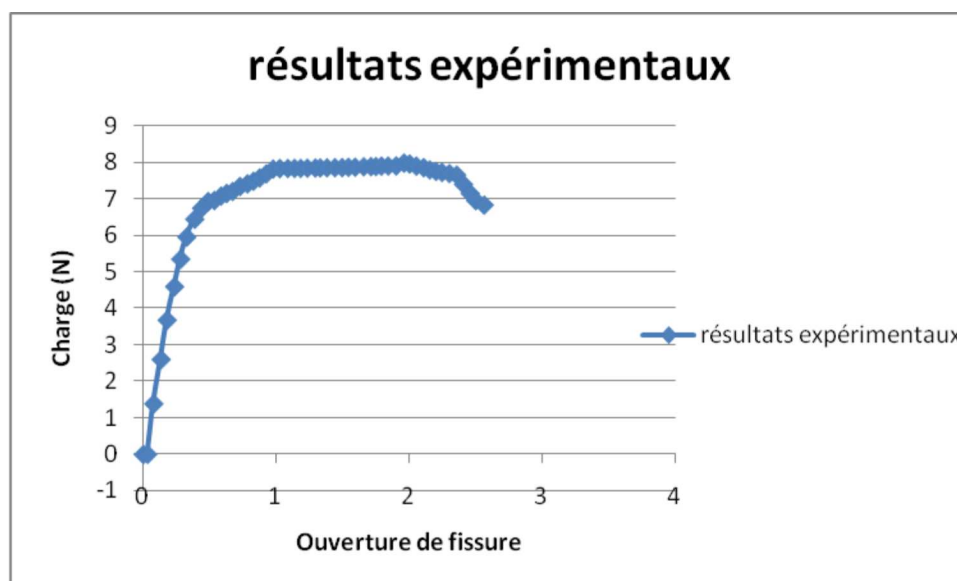


Figure (3.10): Résultats d'ouverture de fissure moyenne en essai de flexion quartes points du béton de fibre de palmier dattier CE142%-60.

Interprétation:

On remarque que l'ouverture de fissure moyenne augmente d'une façon progressive; elle est presque linéaire jusqu'à la valeur de la charge 7N qui correspond à une ouverture de 0.437mm. Ensuite elle continue à augmenter. Après la charge 8N nous remarquons que la fissure continue, à augmenter alors que la charge reste quasi constante. Dans la partie élastique la matrice et les fibres travaillent ensemble pour résister aux efforts, en 7 et 8N il aura une rupture de la matrice les fibres reprennent les efforts ensuite peu de fibre qui résiste aux efforts d'ou la charge sera quasi constante.

3.5: Adaptation de l'expression de Modèle de Banthia et Sheng[34]:

Comme nous avons présenté ce modèle au chapitre (II) Une formule a été proposée par Banthia et Sheng [34]. Pour pouvoir adopter ce modèle à notre béton nous avons introduit les caractéristiques propres aux fibres de palmier de ce fait:

P: charge appliqué en N.

l: longueur entre appui ($l=3a$).

b: largeur de la poutre ($b=a=70\text{mm}$).

d: épaisseur de la poutre ($a=d=b=70\text{mm}$).

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

E : module d'élasticité des fibres de palmier (E=3.30 GPa), KRIKER [5].

CMOD: longueur d'ouverture de la fissure en mm.

σ : contrainte de flexion.

a: fissure longitudinale.

d': profondeur de la poutre où le CMOD est mesuré.

$$\text{Où: } \text{CMOD} = \frac{6\sigma a}{E} V_1(\alpha(a)) \quad (3.8)$$

Avec:

$$\alpha(a) = \left(\frac{a+d'}{d+d'} \right), \quad (3.9)$$

Et

$$V_1[\alpha(a)] = 0.8 - 1.7\alpha(a) + 2.4\alpha^2(a) + 0.66/(1-\alpha^2(a)). \quad (3.10)$$

Dans le tableau suivant nous présentons les résultats:

Tableau (3.15): Donne les résultats de calcul en appliquant le modèle de Banthia et Sheng [34].

$\alpha(a)=a+d'/d+d'$	$V_1[\alpha(a)]=0.8-1.7\alpha(a)+2.4\alpha^2(a)+0.66/(1-\alpha^2(a))$	$\text{CMOD}=6\sigma a/EV_1(\alpha(a))$	Charge (N)	Ouverture de fissure (mm)
0.5	1.045	0	0	0
0.182373191	1.252496345	5.68213E-07	0.0067	0.032248757
0.182823736	1.252241524	0.00021332	1.3886	0.078075937
0.1832532	1.251999837	0.000570763	2.60396	0.13366261
0.183695864	1.25175196	0.001055524	3.68102	0.179489791
0.184131927	1.251509006	0.001624374	4.59808	0.235076463
0.184568336	1.251267081	0.002246493	5.35104	0.280903644
0.184987055	1.251036111	0.00288039	5.95548	0.32715515
0.185403114	1.250807722	0.00352435	6.4424	0.386985081
0.185830845	1.250574084	0.004130461	6.74678	0.43790417
0.18626425	1.250338545	0.004700572	6.93086	0.488398934
0.186697132	1.250104493	0.005178236	6.95904	0.53465044
0.187121405	1.249876264	0.005725856	7.08066	0.58556953
0.187539632	1.249652419	0.006238152	7.15156	0.626729127
0.18796245	1.249427259	0.006750321	7.20748	0.672980634
0.188387723	1.249201951	0.007352565	7.34364	0.728142981

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.188813995	1.24897728	0.007904733	7.4154	0.783729654
0.189222041	1.24876331	0.008445799	7.4876	0.829556834
0.189646086	1.248542084	0.00903444	7.57692	0.875808341
0.190057359	1.248328627	0.009649746	7.6903	0.926303104
0.190469268	1.24811593	0.010300381	7.8193	0.977222194
0.190876223	1.247906864	0.010804323	7.83468	1.027716958
0.191273268	1.247703916	0.011278584	7.83642	1.087971214
0.191681268	1.247496426	0.011765265	7.83772	1.138465978
0.192084905	1.24729221	0.012245429	7.83816	1.184717484
0.192501995	1.247082289	0.012750611	7.84422	1.235212248
0.19291645	1.246874805	0.013250366	7.84856	1.295042178
0.193324041	1.246671837	0.013739693	7.85138	1.331958518
0.193714814	1.246478249	0.014210423	7.85486	1.382877607
0.19410695	1.246284975	0.014681408	7.85746	1.442707538
0.194493723	1.246095317	0.015146616	7.86028	1.497869885
0.194882359	1.245905716	0.015626275	7.86916	1.544121391
0.195266859	1.245719092	0.016088186	7.87132	1.595040481
0.19567395	1.245522543	0.016593572	7.8813	1.659537994
0.196014677	1.245358858	0.017010132	7.88628	1.714700341
0.196388495	1.245180138	0.017460845	7.88868	1.751616681
0.196745541	1.245010279	0.017918207	7.90276	1.793200604
0.197034905	1.244873223	0.018268528	7.90492	1.843695368
0.197203268	1.244793728	0.018472049	7.90602	1.903949624
0.197307995	1.244744371	0.018612859	7.91274	1.963779554
0.197365768	1.244717174	0.018717192	7.9277	2.005363477
0.197410177	1.244696282	0.018772897	7.92878	2.055858241
0.197448723	1.24467816	0.018838067	7.9368	2.111020588
0.197458041	1.24467378	0.01887602	7.94808	2.157272095
0.197461041	1.24467237	0.018899668	7.95652	2.203523601

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.197501541	1.244653342	0.018977269	7.96868	2.249350782
0.197504995	1.24465172	0.018981424	7.96868	2.304937454
0.197515359	1.244646852	0.019003663	7.97278	2.360099801
0.197534132	1.244638038	0.019043342	7.97994	2.411018891
0.197536132	1.244637099	0.019081981	7.99512	2.461513655
0.197536132	1.244637099	0.019085609	7.99664	2.503097578
0.197536632	1.244636864	0.01917987	8.03588	2.567595091
0.197538586	1.244635947	0.01918224	8.03588	2.609179015
0.197540541	1.244635029	0.019203758	8.0439	2.673676528
0.197544041	1.244633386	0.019208008	8.0439	2.710592868
0.197545995	1.244632468	0.01922748	8.05106	2.761087632
0.197545995	1.244632468	0.01922748	8.05106	2.812006721
0.197546495	1.244632234	0.019241558	8.0567	2.867169068
0.197546495	1.244632234	0.019241558	8.0567	2.918088158
0.197546495	1.244632234	0.019263291	8.0658	2.963915339
0.197546995	1.244631999	0.0192639	8.0658	3.010166845
0.197546995	1.244631999	0.019277848	8.07164	3.065329192
0.19754845	1.244631316	0.01927962	8.07164	3.097577949
0.19754845	1.244631316	0.019285352	8.07404	3.125583448
0.19754845	1.244631316	0.019285352	8.07404	3.148497038
0.19754895	1.244631082	0.019353799	8.10244	3.162075462
0.19754895	1.244631082	0.019353799	8.10244	3.166743045
0.19754895	1.244631082	0.019449583	8.14254	3.185413378
0.19754895	1.244631082	0.019449583	8.14254	3.198991802
0.19754995	1.244630612	0.01945602	8.14472	3.198991802
0.19754995	1.244630612	0.01945602	8.14472	3.208326968
0.19754995	1.244630612	0.019481389	8.15534	3.226572976
0.19754995	1.244630612	0.019481389	8.15534	3.226572976
0.19755095	1.244630143	0.019512625	8.1679	3.240575725

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.19755145	1.244629908	0.019513242	8.1679	3.245243308
0.19755145	1.244629908	0.019519979	8.17072	3.258821732
0.19755145	1.244629908	0.019519979	8.17072	3.272824482
0.197553405	1.244628991	0.019522413	8.17073	3.282159648
0.197554859	1.244628308	0.019524207	8.17073	3.291494815
0.197556359	1.244627604	0.019526081	8.17074	3.305073239
0.197556859	1.244627369	0.019526698	8.17074	3.323743571
0.197557359	1.244627135	0.019527338	8.17075	3.328411155
0.197557359	1.244627135	0.019527362	8.17076	3.341989579
0.197557359	1.244627135	0.019527386	8.17077	3.337321995
0.197557859	1.2446269	0.019528026	8.17078	3.360659911
0.197557859	1.2446269	0.01952805	8.17079	3.378905918
0.197557859	1.2446269	0.019528098	8.17081	3.388241085
0.197557859	1.2446269	0.019528122	8.17082	3.388241085
0.197558359	1.244626665	0.019528763	8.17083	3.392908668
0.197558359	1.244626665	0.019528786	8.17084	3.415822258
0.197558359	1.244626665	0.01952881	8.17085	3.415822258
0.197558814	1.244626452	0.019529395	8.17086	3.425157425
0.197559314	1.244626217	0.019530035	8.17087	3.452738598
0.197559814	1.244625983	0.019530676	8.17088	3.457406182
0.197559814	1.244625983	0.019530748	8.17091	3.461649439
0.197559814	1.244625983	0.019530772	8.17092	3.470984605
0.197561314	1.244625279	0.019532646	8.17093	3.480319772
0.197561314	1.244625279	0.019532669	8.17094	3.494322522
0.197561814	1.244625044	0.01953331	8.17095	3.494322522
0.197562314	1.244624809	0.019533951	8.17096	3.503233362
0.197562314	1.244624809	0.019533975	8.17097	3.507900945
0.197563268	1.244624361	0.019535176	8.17098	3.526571278
0.197563268	1.244624361	0.0195352	8.17099	3.531238861

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.197564268	1.244623892	0.019536481	8.17101	3.531238861
0.197564768	1.244623657	0.019537121	8.17102	3.535482119
0.197564768	1.244623657	0.019537145	8.17103	3.549484869
0.197564768	1.244623657	0.019537169	8.17104	3.563487618
0.197565268	1.244623423	0.01953781	8.17105	3.572398459
0.197566223	1.244622975	0.019539011	8.17106	3.572398459
0.197566723	1.24462274	0.019539652	8.17107	3.581733625
0.197567723	1.244622271	0.019540909	8.17108	3.599979632
0.197567723	1.244622271	0.019540933	8.17109	3.591068792
0.197569677	1.244621354	0.019543391	8.17111	3.599979632
0.197570177	1.244621119	0.019544032	8.17112	3.623317548
0.197570177	1.244621119	0.019544056	8.17113	3.618649965
0.197570677	1.244620885	0.019544696	8.17114	3.632228389
0.197571177	1.24462065	0.019545337	8.17115	3.636895972
0.197571677	1.244620415	0.019545978	8.17116	3.646231139
0.197571677	1.244620415	0.019546002	8.17117	3.660233888
0.197571677	1.244620415	0.019546025	8.17118	3.669144729
0.197572177	1.244620181	0.019546714	8.17121	3.683147479
0.197573177	1.244619711	0.019547971	8.17122	3.687815062
0.197573632	1.244619498	0.019548556	8.17123	3.692482645
0.197576132	1.244618325	0.019551663	8.17124	3.706061069
0.197578586	1.244617173	0.019554714	8.17125	3.715396235
0.197579586	1.244616704	0.019555972	8.17126	3.720063819

Les figures suivantes résument les résultats obtenus lors de l'application du modèle de Banthia et Sheng [34]

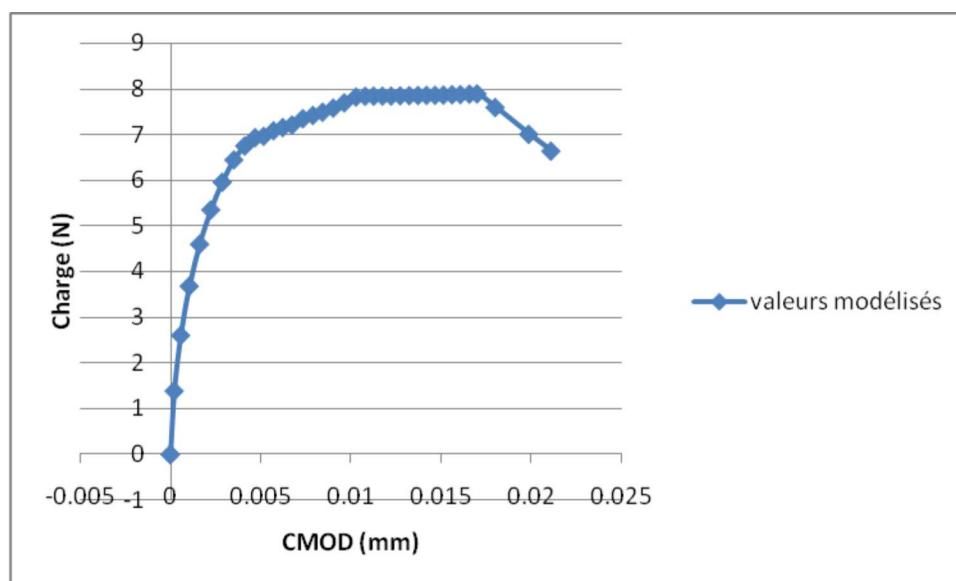


Figure (3.11): Estimation de la propagation des fissures du béton de fibre de palmier dattier (Modèle de Banthia & Sheng [34])

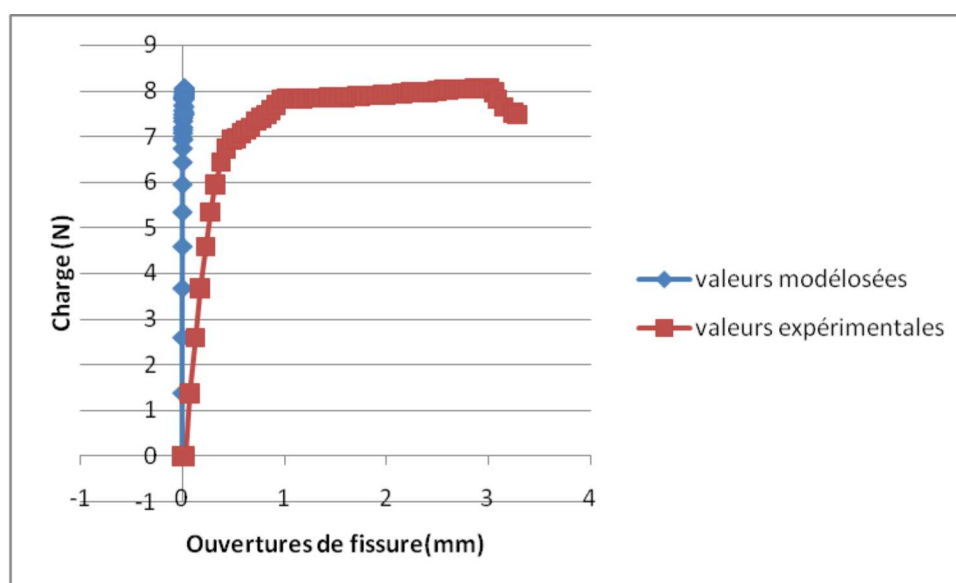


Figure (3.12): Comparaison entre les valeurs expérimentales et les valeurs modélisées de l'ouverture de fissures du béton de fibre de palmier dattier.

Remarque: d'après la figure (3.12) nous remarquons que dans la partie linéaire (comportement élastique) il ya une même variation entre les résultats modélisés que ceux expérimentaux par contre au delà de cette partie les valeurs modélisés n'interprètes pas bien les valeurs expérimentaux.

3.7 Modèle modifié de Banthia et Sheng[34]:

1^{er} partie: dans cette partie les changements effectués sont seulement que sur le coefficient constant de (6 à 900) donc le modèle modifier de Banthia et Sheng[34] sera:

$$\text{CMOD} = 900 \sigma a / E V_1(\alpha(a)).$$

Les résultats sont illustrés par le diagramme (3.15)

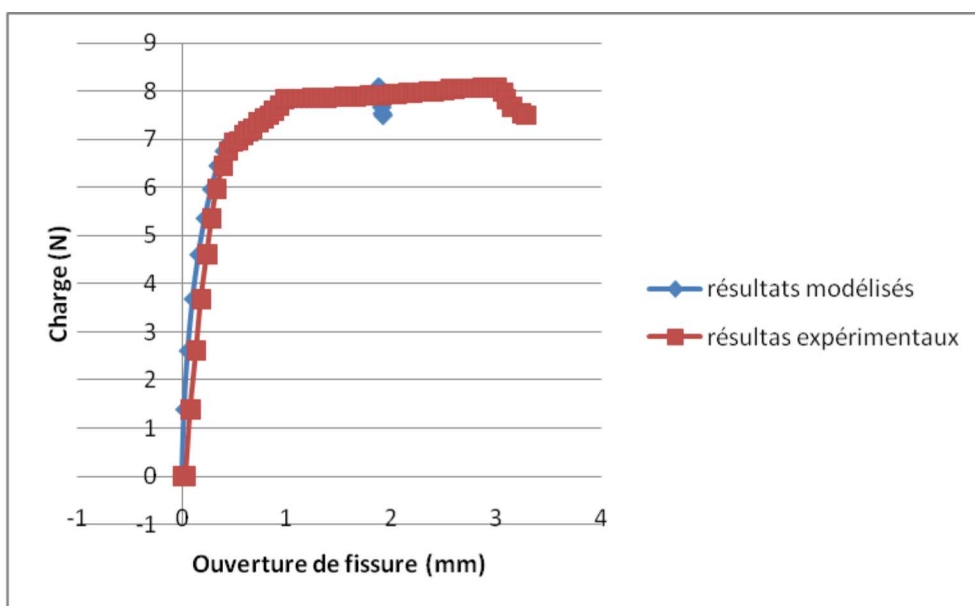


Figure (3.13): Comparaison entre les valeurs expérimentales et les valeurs modélisées de l'ouverture de fissures du béton de fibre de palmier dattier (modèle modifier).

Les mêmes remarques sont constatées que le diagramme (3.14).

2^{ème} partie: dans cette partie nous avons ajoutés au modèle le terme de $(1.75 * \alpha^2(a))$ et en introduisant les caractéristiques propres au béton de fibre de palmier dattier V_f , l et d .

Les figures (3.16) (3.17) et le tableau (3.16), donnent les résultats de l'application du modèle de Banthia & Sheng [34] modifié.

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

Tableau (3.16): Résultats du calcul d'ouverture de fissure (CMOD) pour fibre de palmier dattier.

$\alpha(a)=a+d'/d+d'$	$V_1[\alpha(a)]=0.8-1.7\alpha(a)+2.4\alpha^2(a)+0.66/(1-\alpha^2(a))$	$CMOD=1.75*(4v_f(l/d)\sigma_a/EV_1(\alpha(a))+\alpha^2(a))$	Charge (N)	Ouverture de fissure (mm)
0.5	1.045	0	0	0
0.182373191	1.252496345	0.058306385	0.0067	0.032248757
0.182823736	1.252241524	0.096583046	1.3886	0.078075937
0.1832532	1.251999837	0.160722279	2.60396	0.13366261
0.183695864	1.25175196	0.247673175	3.68102	0.179489791
0.184131927	1.251509006	0.349719199	4.59808	0.235076463
0.184568336	1.251267081	0.461371285	5.35104	0.280903644
0.184987055	1.251036111	0.57519657	5.95548	0.32715515
0.185403114	1.250807722	0.690903068	6.4424	0.386985081
0.185830845	1.250574084	0.799932189	6.74678	0.43790417
0.18626425	1.250338545	0.902601536	6.93086	0.488398934
0.186697132	1.250104493	0.988782468	6.95904	0.53465044
0.187121405	1.249876264	1.087551889	7.08066	0.58556953
0.187539632	1.249652419	1.180048246	7.15156	0.626729127
0.18796245	1.249427259	1.272594068	7.20748	0.672980634
0.188387723	1.249201951	1.381371071	7.34364	0.728142981
0.188813995	1.24897728	1.481237637	7.4154	0.783729654
0.189222041	1.24876331	1.57914509	7.4876	0.829556834
0.189646086	1.248542084	1.685694656	7.57692	0.875808341
0.190057359	1.248328627	1.797081269	7.6903	0.926303104
0.190469268	1.24811593	1.914892564	7.8193	0.977222194
0.190876223	1.247906864	2.006394121	7.83468	1.027716958
0.191273268	1.247703916	2.092592364	7.83642	1.087971214
0.191681268	1.247496426	2.181104353	7.83772	1.138465978
0.192084905	1.24729221	2.268487972	7.83816	1.184717484
0.192501995	1.247082289	2.360463545	7.84422	1.235212248
0.19291645	1.246874805	2.451512674	7.84856	1.295042178
0.193324041	1.246671837	2.540721466	7.85138	1.331958518
0.193714814	1.246478249	2.626587234	7.85486	1.382877607

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.19410695	1.246284975	2.712552245	7.85746	1.442707538
0.194493723	1.246095317	2.797509428	7.86028	1.497869885
0.194882359	1.245905716	2.885126287	7.86916	1.544121391
0.195266859	1.245719092	2.969577923	7.87132	1.595040481
0.19567395	1.245522543	3.061990107	7.8813	1.659537994
0.196014677	1.245358858	3.138215947	7.88628	1.714700341
0.196388495	1.245180138	3.220748496	7.88868	1.751616681
0.196745541	1.245010279	3.30447209	7.90276	1.793200604
0.197034905	1.244873223	3.36868002	7.90492	1.843695368
0.197203268	1.244793728	3.405994377	7.90602	1.903949624
0.197307995	1.244744371	3.431778123	7.91274	1.963779554
0.197365768	1.244717174	3.450820529	7.9277	2.005363477
0.197410177	1.244696282	3.461032277	7.92878	2.055858241
0.197448723	1.24467816	3.472936364	7.9368	2.111020588
0.197458041	1.24467378	3.479826288	7.94808	2.157272095
0.197461041	1.24467237	3.484110073	7.95652	2.203523601
0.197501541	1.244653342	3.498268366	7.96868	2.249350782
0.197504995	1.24465172	3.499030748	7.96868	2.304937454
0.197515359	1.244646852	3.503084256	7.97278	2.360099801
0.197534132	1.244638038	3.510317749	7.97994	2.411018891
0.197536132	1.244637099	3.517308274	7.99512	2.461513655
0.197536132	1.244637099	3.517963988	7.99664	2.503097578
0.197536632	1.244636864	3.535003043	8.03588	2.567595091
0.197538586	1.244635947	3.535438027	8.03588	2.609179015
0.197540541	1.244635029	3.539333744	8.0439	2.673676528
0.197544041	1.244633386	3.540113446	8.0439	2.710592868
0.197545995	1.244632468	3.543639574	8.05106	2.761087632
0.197545995	1.244632468	3.543639574	8.05106	2.812006721
0.197546495	1.244632234	3.546185718	8.0567	2.867169068
0.197546495	1.244632234	3.546185718	8.0567	2.918088158
0.197546495	1.244632234	3.550113979	8.0658	2.963915339
0.197546995	1.244631999	3.550225668	8.0658	3.010166845

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.197546995	1.244631999	3.552746742	8.07164	3.065329192
0.19754845	1.244631316	3.55307189	8.07164	3.097577949
0.19754845	1.244631316	3.554108044	8.07404	3.125583448
0.19754845	1.244631316	3.554108044	8.07404	3.148497038
0.19754895	1.244631082	3.5664814	8.10244	3.162075462
0.19754895	1.244631082	3.5664814	8.10244	3.166743045
0.19754895	1.244631082	3.583794368	8.14254	3.185413378
0.19754895	1.244631082	3.583794368	8.14254	3.198991802
0.19754995	1.244630612	3.584961128	8.14472	3.198991802
0.19754995	1.244630612	3.584961128	8.14472	3.208326968
0.19754995	1.244630612	3.589546552	8.15534	3.226572976
0.19754995	1.244630612	3.589546552	8.15534	3.226572976
0.19755095	1.244630143	3.595195811	8.1679	3.240575725
0.19755145	1.244629908	3.595308909	8.1679	3.245243308
0.19755145	1.244629908	3.596526624	8.17072	3.258821732
0.19755145	1.244629908	3.596526624	8.17072	3.272824482
0.197553405	1.244628991	3.596973208	8.17073	3.282159648
0.197554859	1.244628308	3.597302336	8.17073	3.291494815
0.197556359	1.244627604	3.597646069	8.17074	3.305073239
0.197556859	1.244627369	3.597759207	8.17074	3.323743571
0.197557359	1.244627135	3.597876665	8.17075	3.328411155
0.197557359	1.244627135	3.597880985	8.17076	3.341989579
0.197557359	1.244627135	3.597885304	8.17077	3.337321995
0.197557859	1.2446269	3.598002763	8.17078	3.360659911
0.197557859	1.2446269	3.598007083	8.17079	3.378905918
0.197557859	1.2446269	3.598015722	8.17081	3.388241085
0.197557859	1.2446269	3.598020042	8.17082	3.388241085
0.197558359	1.244626665	3.598137502	8.17083	3.392908668
0.197558359	1.244626665	3.598141822	8.17084	3.415822258
0.197558359	1.244626665	3.598146142	8.17085	3.415822258
0.197558814	1.244626452	3.598253316	8.17086	3.425157425
0.197559314	1.244626217	3.598370777	8.17087	3.452738598

CHAPITRE III: Etude et modélisation des déformations des bétons de fibres renforcés par de fibre de palmier dattier.

0.197559814	1.244625983	3.598488237	8.17088	3.457406182
0.197559814	1.244625983	3.598501199	8.17091	3.461649439
0.197559814	1.244625983	3.598505519	8.17092	3.470984605
0.197561314	1.244625279	3.598849263	8.17093	3.480319772
0.197561314	1.244625279	3.598853583	8.17094	3.494322522
0.197561814	1.244625044	3.598971046	8.17095	3.494322522
0.197562314	1.244624809	3.599088508	8.17096	3.503233362
0.197562314	1.244624809	3.599092829	8.17097	3.507900945
0.197563268	1.244624361	3.599313149	8.17098	3.526571278
0.197563268	1.244624361	3.59931747	8.17099	3.531238861
0.197564268	1.244623892	3.599552398	8.17101	3.531238861
0.197564768	1.244623657	3.599669862	8.17102	3.535482119
0.197564768	1.244623657	3.599674184	8.17103	3.549484869
0.197564768	1.244623657	3.599678505	8.17104	3.563487618
0.197565268	1.244623423	3.59979597	8.17105	3.572398459
0.197566223	1.244622975	3.600016293	8.17106	3.572398459
0.197566723	1.24462274	3.600133759	8.17107	3.581733625
0.197567723	1.244622271	3.600364368	8.17108	3.599979632
0.197567723	1.244622271	3.600368691	8.17109	3.591068792
0.197569677	1.244621354	3.600819627	8.17111	3.599979632
0.197570177	1.244621119	3.600937094	8.17112	3.623317548
0.197570177	1.244621119	3.600941418	8.17113	3.618649965
0.197570677	1.244620885	3.601058886	8.17114	3.632228389
0.197571177	1.24462065	3.601176354	8.17115	3.636895972
0.197571677	1.244620415	3.601293823	8.17116	3.646231139
0.197571677	1.244620415	3.601298146	8.17117	3.660233888
0.197571677	1.244620415	3.60130247	8.17118	3.669144729
0.197572177	1.244620181	3.601428587	8.17121	3.683147479
0.197573177	1.244619711	3.601659203	8.17122	3.687815062
0.197573632	1.244619498	3.601766387	8.17123	3.692482645
0.197576132	1.244618325	3.602336443	8.17124	3.706061069
0.197578586	1.244617173	3.602896216	8.17125	3.715396235

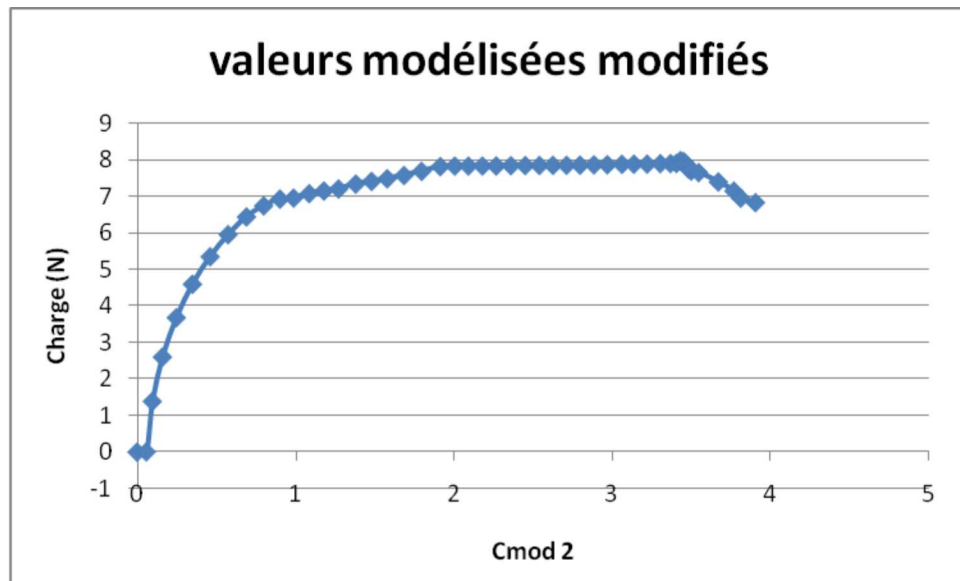


Figure (3.16): Estimation de la propagation des fissures du béton de fibre de palmier dattier (Modèle modifié de Banthia & Sheng [34])

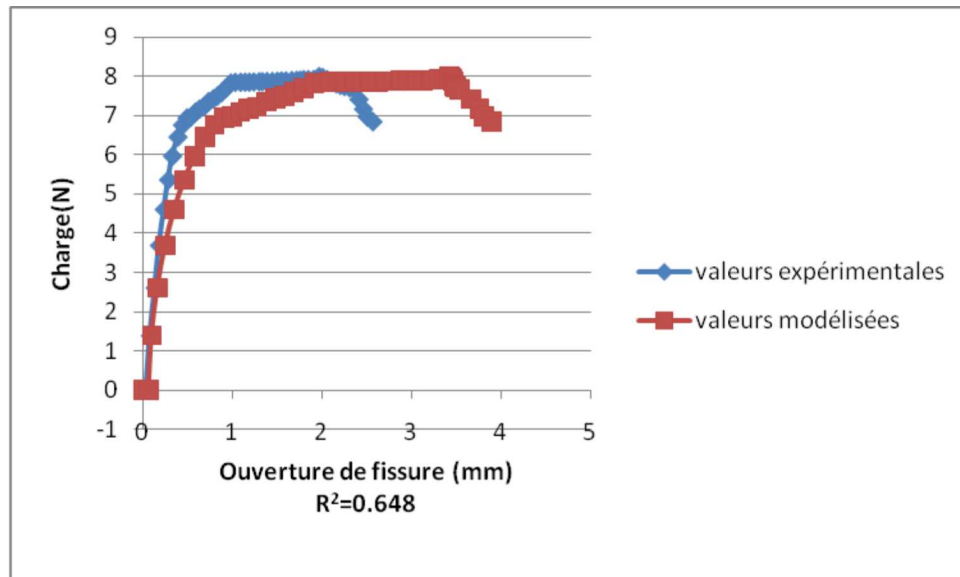


Figure (3.17): Comparaison entre les valeurs expérimentales avec ceux modélisés

Discussion des résultats:

Le modèle modifier montre son efficacité Dans le cas de béton de fibre de palmier dattier étudié vis-à vis l'ouverture de fissure car l'allure du diagramme obtenu est la même que les résultats expérimentaux, l'application du modèle de Banthia et Sheng [34] nous a donné une corrélation acceptable entre les données expérimentales et les données modélisées dans la partie linéaire du diagramme mais malheureusement se n'est pas le cas pour la partie plastique voir figure (3.13) se qui nous a conduit à adapter un modèle obtenu après modification du modèle de Banthia et Sheng [34] tout en introduisant les caractéristiques propres au béton de fibre de palmier dattier, il faut noter qu'en général le modèle proposé donne une bonne corrélation($R^2=0.648$) entre les valeurs expérimentaux avec ceux modélisés .

3.6 Conclusion:

La conclusion suivante est donnée :

Dans la première partie, et après l'exposition des données expérimentales nous avons essayé dans un premier temps de les modélisés par un modèle empirique celui de Swamy mais ce modèle n'a pas donné des résultats acceptable ensuite nous avons essayé de faire une modélisation mathématique:

$$Y=1/EXP (-0,10049X^2+0,944X)$$

Mais l'erreur a été très grande, varie de l'ordre: 10^9 - 10^{37} . Cela nous a conduit a ne pas l'accepter et à l'aide du logiciel MATLAB nous avons proposer une équation mathématique basée sur nos données statiques.

Suivant les résultats nous constatons que le modèle statique a donné des résultats plus proche des résultats expérimentaux car dans les figures (3.6), (3.7) (3.8), (3.9) et (3.10) des diagrammes sont presque confondu entre la déflexion de 0 à 0.7mm ce que signifie que l'erreur est très petite par contre après 0.7mm il ya une petite différence entre les valeurs modélisées et les valeurs expérimentaux, nous notons la possibilité d'utiliser ce modèle car une bonne corrélation est remarqué entre le modèle et les donnés expérimentales. Toute en introduisant les propriétés propres des bétons de fibre qui sont: V_f , l et d.

Deuxième partie:

- Des essais expérimentaux de flexion 4 points ont été effectués pour étudier l'ouverture de fissure du béton de fibre de palmier dattier.

- Pour la modélisation d'ouverture de fissure nous avons adopté le modèle de Banthia et Sheng [34] modifié grâce aux résultats satisfaisantes obtenus lors de la comparaison entre les résultats expérimentaux et celle modélisée.

Le modèle montre son efficacité dans le cas de béton de fibre de palmier dattier étudié vis-à-vis l'ouverture de fissure, l'application du modèle de Banthia et Sheng [34] modifié nous a donné de bonne corrélation entre les données expérimentales et les données modélisées figure (3.17) se qui nous a conduite à l'adapter.

Conclusion générale

Conclusion générale:

A l'issu de cette étude la conclusion suivante est citée:

- Le monde de construction s'oriente plus à l'utilisation des fibres dans le renforcement des bétons et notamment les fibres végétales dans les pays qui possèdent ce type de fibre, pour des raisons économiques et de santé.
- dans la littérature nous trouvons plusieurs travaux de recherche sur la modélisation des béton de fibre métallique mais peu de travaux sont consacrés pour les fibres végétales. Nous citons les modèles utilisés pour l'adaptation a nos fibres végétales de palmier dattier:
- Le modèle de: Fonction mathématique et modèle statique.
- Pour la modélisation des résultats expérimentaux propre à la résistance de flexion des bétons renforcés par des fibres de palmier dattier en fonction de type de cure et en fonction du volume et diamètre des fibres, nous avons suivis les modèles suivants:

a) Modèle de Swamy: $\sigma_f = 0.95\sigma_{mf}(1-v_f) - 3.41v_f(l/d)$

Nous avons introduis les paramètres physiques des béton de fibre de palmier. L'application de ce modèle n'a pas donner une bonne représentation de nos résultats.

b) Proposition d'un modèle mathématique: nous avons essayé plusieurs fonctions

mathématiques mais nous avons retenus celle de:

$$Y = 1 / \text{EXP} (-0,10049X^2 + 0,944X)$$

et le calcul des coefficients (a) et (b) est fait par la méthode des moindres carré, le calcul a montré que l'erreur entre les résultats expérimentaux et du modélisés sont très grande de l'ordre 10^9 donc nous avons rejeté ce modèle.

c) Modèle empirique basé sur des données statiques.

Le traitement de nos résultats expérimentaux et suite à plusieurs tentatives nous avons proposés le modèle suivant:

Conclusion générale

$$F = \sigma_{mf}(0.01 - v_f)X^6 + \sigma_{mf}(0.1 - v_f)X^5 + \sigma_{mf}(0.015 - v_f)(l/d)X^4 + 5\sigma_{mf}(0.1 - v_f)X^3 + \sigma_{mf}(0.015 - v_f)(l/d)X^2 + 0.5\sigma_{mf}(0.1 - v_f)X$$

De bonnes corrélations sont obtenues par ce modèle pratique, les valeurs modélisées s'approchent plus de celles expérimentales. Nous avons adopté ce modèle.

Pour la partie ouverture de fissure:

Le béton retenu pour cet essai est le CE14-2% 60 puisque c'est lui qui présente les meilleurs résultats en terme de ductilité après première fissuration.

Pour la modélisation de nos résultats expérimentaux nous avons modifié le modèle de Banthia et Sengh comme suit:

$$CMOD = 1.75 * (4v_f(l/d)\sigma_a / E V_1(\alpha(a)) + \alpha^2(a))$$

de bonnes corrélations sont obtenues.

Recommandations et perspectives.

RECOMMANDATIONS ET PERSPECTIVES

D'après les résultats obtenus, la présente étude peut être une étape préliminaire pour la caractérisation des bétons de fibre et ceux renforcés par des fibres végétales localement produits.

Il est recommandé de compléter ce travail par l'examinations d'autre comportements mécanique et phénomènes tel que:

- ✓ Intensifier les efforts pour des études complémentaires avec une grande précision, sur les paramètres influençant sur la flexion des béton de fibre de palmier dattier. pour avoir une bonne modélisation des résultats.
- ✓ Avoir une formule numérique pour la fonction pour vérifier la validité des formules empirique assez poussé.
- ✓ Poursuivre cet axe de recherche par une comparaison de nos résultats avec d'autres chercheurs afin d'obtenir une bonne validation de nos modèles.

Enfin nous souhaitons que nos résultats obtenus soient encourageants pour estimer la flexion des bétons de fibre de palmier dattier à partir des données expérimentales participera d'une façon ou une autre à la valorisation de l'utilisation des bétons de fibre de palmier dattier dans le domaine de construction.

BIBLIOGRAPHIE

- [1] MERKHOUI A. "Contribution à l'étude des propriétés et déformation du béton renforcé par les fibres du palmier dattier en climat sec et chaud" mémoire de magister, Université de Ouargla, 2004, PP69.
- [2] DJOUDI A. "Caractérisation structurale et rhéologique des bétons de plâtre et leurs renforcements par les fibres végétales du palmier dattier", Mémoire de Magistère, Université de Laghouat, 2001.
- [3] ABANI S. "Caractérisation et durabilité des bétons renforcés de fibres végétales de palmier dattier" mémoire de Magister, Université de Ouargla, 2003, pp67
- [4] DEBICKI G. "Contribution à l'étude du rôle de fibres dispersées anisotropiquement dans le mortier de ciment sur les lois de comportement, les critères résistance et la fissuration du matériaux", Thèse de Doctorat d'Etat Es-Sciences, INSA de Lyon, France, 1998.
- [5] KRIKER A. "Caractérisation des fibres de palmier dattier et propriétés des bétons et mortiers renforcés par ces fibre en climat chaud et sec Thèse de Doctorat d'Etat. ENP Alger 2005, PP 166.
- [6] KHENFER M.M. "plâtre renforcé de fibres cellulosiques", matériels and structures, vol. 32, pp. 52-58, january-february 1999.
- [7] NILSON I. "Reinforced concrete with sisal and other vegetable fibers", Swedish council for building research, document d14, 1975.

BIBLIOGRAPHIE

- [8] AYYAR T.S.R and MRIHAGALLA P.K. "Elephant grass fibers as reinforcing fiber ", magazine of concrete research, vol.28, N°96,pp.162-167, Septembre1976.
- [9] COOK D.J."Concrete and cement composites reinforced with natural fibres", proc. Symp. On fibrous concrete. Construction press ltd., Lancaster,pp.99-114, April.1980.
- [10]BLEDZKI A.K and GASSAN J. "Composite reinforced with cellulose based fibers", Progressa in polymère science, 24, pp.221-274, 1999.
- [11]COUTTS R.S.P., "Flax fiber as a reinforced in cement mortar", the international journal of cement composites and lightweight concrete, vol.5, N°4, pp. 257-262, August 1983.
- [12]KRIKER. A, DEBICKI. G, BALI. A, KHENFED M.M, and CHABANNET. M. "Mechanical properties of date palm fibers and reinforced date palm fiber concrete in hot-dry climate". Cements Concrete Composite 2005;27:554-564.
- [13]SWAMY R.N. "Properties of high-strength concrete", Cement, concrete and aggregates, vol.8,N°1,pp.33-41,1986.
- [14]AZIZ M.A. PARAMSIVAM P. and LEE S.L "Prospect for Natural Fiber Swedish Council for building research, document d 1975
- [15]SCHRADER. E. K "le béton armé de fibre" Comité des Etats-Unis, 1982
- [16]LARRARD F. "construire en béton: l'essentiel sur les matériaux "LCPC, Paris2002

BIBLIOGRAPHIE

- [17] BICH HOP . "Influence du procédé de mise en œuvre sur l'anisotropie des bétons de fibres ultra haute performance". Rapport de stage de DEA en Génie Civil, Université CLAUDE BERNARD-LYON1 .
- [18] ROSSI P, HARROUCHE N et LEMAOU F. "Comportement mécanique des béton de fibres métalliques utilisées dans les structures en béton armé et précontrainte". Annale de L'ITP, N°479, Déc 1989.
- [19] DAS GUPTA N.C, PARAMASIVAM, P and LEE S.L . "Mechanical Properties of Coir Reinforced Concrete Paste Composites" , Housing Science, Pergamon Press INC., Vol.2, N°5, pp.391-406, London, 1978.
- [20] BALUCH H., ZIRABA Y.N. et AZAD A., "fracture Characteristic of Sisal Fibre Reinforced Concrete", The International Journal of Cement Composite and Lightweight Concrete, Vol,9, N°3, August 1987.
- [21] DAVENNE L, SAOURIDIS C et PIAU MJ. " Un code de calcul pour la prévision du comportement de structures endommageables en béton, en béton armé, ou en béton de fibres", Annales d'ITBTP, N° 478, Nov.1989.
- [22] LIM T.Y, PARAMSIVAM P and LEE S.L. "Bending behavior of steel fiber concrete beams", A.C.I., Structural Journal, Nov-Déc 1987.

BIBLIOGRAPHIE

- [23] BONZEL J. and SCHMIDT L. "Distribution and orientation of steel fibers in concrete and their influence on the characteristics of steel fiber concrete", RILEM, Sym, 1986.
- [24] VAN GYSEL A, TAERWE L. "Principe de base d'une méthode pour calculer le comportement après fissuration des béton renforcés de fibres métalliques soumis à la flexion", Colloque Francophone, Bethune , (Pas-de-Calais), 4-5 Guillet, 1994
- [25] HANNANT D.J. "Fibre cement and fibre concret" Edition GHN WILLEY & SONS, USA, 1978.
- [26] HAFSI A. "contribution à la modélisation numérique et expérimentales du gonflement des argiles non saturée, application aux argiles d'In Amenas et Touggourt", Thèse de magistère ENTP Alger, 1996
- [27] ROSSI P. "Les bétons de fibres métalliques. "Article du Presses de L'ENPC, 1988
- [28] TAYFUN UYGUNOĞLU. "Investigation of microstructure and flexural behavior of steel-fiber reinforced concrete". Published online in materials and Structures: 4 April 2008.
- [29] CAZANOVA P. "Bétons renforcés de fibres métalliques : du matériau .Thèse de l'Ecole Nationale des Ponts et Chaussées, 1995.

BIBLIOGRAPHIE

- [30] HASSAN K.E. ROBERY P.C. and AL-ALAWI, L. "Effect of hot-dry curing environment on the intrinsic properties of repair materials", cement and concrete, composites,22,pp.453-458,2000.
- [31] MAZARS J. "Nouveaux concepts dans la modélisation du comportement du béton composite : application au calcul des structures." ANNALES du ITBTP, N°461, série béton 252, Janvier 1988.
- [32]SWAMY R.N. "New reinforced concrete" , Concrete Technology and design,
- [33] ANDONIAN R, MAI Y.W et Cotterell B. "Strength and fracture properties of cellulose fibre reinforced cement composites , Vol.1, 1979 .
- [34] BANTHIA et SHENG. " Fracture Toughness of Micro-Fiber Reinforced Cement Composites.» , cement and concrete 18(1996) pp257-258-258-267.
- [35]NFP 18-409, "Béton avec fibres métalliques-Essai de Flexion", AFNOR, France, p.8,1993.
- [36] BARON LESAGE. "Etude expérimentale de la mise en place du béton frais" Rapport de recherche N°37, LCPC,1974.



Photo1: Presse universelle «INSTRON» utilisée pour l'essai de flexion sur béton.

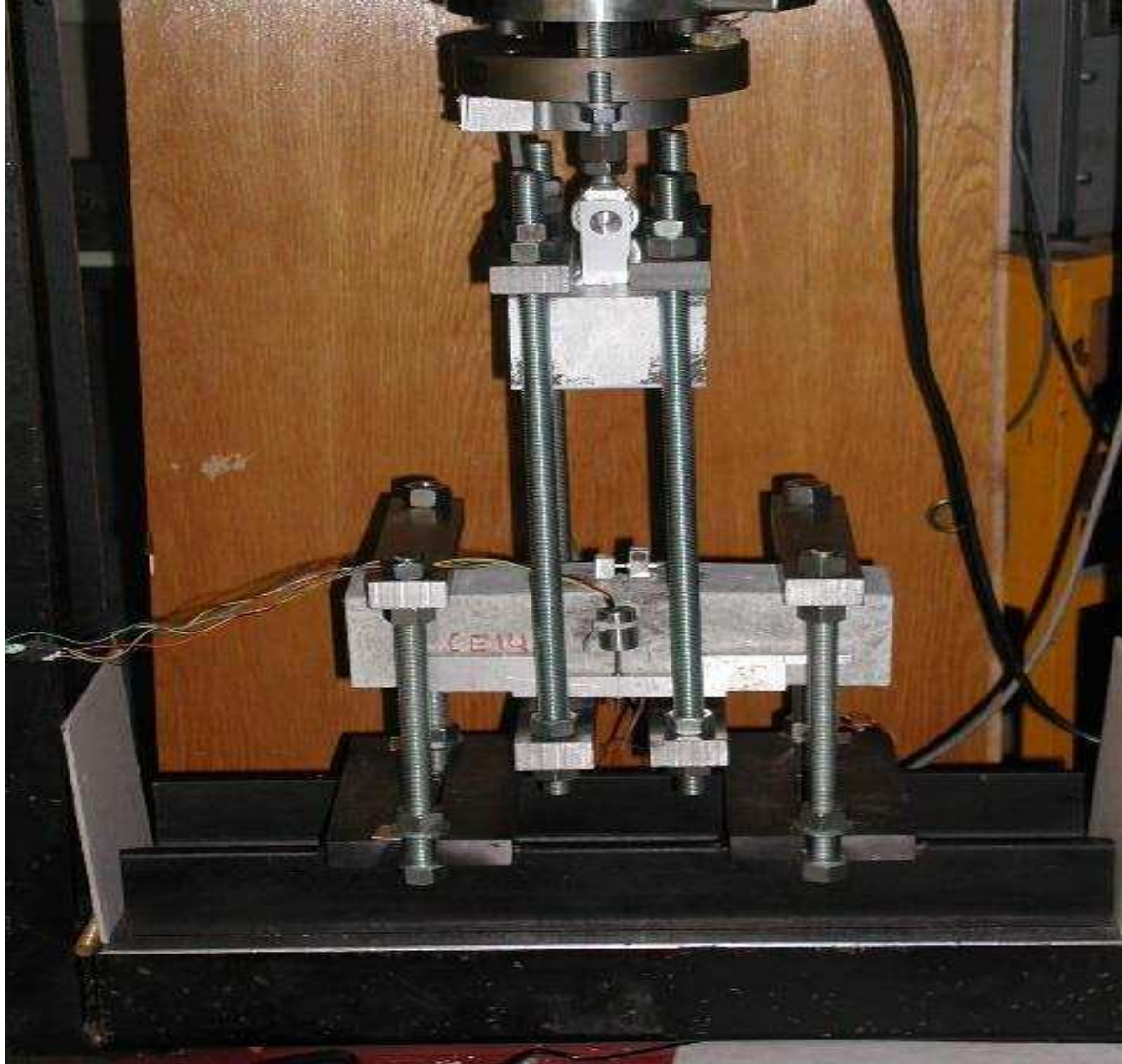


Photo 2: Dispositif expérimental de flexion et ouverture avant chargement.



Photo3 : La réalisation d'une rainure au milieu des éprouvettes.

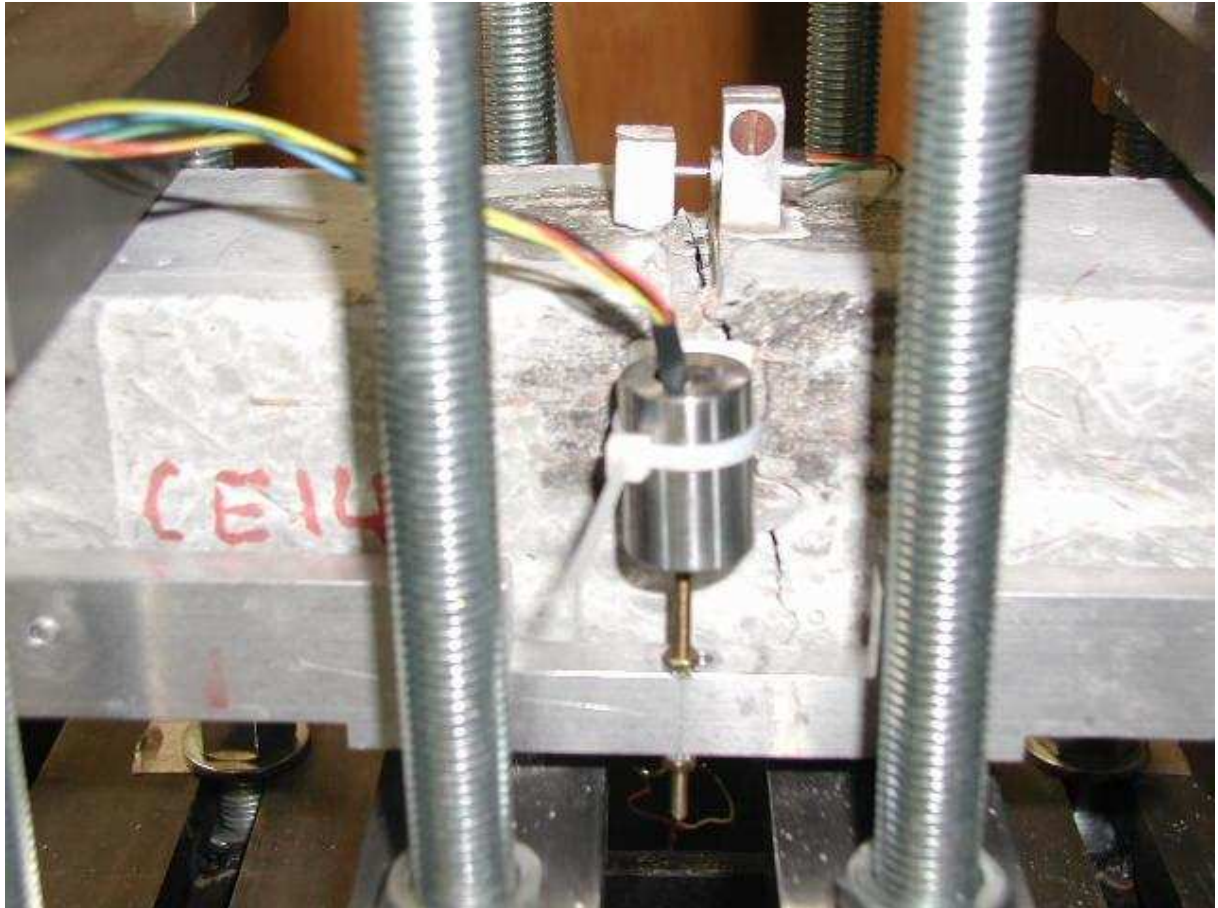


Photo 4 : Deux capteurs de déplacement (LVTD) pour mesurer la flèche nette et un LVTD pour mesurer l'ouverture de fissure.

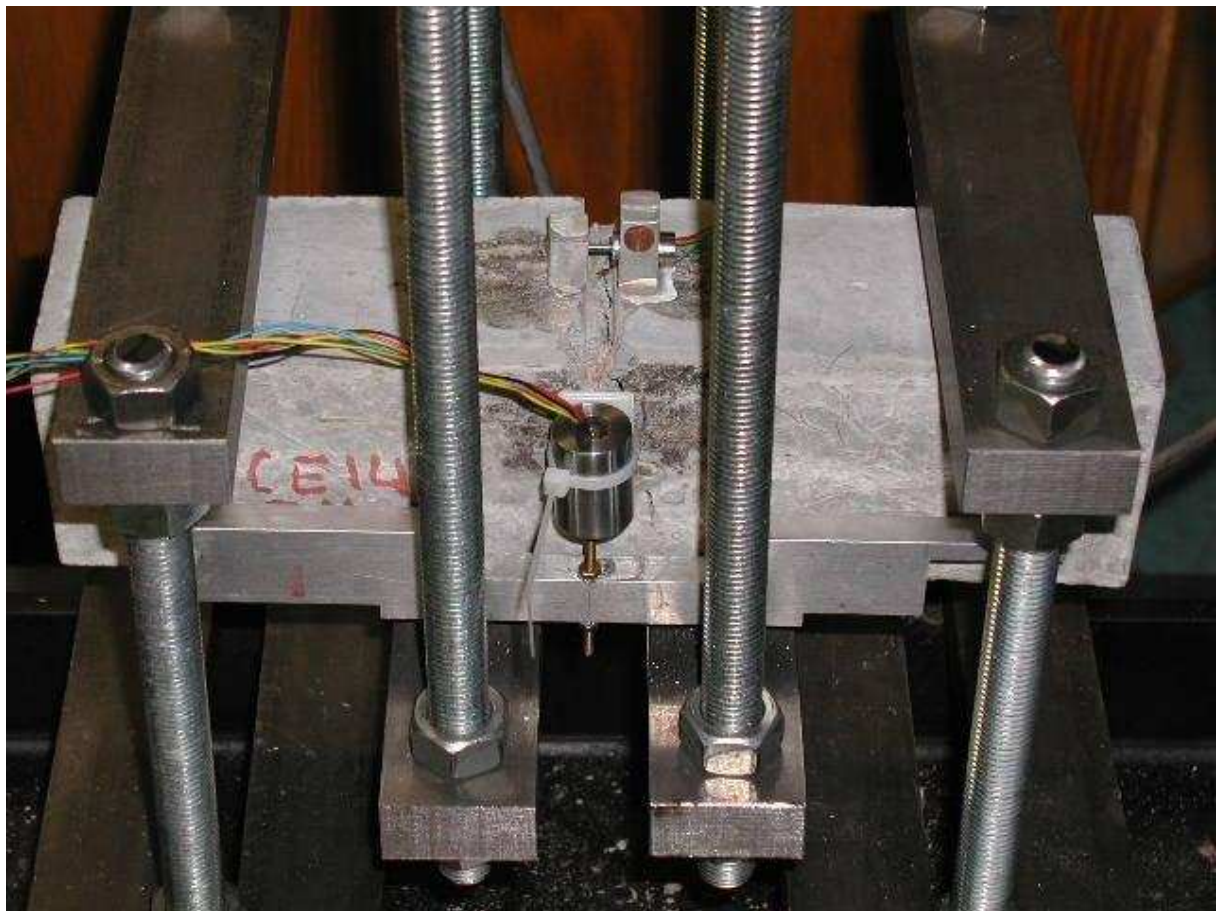


Photo 5 : Deux capteurs de déplacement (LVTD) pour mesurer la flèche nette.

