

# Influence de l'emplacement des lamelles en fibre de carbone sur le comportement d'une poutre en béton

Y.RIYAD<sup>1</sup>, B.KISSI<sup>2</sup>, I.MRANI<sup>1</sup>

1. Université Chouaib Doukkali, FS El-jadida, Maroc  
Laboratoire de Mécanique et Energétique (LME)  
[rd.yahya@yahoo.com](mailto:rd.yahya@yahoo.com)

2. Université Hassan II, ENSAM Casablanca, Maroc  
Equipe de modélisation et simulation des structures en Génie Civil (M2SGC)

## Résumé

Bien qu'appelé « pierre artificielle », le béton est un matériau vivant qui se modifie tout au long de sa vie utile et malgré tous ses avantages, le béton reste un matériau fragile, ayant une faible résistance à la traction ce qui caractérise sa fragilité sous les effets des efforts de traction. C'est pour ces raisons que la réhabilitation à fait l'objet d'une recherche extensive en raison d'améliorer le comportement vis à vis à la traction afin de retarder, de limiter ou d'éviter la rupture quasi-fragile. Un procédé constructif consistant à l'application de renfort externe par collage de matériaux composites s'est particulièrement développé ces dernières années et paraît prometteur pour le renforcement des bâtiments. Dans cet article nous allons présenter les résultats d'une étude numérique effectuée sur Abaqus, qui a pour objectif de comparer deux types de renforcement, la première qui est le collage des lamelles des fibres de carbone à l'extérieur et la deuxième est d'utiliser ce type de lamelles à l'intérieur de notre poutre afin d'étudier l'influence de l'emplacement du renforcement sur le comportement mécanique de la poutre. Les différents résultats obtenus ont permis de constater un gain considérable de la capacité en résistance et en déformation des sections renforcées sans augmentation considérable du poids des éléments réhabilités.

**Mots clefs :** Béton, Renforcement, poutre, Abaqus, PRFC

## 1. Introduction

Un ouvrage de génie civil est dimensionné pour une durée de vie de cinquante ans à cent ans en moyenne suivant sa fonction ou son importance. Durant une telle période, on peut s'attendre à des désordres au niveau des structures qui sont souvent dus aux dégradations des matériaux employés, ou au changement de fonctionnalité du bâti (l'accroissement de surcharges d'exploitation).

La détérioration au cours du temps des matériaux, notamment du béton armé, ou la modification structurelle des bâtiments impliquent un besoin de développer des technologies de renforcement efficaces. Le renforcement d'une structure en béton consiste à améliorer les caractéristiques mécaniques des éléments qui la composent, de manière à ce qu'elle offre une meilleure solidité aussi bien en état de service qu'en état de résistances ultimes. Parmi les techniques disponibles,

l'une des plus efficaces pour les désordres structurels est la réparation de structures en béton armé dégradées par placage extérieur en acier. Toutefois, un inconvénient majeur lié à la difficulté de manipulation des plaques en acier compte tenu de leur poids, ainsi que les problèmes de corrosion limitent l'utilisation de cette méthode.

La méthode qui émerge ces dernières années est la technique de renforcement des structures par des matériaux composites, car le renfort avec des lamelles composites comporte de nombreux avantages. En effet, les lamelles sont cinq fois plus légères que l'acier, dix fois plus résistantes (donc plus optimisées), d'une faible épaisseur et d'une grande flexibilité (donc plus faciles à transporter). Quant à leur durabilité et à leur résistance, elles ne subissent pas de corrosion ni d'autres attaques chimiques ; elles offrent une meilleure résistance au feu et à la fatigue.

Le travail présenté consiste à faire une comparaison entre deux systèmes de renforcement, le premier est l'application d'un renfort externe par collage des lamelles de fibre de carbone sur une poutre en béton, et le deuxième sera un renforcement appliqué à l'intérieur de notre poutre par le même type de lamelle afin d'étudier l'influence de l'emplacement de ces lamelles sur le comportement des poutres en béton sous un chargement uniforme.

## 2. Matériaux Utilisés

### 2.1 Lamelles en fibres de carbone

Les matériaux composites sont fabriqués à l'aide de fibres de verre, de carbone ou d'aramides liées par une matrice. Les produits ainsi obtenus présentent des propriétés mécaniques proches de celles des fibres et garantissent une résistance chimique similaire à celle de la matrice.

Les caractéristiques mécaniques obtenues dépendent de plusieurs facteurs dont les plus importants sont le type et le volume des fibres, ainsi que leur orientation. Les lamelles présentent une structure hétérogène, similaire dans une certaine mesure à celle du bois: dans le sens transversal, leurs propriétés mécaniques sont médiocres, si bien que la direction des sollicitations doit impérativement répondre à celle des fibres. Le tableau 1 donne les caractéristiques des lamelles de fibre de carbone utilisées lors de notre étude.

Young's modulus	$E_{11}$ 235 GPa
Young's modulus	$E_{22}$ 17 GPa

Poisson's ratio	$\nu_{12}$ 0.32
Young's modulus	$G_{12}$ 4.5 GPa
Young's modulus	$G_{13}$ 4.5 GPa
Young's modulus	$G_{23}$ 2.5 GPa
Tensile failure stress	$X_{1t}$ 3900 MPa
Compressive failure stress	$X_{1c}$ 2400 MPa
Tensile failure stress	$X_{2t}$ 111 MPa
Compressive failure stress	$X_{2c}$ 290 MPa
Failure shear stress	$S_{12}$ 120 MPa

Tableau1. Propriétés des lamelles de fibre de carbone [1]

## 2.2 Béton

Le comportement du béton est très fortement hétérogène, c'est pourquoi un grand nombre d'études sur les ouvrages d'art négligent totalement le comportement plastique de béton en le considérant comme un matériau parfaitement élastique. Les modèles présentés dans cette partie considèrent que le béton est un matériau homogène puisque l'échelle des applications numériques est en général suffisamment élevée pour permettre cette hypothèse. Le modèle béton « DAMAGE PLASTICITY MODEL » [2] permet de gérer les problèmes de plasticité couplés à l'endommagement du béton non-visqueux.

Les propriétés du béton utilisé lors de cette étude sont résumés dans le tableau 2.

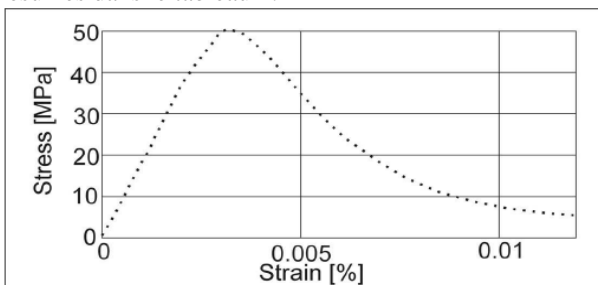


Fig 1. Test de compression uniaxial du béton classe B50

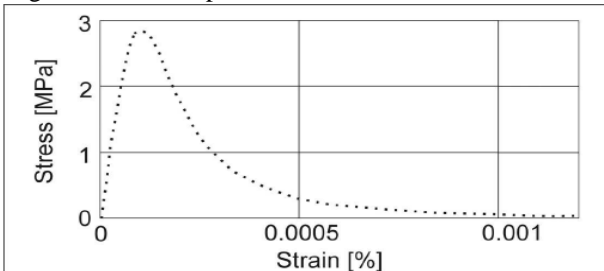


Fig 2. Test de traction uniaxial du béton classe B50

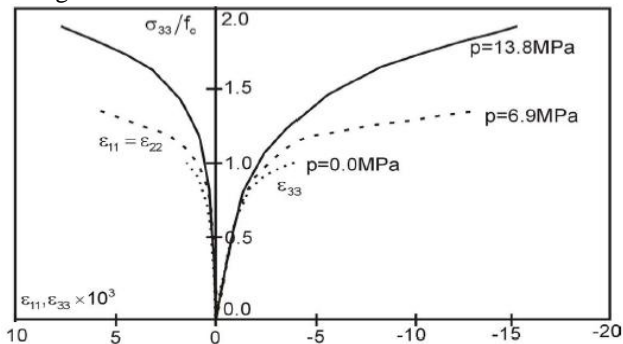


Fig 3. Test de compression triaxial du béton classe B50 [3]

Matériaux	Béton Classe B50
Module de Young E [MPa]	19700
Coefficient du Poisson	0.19

Tableau 2. Propriétés du béton B50 [4]

Angle de dilatation $\beta$	38°
Excentricité m	1
Rapport $f = \frac{f_{bc}}{f_c}$	1.12
$\gamma$	0.666

Tableau 3. Paramètre du model CDP [4]

Stress [MPa]	Crushing Strain	Damage
15	0	0
20.197804	0.0000747307	0
30.000609	0.0000988479	0
40.303781	0.000154123	0
50.007692	0.000761538	0
40.236090	0.002557559	0.195402
20.236090	0.005675431	0.596382
5.257557	0.011733119	0.894865

Tableau 4. Concrete Compression hardening and damage

Stress [MPa]	Cracking Strain	Damage
1.99893	0	0
2.842	0.00003333	0
1.86981	0.000160427	0.406411
0.862723	0.000279763	0.69638
0.226254	0.000684593	0.920389
0.056576	0.00108673	0.980093

Tableau 5. Concrete tension hardening and damage

## 3. Modélisation sur ABAQUS

Ces dernières années, l'analyse par simulation numérique représente l'outil de calcul le plus utilisé, pour vérifier la validité de certains choix de conception ainsi que leurs optimisations afin de garantir la sécurité et la durabilité pour l'utilisateur.

L'objet de cette simulation numérique est l'étude du comportement mécanique d'une poutre en béton, sa portée est de  $L=1\text{m}$  avec une hauteur de  $h=20\text{cm}$  et une largeur  $b=10\text{cm}$ , avec les différentes techniques de renforcement proposées. La lamelle en fibre de carbone sera d'une longueur de 95 cm, elle sera collée sur la face inférieure de la poutre pour la première technique, et pour la deuxième elle sera appliquée sur une hauteur de 5cm.

Afin de pouvoir valider la pertinence de la technique proposée, tous les éléments d'étude ont été soumis aux mêmes types de chargement qui est un chargement uniforme d'une force de  $0.35\text{N/mm}^2$ , concernant les conditions aux limites : les poutres sont encastées des deux côtés.

## 4. Résultat et Discussions

La figure 4 présente l'évolution des contraintes dans les trois types de poutre utilisées. On peut voir d'après la figure 4.a et 4.b que l'allure ou la flèche est un peu près la même pour la poutre non renforcée et celle renforcée par les fibres de carbone, cependant on peut voir sur la figure 4.c une allure qui est tout à fait différente, celle de la poutre renforcée de l'intérieur. En ce qui concerne la distribution des contraintes on peut voir qu'ils sont maximales au niveau des appuis pour la poutre non renforcée et celle renforcée par les lamelles collés, tandis que la poutre renforcée de l'intérieur on peut constater que l'effet de la lamelle en carbone se manifeste en premier lieu dans le renforcement des appuis car la valeur des contraintes au niveau de ces derniers à baisser d'une valeur de 16.89 MPa pour une poutre non

renforcée à une valeur de 6.25 MPa ce qui veut dire d'une valeur de 37%, la deuxième amélioration qu'on peut extraire de notre figure est la tension appliquée sur la face inférieure de notre poutre, on peut voir que les contraintes appliquées sur la face inférieure de la poutre renforcée de l'intérieur sont péjoratives par rapport au deux autres poutres.

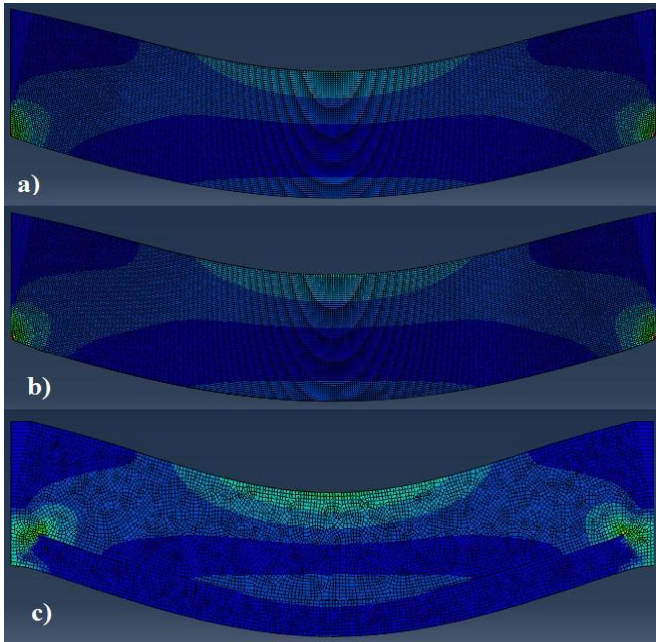


Fig4. Evolution des contraintes dans les trois poutres. a) poutre non renforcée. b) poutre renforcée par des lamelles collées. c) poutre renforcée de l'intérieur. L'objectif principal du renforcement des éléments en béton est l'amélioration de leur comportement suivant un chargement et la meilleure méthode d'étudier le comportement de ces éléments n'est autre que la courbe contrainte-déformation. La figure 9 trace les contraintes en fonction des déformations pour les trois types des poutres étudiées.

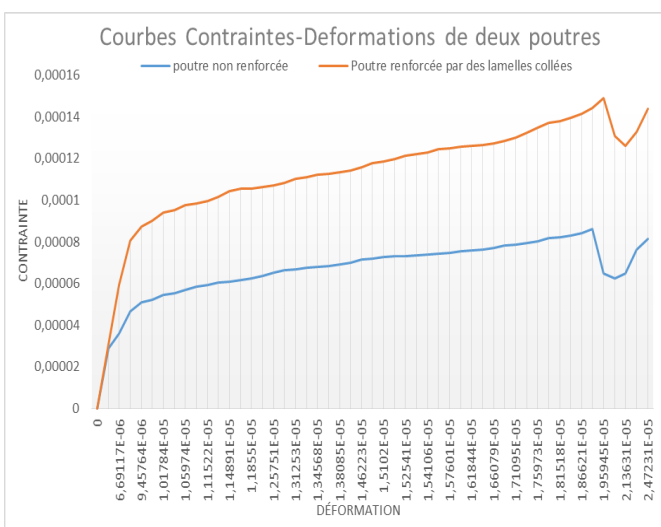


Fig5. Courbes Contraintes-Déformations pour deux poutres étudiées

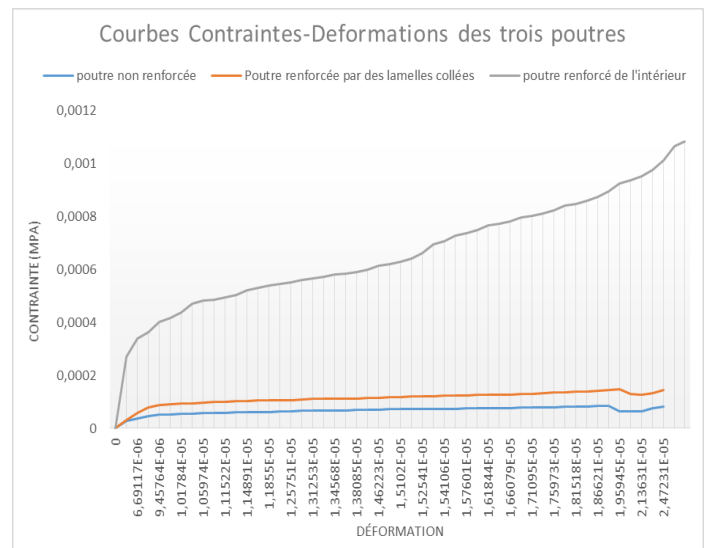


Fig6. Courbes Contraintes-Déformations pour les trois poutres étudiées

D'après les figures 5 & 6 on ne peut pas nier l'effet de ces deux méthodes utilisées pour le renforcement du comportement de notre poutre, car en comparant la zone élastique de la poutre non renforcée et celle renforcée par les lamelles collées on peut dire qu'elle est largement supérieure, la limite d'élasticité se borne dans les environs de 0.00003 MPa pour la poutre non renforcée par contre elle s'élève à 0.00008 MPa pour la deuxième poutre. En passant à la figure 6 on peut voir que l'effet de la deuxième technique celle du renforcement de l'intérieur est largement supérieur à celle du collage des lamelles car la limite d'élasticité a augmenté à une valeur de 0.0005 MPa, la chose qui montre l'efficacité de cette face à la technique de collage des lamelles en CFRP.

## 5. Conclusion

D'après cette étude, il s'est avéré que l'utilisation des lamelles en fibre de carbone à l'intérieur de l'élément à renforcer donne plus de résultat que de l'appliquer à l'extérieur en utilisant de la résine, car même si cette deuxième technique a fait preuve de son efficacité il y a un mode de rupture qui a été remarqué dernièrement c'est celui de la rupture de la couche d'adhésif entre le béton et le CFRP, ce qui veut dire même si le matériau utilisé se caractérise par un comportement qui est un peu près élastique on peut arriver à la rupture de notre élément sans avoir une rupture des lamelles. Cependant si on est placé dans un cas de réhabilitation, cette méthode sera sans aucun doute la meilleure.

## Références

- [1] Abaqus reference, *Projectile Impact on a Carbon Fiber Reinforced Plate*, Avril 2007
- [2] Hibbit, Karlsson & Sorensen, *Abaqus, Documentation Version 6.10*, HKS Inc Providence, RI, 2010
- [3] Green S.J, *Static constitutive relations for concrete*, AWFLTR-72-244, 1973
- [4] T. JANKOWIAK, *Identification of parameters of concrete damage plasticity constitutive model*, Foundations of civil and environmental engineering, No.6, 2005