

SIMULATION DE LA PART DE LA CONTRAINTE DE TRACTION REPRISE PAR LE TISSU DE FIBRE DE CARBONE

**ANDRIAMIHAJARIVO Sandratra Avo¹³, RAKOTOMALALA Jean Lalaina¹²³,
RAZAFINJATO Victor¹²³**

¹Ecole Doctorale Ingénierie et Géoscience

²Institut Supérieur de Technologie d'Antananarivo

³Ecole Supérieure Polytechnique d'Antananarivo-ESPA

Correspondant : sandratravogci@gmail.com

Résumé : Les tissus de fibre en matériau composite ont été conçus pour être utilisés dans le domaine de l'industrie aéronautique, les articles sportifs et loisir. Dans le cadre de notre recherche sur les matériaux fibreux, nous analysons leur performance dans le domaine de l'ingénierie des structures en béton armé. Nous étudions deux poutres chacune bi-appuyée. A titre de comparaison, l'une des 2 poutres est renforcée par le tissu. Dans la simulation, nous imposons une charge de départ appliquée au milieu de la poutre. Cette charge teste est augmentée progressivement jusqu'à atteindre certaines valeurs limites comme définit dans la norme Eurocode 2.

À travers les résultats, nous observons la participation du tissu de fibres à la reprise des contraintes de traction provenant de la charge appliquée. Nous voyons également qu'il est possible de tirer profit des propriétés du tissu de fibres dont l'objectif est de faire encaisser une grande charge à la poutre sans pour autant augmenter la section du béton et les sections d'armatures.

Mot clé : Section, Tissu, béton armé, fibre, portée, structure

I. INTRODUCTION

A Madagascar, l'architecture moderne attire de plus en plus les projeteurs immobiliers. Dans ce contexte, la tendance de l'architecte est de minimiser autant que possible le volume des éléments structuraux afin de donner plus de liberté de forme sur la conception architecturale du bâtiment. Dans l'ensemble, les éléments structuraux doivent être le plus transparent possible pour éviter toute entrave sur le rendu extérieur. Les architectes veulent s'acquérir le plus d'espace possible en éliminant les poteaux isolés qui sont les pièces maîtresses de l'ossature du bâtiment. En effet, non seulement ces éléments verticaux brisent le design intérieur de la pièce mais aussi ils constituent une certaine gêne de circulation des usagers. Dans le concept structurel, l'élimination de poteau engendre l'augmentation du moment fléchissant de la poutre de liaison. La descente des charges devient moins répartie. Par conséquent, les éléments structuraux encaissent plus de charge. Deux solutions s'imposent : soit l'augmentation du volume d'armature de renfort pour reprendre suffisamment les efforts de flexion, soit l'augmentation de la section de la poutre pour éviter l'apport de plus d'armature. Cependant, cette dernière option va dans le sens opposé de la vision de l'architecte. Dans les 2 cas, il y aura augmentation du poids de la structure. Ce qui est nous éloigne également de notre objectif. Nous élaborons donc une étude qui vise à garder la même section sans avoir recours à l'augmentation de l'armature, pour une grande charge et une grande portée. Dans cette perspective, nous avons proposé l'insertion du tissu de fibres pour contribuer à la reprise des efforts de traction déployés au niveau de la zone tendue de la section. La plateforme commerciale de fibre de carbone présente toute une panoplie de produits. Dans notre recherche, nous avons pris le modèle T300K.

II. MATERIELS ET METHODE

- **Description de la méthodologie :** La méthode consiste à développer la simulation de 2 poutres B1 et B2 dont l'objectif d'une comparaison. Chaque poutre fera 10 mètres de portée travaillant en flexion sous une série de charges variant de F_0 à F_{cr} . F_0 étant la charge initiale de 5 KN tandis que F_{cr} est la charge critique du matériau en service. La charge teste est ponctuellement appliquée à sa mi- portée, là où le tissu de fibre est placé au niveau de l'arase inférieure (figure 1). L'augmentation de la charge de F_0 à F_{cr} se fait avec un pas de 5KN. Le prédimensionnement de départ retenu pour la simulation est : base $b = 70$ cm et $h = 20$ cm. Une optimisation de la section sera ensuite étudiée.

- **Description des poutres à comparer :** Les 2 poutres sont en Béton armé quoique pour la poutre **B2**, on mettra le tissu de fibre sur l'arase inférieure à sa mi- portée.

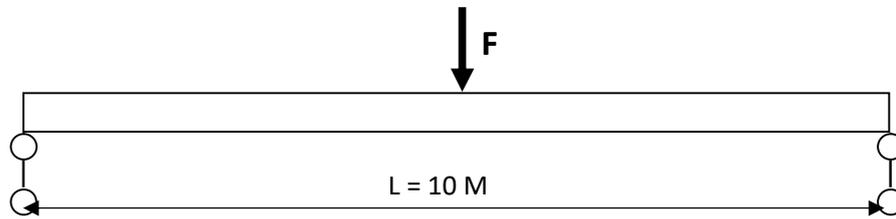


Figure 1: Poutre B1

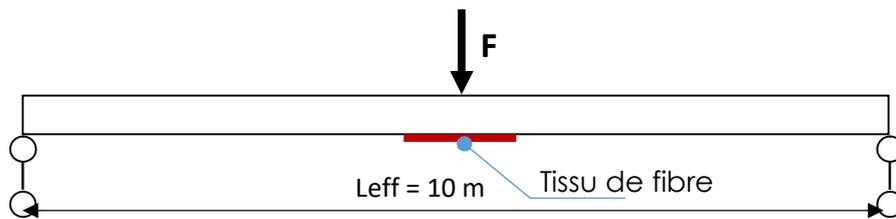
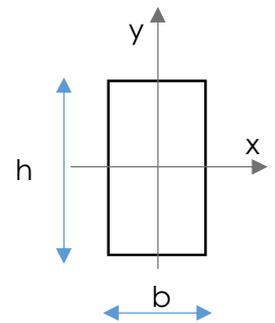


Figure 2 : Poutre B2



- **Outil d'exploitation : Tableur Excel** - la programmation complète de calcul est développée sur le **tableur Excel**. Le programme commence par le calcul du moment fléchissant (ELU et ELS), en passant par l'évaluation des sections d'armature jusqu'à la vérification des contraintes à l'Etat Limite de Service.
- **Modélisation du diagramme des contraintes et efforts internes pour la poutre B2 :** On reste dans le domaine linéaire. Dans notre hypothèse, le tissu de fibre est supposé parfaitement accolé [1] à l'arase inférieure de la poutre. Par conséquent, l'allongement du tissu et du béton en tout point reste le même, comme pour le béton avec l'armature. C'est-à-dire $e_c = e_s = e_{tf}$ avec respectivement $e_c =$ allongement de béton, $e_s =$ allongement de l'acier, $e_{tf} =$ allongement du tissu de fibre.

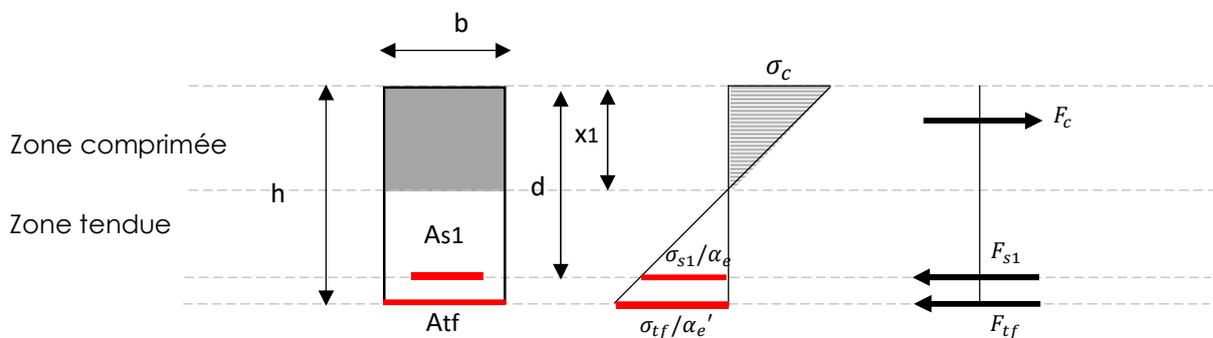


Figure 2 : modélisation diagramme des contraintes et efforts internes

✓ Les module d'Young sont : Acier $E_s = 200\,000\text{ Mpa}$; Béton $E_{c,eff} = 13\,333,33\text{ Mpa}$; Tissu de fibre $E_{tf} = 130\,000\text{ Mpa}$.

- **Caractéristiques du tissu utilisé pour la simulation** : Il existe plusieurs modèles de tissu sur le marché pour différents usages industriels. Pour notre recherche, nous avons choisi le type de tissu classique T300. Les caractéristiques suivantes ont été fourni suivant la fiche technique du produit :

- Nom du produit : T300
- Module d'élasticité : 130 Gpa
- Limite d'élasticité : 1 760 Mpa

T300

COMPOSITE PROPERTIES **

Tensile Strength	255 ksi	1,760 M Pa	ASTM D-3039
Tensile Modulus	19.5 M si	130 G Pa	ASTM D-3039
Tensile Strain	1.3 %	1.3 %	ASTM D-3039
Compressive Strength	230 ksi	1,570 M Pa	ASTM D-695
Compressive Modulus	18.5 M si	125 G Pa	ASTM D-695
In-Plane Shear Strength	14 ksi	98 M Pa	ASTM D-3518
ILSS	15.5 ksi	11 kgf/m m ²	ASTM D-2344
90° Tensile Strength	11.5 ksi	80 M Pa	ASTM D-3039

Figure 3: fiche technique tissu composite T300

- **Formulation pour la poutre B2** : à la base du principe d'équilibre des forces internes nous avons :

$$F_c = F_{s1} + F_{tf}$$

$$\frac{1}{2} \cdot \sigma_c \cdot B \cdot x_1 = A_{s1} \cdot \sigma_{s1} + A_{tf} \cdot \sigma_{tf}$$

A partir du diagramme des contraintes (figure 2) on a :

$$\sigma_{s1} = \frac{\alpha_e \cdot \sigma_c \cdot (d - x_1)}{x_1} ; \sigma_{tf} = \frac{\sigma_{s1} \cdot h}{2 \cdot (d - x_1)} \cdot \frac{\alpha_e'}{\alpha_e}$$

Avec les coefficients d'équivalence :

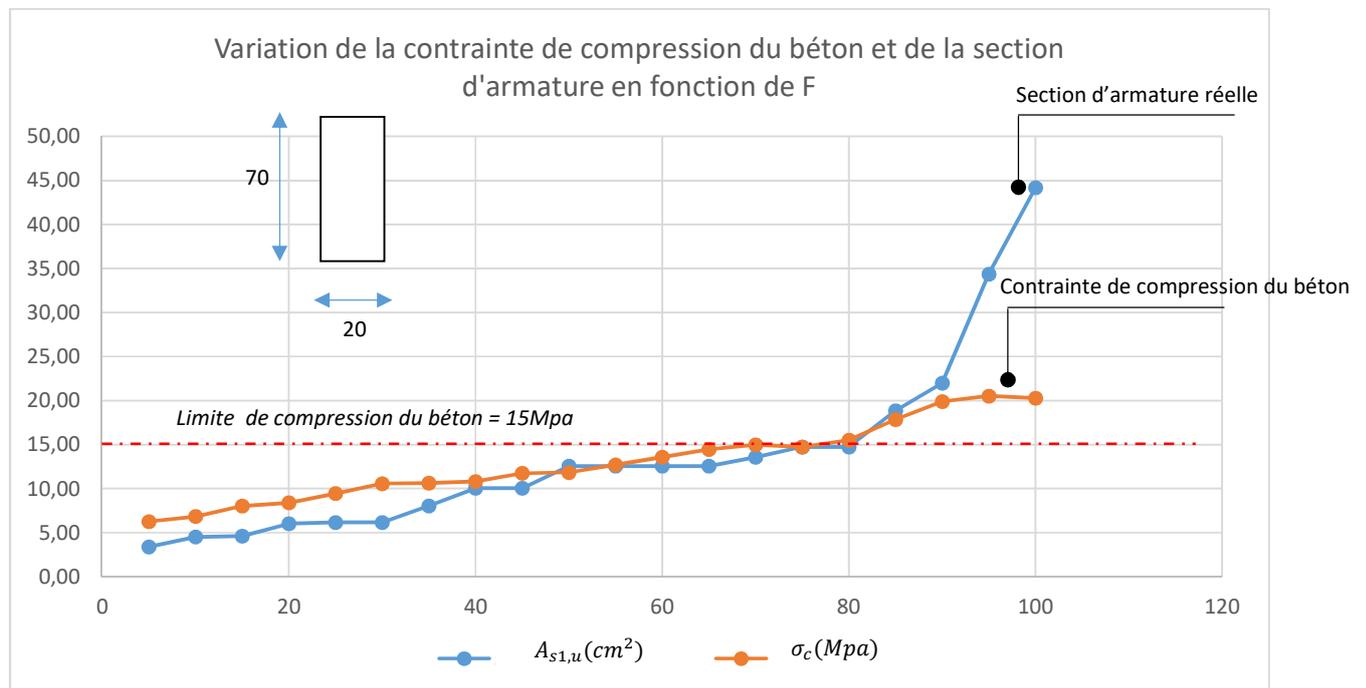
$$\alpha_e = \frac{E_s}{E_{c,eff}} ; \alpha_e' = \frac{E_{tf}}{E_{c,eff}}$$

III. RESULTATS

Notre observation se focalise en particulier sur trois axes importants :

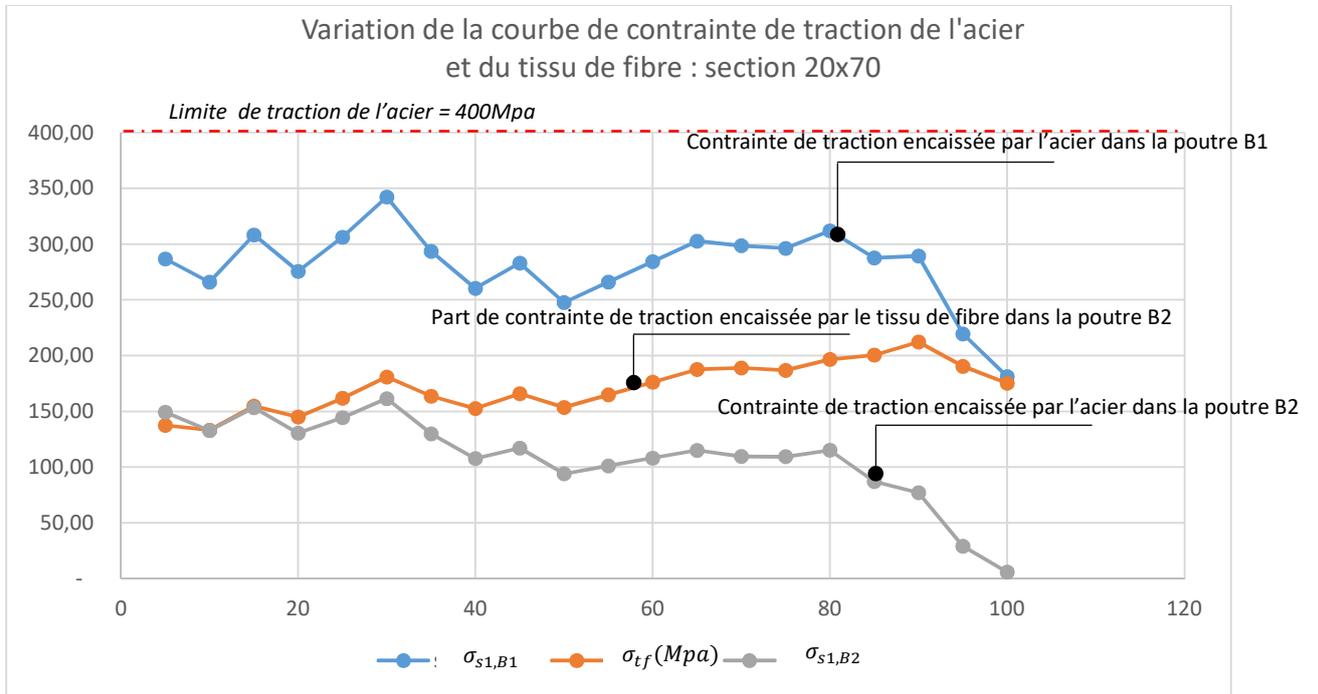
- **Comparaison des résultats** : Etudier la différence de la variation des contraintes appliquées sur les 2 poutres B1 et B2 suivant la montée de la charge teste, tout en respectant les contraintes limites en compression et traction a l'ELS.
- **Observer la part de contrainte de traction reprise par le tissu de fibre**. La présence du tissu sur la poutre B2 participe à la reprise des contraintes de traction sous la charge.
- **Etudier l'optimisation de la section** : l'objectif final sera d'accéder à une possibilité de réduction de la section en vue d'une optimisation.

Le résultat de la simulation montre que l'accroissement de la force F s'arrête vers 85 KN. La quantité d'acier calculée est ajusté de telle sorte à respecter les conditions de conformité suivantes : **quantité d'acier par rapport à la section du béton, disposition constructive des armatures, Limite de compression du béton et la limite de traction de l'acier.**

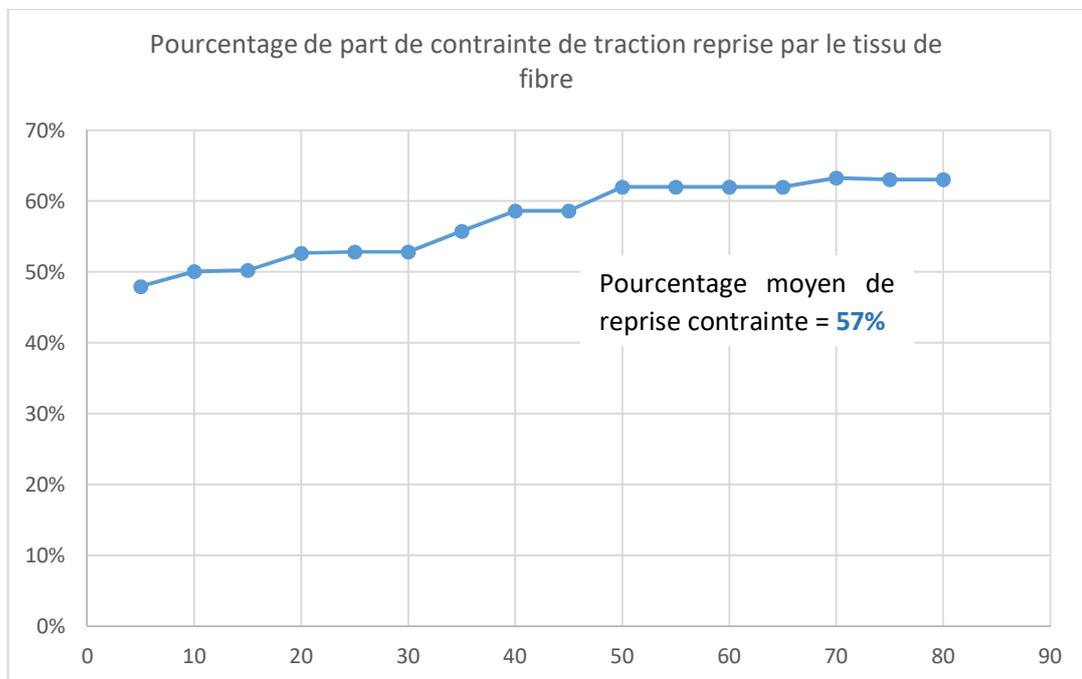


Graph 1: Variation de la contrainte de compression du béton en fonction de l'effort F

Le graphe 2 ici-bas montre la variation de la courbe de contrainte de traction encaissée dans l'acier et dans le tissu de fibres pour les poutres B1 et B2.

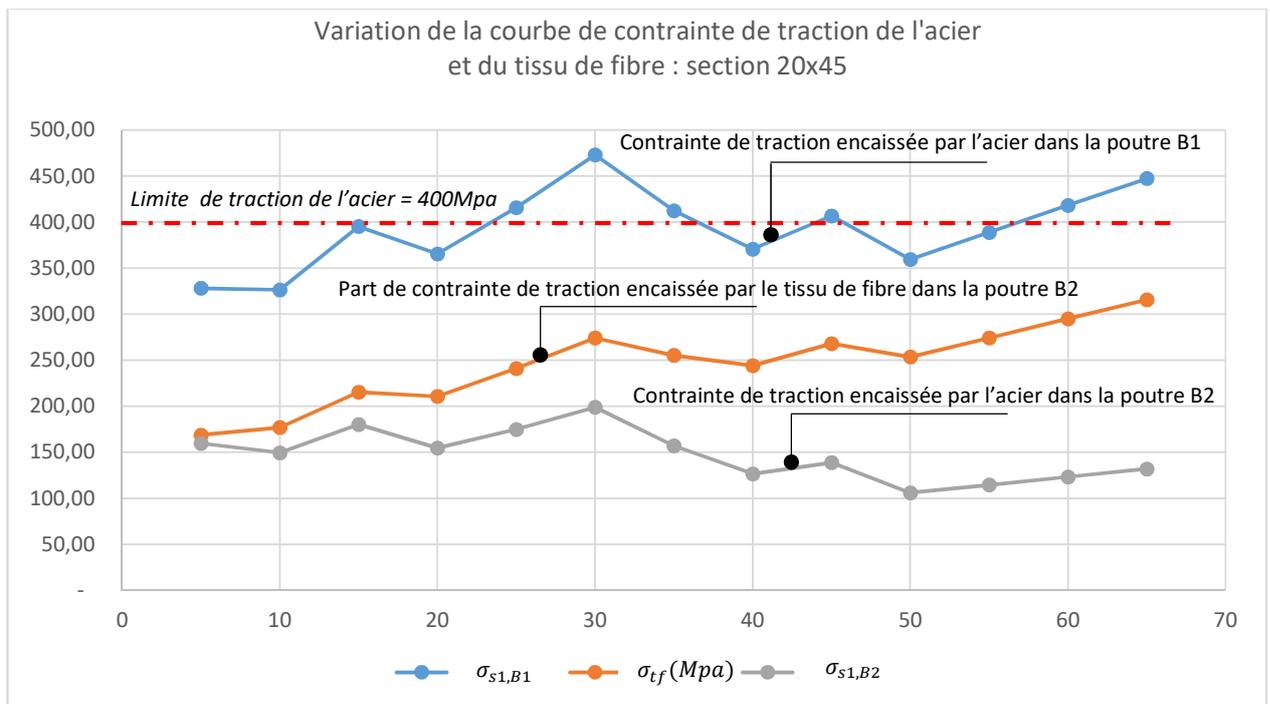
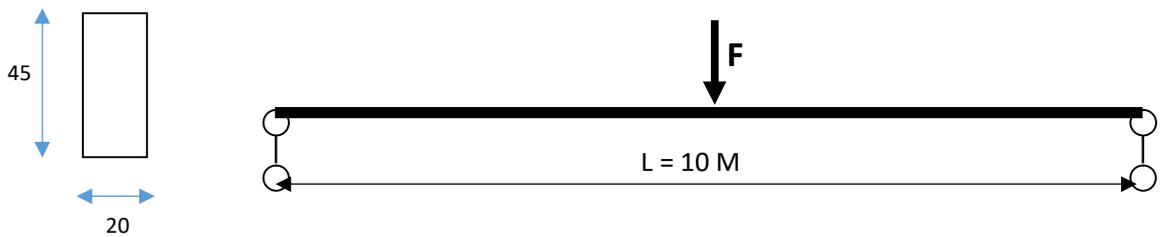


Graphe 2: Variation de la courbe de contrainte de traction encaissée par l'acier et le tissu de fibre



Graphe 3 : Pourcentage de la part de contrainte de traction reprise par le tissu de fibre – section 20 x 70

Le prochain graphe 4 nous illustre une autre simulation faite pour le même système de poutre. Cette fois-ci nous avons réduit la section en hauteur jusqu'à la limite possible de telle sorte à mettre en évidence la possibilité d'optimisation et également d'exploiter le pourcentage de participation du tissu de fibre dans le domaine structural. Dans ce graphe, la charge teste s'arrête à 65 kN.



Graphe 4:Variation de la courbe de contrainte de traction de l'acier- Section 20 x 45

IV. DISCUSSION

La simulation nous a permis d'apprécier la contribution de travail du tissu de fibre sur la poutre en flexion. En effet, les résultats démontrent une reprise de l'ordre de 50% des contraintes de traction de l'armature en acier. Dans un raisonnement analytique, l'insertion du tissu de fibre fait introduire le quotient $\alpha_e' = \frac{E_{tf}}{E_{c,eff}}$ qui est un nouveau

coefficient d'équivalence entre le module d'Young de celui-ci avec le béton. Ce coefficient intervient dans la réduction consécutive de la contrainte de traction dans l'acier, ce qui lui permet d'encaisser plus d'effort de traction tout en restant dans sa valeur limite.

Les limites de l'étude : Nous pouvons soulever à partir de ces résultats le potentiel mécanique des matériaux composites à base de fibre. Un matériau fort résistant pouvant offrir une grande capacité de charge pour des dimensions de structure suffisamment réduites. Cette simulation nous permette de dégager **la possibilité d'alléger le poids de l'ouvrage** en particulier les immeubles de grande hauteur. Cela évitera de recourir à une fondation profonde qui manifeste des méthodologies compliquées et très coûteuses avec des matériels spéciaux. En effet, la tendance des ingénieurs concepteurs est de s'éloigner de l'option d'augmenter le volume des structures en béton pour offrir plus de place aux équipements décoratifs et architecturaux.

V. CONCLUSION

Bien que la fibre de carbone présente un côté négatif en matière de coût, elle présente beaucoup d'avantages en terme d'encaissement d'une grande quantité de charge, de réduction du volume des structures et de préservation de l'environnement. Les résultats de notre étude avec l'accroissement de la charge test nous ont démontré que grâce au tissu de carbone, une structure en béton travaillant en flexion peut aller jusqu'à environ trois fois sa capacité mécanique à supporter des charges. D'autres possibilités d'emploi sont également possibles comme la résolution de problème de fissure des structures béton car dans certains cas, l'ouvrage est surexploité d'où la structure initiale n'offre plus un travail mécanique satisfaisant et les fissures apparaissent plus vite.

VI. REMERCIEMENTS

Nous adressons nos sincères remerciements à tous les membres du comité scientifique, co-auteur qui ont participé à l'élaboration de cet article ainsi qu'à toute l'équipe organisateur de cette Edition. Un sincère remerciement également à tous les organes sponsor de l'évènement.

VII. REFERENCES

- Jean Luyckxc, (2008), Composites à fibre de carbone dans le génie civil. Conservatoire nationale des arts et métier.
- Jean Roux (2007), Pratique de l'Eurocode 2.
- Litvinov Artem, (2010), Applying carbon fiber in building structures. Saimaa University of Applied science.
- Lionel Gendre, (2011), Matériaux composites et structures composites. Université Paris-Saclay.
- U. Meier, Proposal for a carbone fiber composite bridges accross the strait of gibraltar at its narrowest site. Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research, Dubendorf, Switzerland.
- Virgine Périer (2013), Comparaison de différentes Armatures utilisé pour le béton. LUNAM Université, IFSTTAR, Bouguenais