

ETUDE DE LA DUCTILITE DES NŒUDS DE STRUCTURES POTEAUX - POUTRES EN BETON DE FIBRES METALLIQUES

Bakhti Setti ¹, Saad Hammoudi ², Taazount Mustapha³, Mohammed Achit-Henni ⁴

1. *Laboratoire sciences des matériaux et environnement, department de genie civil, Université de Chlef, BP 151 Chlef RP 02000 Algérie, setti_ba@yahoo.fr*
2. *Département d'hydraulique, Université de Chlef, BP 151 Chlef RP 02000 Algérie.*
3. *Laboratoire LaMI Université de Clermont Ferrand France.*
4. *Laboratoire sciences des matériaux et environnement, department de genie civil, Université de Chlef, BP 151 Chlef RP 02000 Algérie, moil_us@yahoo.com*

Résumé

Les bétons de fibres métalliques (BFM) font l'objet depuis longtemps d'un effort de recherche important dans le monde mais on peut dire que leur utilisation dans le domaine du génie civil reste encore très marginale. La recherche d'un compromis entre les performances mécaniques et le coût des bétons de fibres métalliques (BFM) reste la principale préoccupation pour réussir à imposer ce matériau dans le monde de la construction ainsi que dans de plus larges perspectives d'applications industrielles

Une revue bibliographique et une étude expérimentale, sur l'effet de l'utilisation des fibres métalliques dans les nœuds poteau-poutre soumis à des charges sismiques sont présentées. L'ajout de fibres d'acier dans les nœuds sans changer leur conception peut améliorer la résistance à la charge sismique.

Profitant de l'effet de confinement des fibres métalliques, les armatures transversales peuvent être réduites dans les nœuds. Cette réduction se manifeste comme une augmentation de l'espacement des armatures transversales ou leur substitution par le béton fibreux. Sur la base des données d'essais disponibles, l'application effective des fibres d'acier améliore le comportement des nœuds sous chargement sismique. L'utilisation des fibres métalliques dans les nœuds où le ferrailage est très complexe ; est avantageux pour réduire la congestion de l'acier dans les nœuds, la réduction du coût des constructions et l'amélioration de la performance telle que la ductilité.

Mots- clés : Nœud poteau-poutre, Béton de Fibres métalliques, résistance, ductilité. Armatures transversales

1 Introduction

L'ajout de fibres métalliques est une méthode efficace pour améliorer la ténacité et la capacité d'absorption d'énergie ainsi que l'amélioration de résistance à la traction et la tolérance aux dommages du béton.

Ces avantages peuvent être utilisés dans les nœuds poteaux poutres pour augmenter la résistance à des charges sismiques. Avec un tel type de chargement, le béton ordinaire, en raison de sa fragilité et le manque de résistance post pic, se détériore rapidement et perd son intégrité, ce qui entraîne des nœuds en acier nu. Le béton armé renforcé de fibres, cependant, avec ses propriétés améliorées, peut conserver son intégrité et l'efficacité des armatures en acier, même à des déformations plastiques causées par le chargement. Avec ses propriétés améliorées, le béton renforcé de fibres d'acier maintient l'intégrité des nœuds, même à des déformations typiques au grand tremblement de terre causé par le chargement. Ceci est causé principalement par une action des fibres de confinement qui renforce l'efficacité des armatures. Il permet également de réduire la fissuration et l'effritement du béton.

Avec l'action des fibres d'acier de confinement, l'adhérence des armatures au béton est renforcée, En outre, l'emboîtement des granulats demeure efficace, car la largeur des fissures est maintenue sous contrôle par le biais d'une action de retrait de la fibre. Les fissures dans les nœuds fibreux sont plus petites en largeur et plus grandes en nombre par rapport aux nœuds conventionnels. Les résultats des essais expérimentaux sur les fibres de confinement montrent une augmentation significative de la capacité portante et de la ductilité.

Le renforcement du mortier ou du béton par des fibres constitue une voie nouvelle dans le domaine des matériaux composites [3]. la congestion de l'acier dans les nœuds poutre-colonne sismique a été toujours une difficulté que les chercheurs attire l'attention des constructeurs .Dans des recommandations françaises [4] et internationales [5] concernant le dimensionnement des structures comportant des bétons de fibres métalliques (BFM), le comportement post-fissuration en traction uniaxiale des BFM constitue la caractéristique mécanique principale nécessaire pour les calculs [6].

Dans cette étude, une expérimentation est faite en vue d'évaluer le niveau de performance du béton de fibres métalliques qui nous permet à l'avenir d'utiliser ce matériau composite dans les structures poteaux poutres en béton armé Ces bétons permettent parfois de remplacer une partie ou la totalité des armatures transversales, notamment dans les nœuds [8] où la mise en œuvre du ferrailage est très complexe et le manque d'armatures transversales dans les liaisons poteaux poutres peut provoquer des dégâts considérables aux constructions comme le montrent les figure 3 et 4. Le but de l'utilisation de ce type de matériau est pour avoir une ductilité suffisante du nœud et d'éviter ainsi la formation des rotules plastiques dans celle-ci. La figure 5 montre l'effet de la formation des rotules plastiques dans les nœuds

Suivant les recommandations Françaises [4] et internationales [5] Le développement des rotules plastiques devrait se faire en dehors des nœuds, de préférence dans les éléments horizontaux (poutres) plutôt que verticaux (poteaux..) de façon à ne remettre en cause ni le cheminement des forces verticales, ni la stabilité de la structure et/ou de ses éléments porteurs.

2 Effet des fibres métalliques dans l'amélioration du comportement sismiques des nœuds poteaux poutres

Cette partie contient une revue bibliographique sur l'effet de l'ajout de fibres d'acier pour les les nœuds poteaux poutres soumis à des charges sismiques et sans modifier la conception initiale de ceux ci.

Deux modèles de nœuds sont testés, référence 3. Un modèle avec un nœud conventionnellement armé et un modèle avec ajout de fibres métalliques. Les détails et les résultats des tests sont présentés sur la figure 1. Comme signalé dans la référence 3 on a utilisé des fibres d'acier avec une longueur L de 25 mm, et un diamètre d de 0,42 mm ($L/d = 60$), et une fraction volumique de fibres de 1%. Le chargement est cyclique quasi statique de 15 mm d'amplitude, la zone commune s'est rapidement détériorée mais le nœud a gardé son intégrité fibreux et la capacité de résistance pour un grand nombre de cycles de chargement. Après le cycle 16, la résistance du nœud fibreux était environ de 1,05 kN tandis que la zone commune a résisté à seulement 0,70 kN.

Autres références décrit des résultats similaires des tests sur le comportement sismique de nœuds. Il a été conclu dans la référence 4 que les fibres d'acier augmentent le moment et résistance au cisaillement des nœuds classiques. Il ressort des données de référence 4, que les nœuds fibreux sont généralement capables d'absorber deux fois plus d'énergie de déformation que les nœuds classiques. La figure 1 résume l'installation d'essai et les résultats de la capacité d'absorption d'énergie décrits à la référence 4.

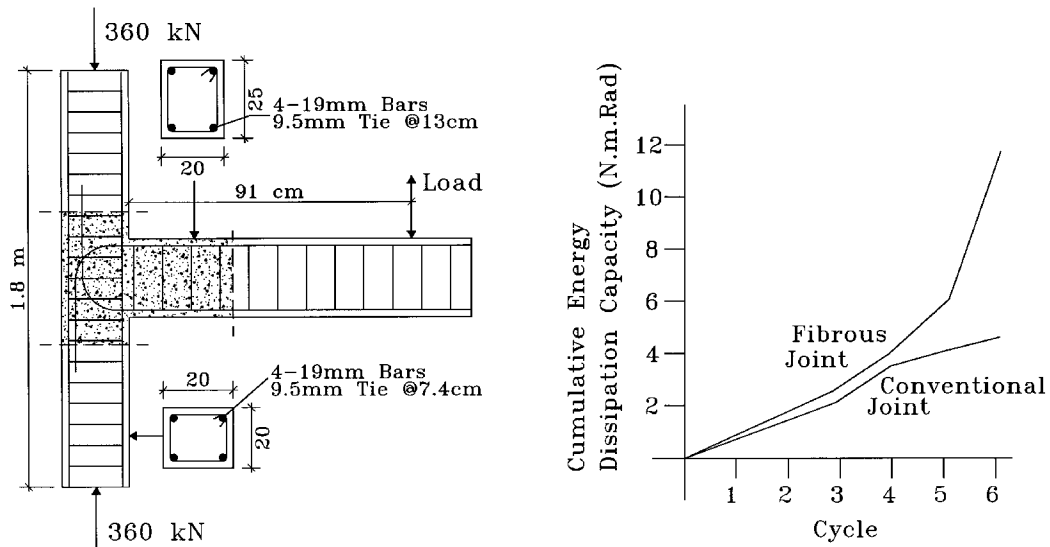


Fig. 1 - L'amélioration du comportement sismique des nœuds due à des fibres métalliques

3 Utilisation des fibres métalliques en substitution des armatures transversales

3.1 Programme expérimental

3.1.2 Matériaux utilisés

Le sable utilisé est un sable roulé provenant de Oued Rass, qui a pour module de finesse $M_f = 2.5$ et un équivalent de sable $E_s = 88.23\%$. Le gravier utilisé est un gravier concassé de la carrière de Oued Fodda de la région de Chlef (Algérie) et qu'on utilise habituellement dans le béton courant ; dont les impuretés sont de l'ordre de 1.2% et un coefficient Los Angeles $LA = 23\%$.

Le ciment utilisé est de type CPJ- CEM II/A 42.5 fabriqué à l'usine de Chlef. C'est un ciment Portland composé, obtenu par le mélange finement broyé de clinker et d'ajouts. Du sulfate de calcium est ajouté sous forme de gypse en tant que régulateur de prise. Le ciment portland composé CPJ- CEM II/A 42.5 est constitué de :

- 80 % à 94 % de Clinker Portland
- 6 à 20 % maximum d'ajouts (calcaire pur)
- Constituants secondaires (0 à 5 % sulfate de calcium comme régulateur de prise.

Le ciment produit à l'usine de Chlef répond aux exigences de la norme NA 442 – 200 et dont les caractéristiques sont :

- Début de prise ≥ 60 min
- Stabilité à chaud < 7 mm
- Retrait 28 j $< 650 \mu\text{m/m}$

La résistance mécanique à la compression, nécessaire sur éprouvettes de mortier normal à 28 jours d'âge est ≥ 42.5 MPa

Composition et dosage du béton utilisé.

La méthode utilisée est celle de Dreux-Gorisse [8], c'est la méthode la plus simple et qui tient compte des Caractéristiques propres de chaque constituant. L'affaissement mesuré au cône d'Abrams est de 8 cm ce qui correspond à un béton plastique.

Les fibres métalliques, notamment d'acier, sont les plus utilisées Elles sont très compatibles avec le ciment dont l'alcalinité les protège contre la corrosion.

Elles ont donné lieu à de nombreuses recherches pour développer leur emploi dans le béton. Les fibres métalliques ont une longueur qui varie entre 15 à 75 mm, avec une épaisseur qui peut atteindre 0.80 mm.

Les fibres sont ajoutées directement dans le malaxeur à béton, simultanément au sable et au gravillon dans la bascule à granulats. On prend la précaution de Malaxer le mélange (béton + fibres) pendant 20 secondes avant l'introduction de l'eau de gâchage. On fait varier le rapport massique $S / S + G$ (S : sable, G : granulats), et on détermine pour chaque valeur de ce rapport la maniabilité correspondante. On trace alors la courbe de la maniabilité en fonction du rapport $S / S + G$, et on détermine le rapport optimal qui correspond à la meilleure maniabilité. Les appareils les plus utilisés pour la détermination de la maniabilité sont :

Le cône d'Abrams (la maniabilité est caractérisée par une hauteur d'affaissement) et le maniabilimètre LCL (la maniabilité est caractérisée par un temps d'écoulement).

Les résultats des essais de compression sur éprouvettes cylindriques (16 x 32) de béton ordinaire et de béton de fibres sont représentés sur la figure 2

Les résultats d'essai de traction par fendage sur éprouvettes cylindriques (16x32) des deux types de béton sont donnés sur la figure 3.

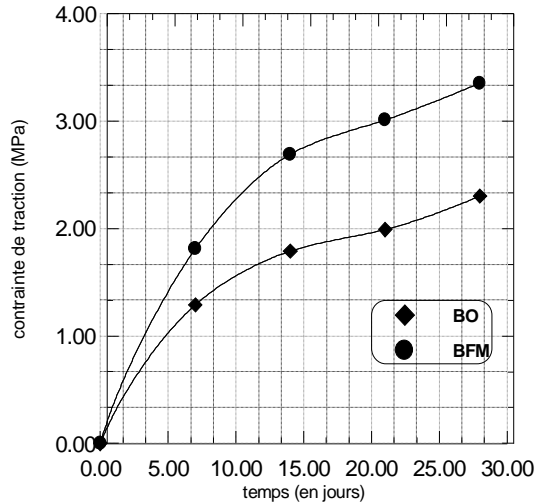


Fig. 2- Effet des fibres sur la contrainte de compression

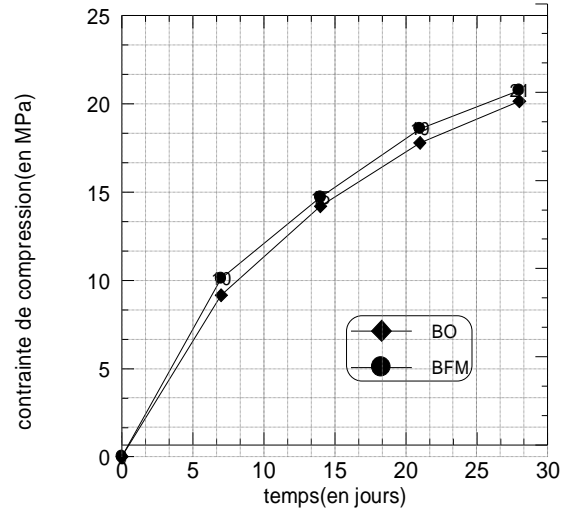


Fig. 3- Effet des fibres sur la contrainte de traction

Les résultats d'essai de traction par flexion (NFP18407) sur éprouvettes prismatiques (7x7x28) avec la variation du volume des fibres sont donnés sur la figure 4. L'effet du volume des fibres sur la charge de la première fissuration est donné sur la figure 5

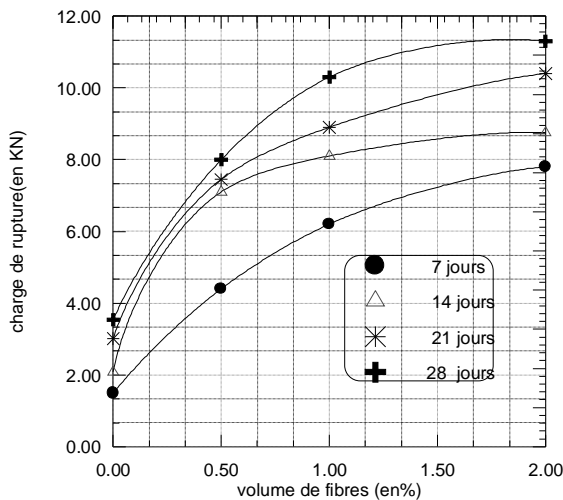


Fig. 4- Effet du volume des fibres sur la charge de rupture

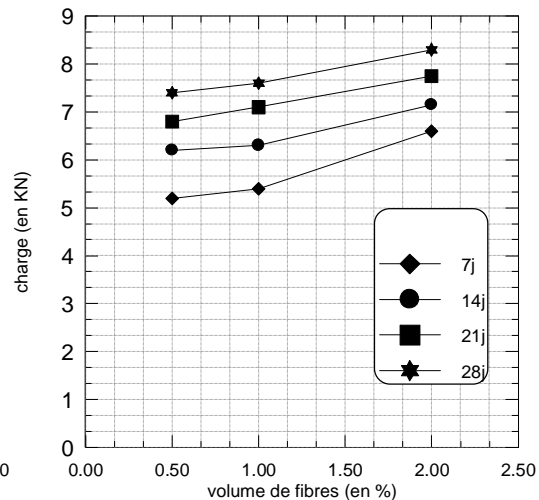


Figure.5 - Effet du volume des fibres sur la charge de la première fissuration

Cette étude expérimentale avait pour objectif de mettre en évidence, de manière quantitative l'influence de la présence des fibres métalliques vis-à-vis de la résistance à la traction du béton.

Le niveau de performance constaté à travers les résultats des différents essais ; nous permet d'utiliser ce matériau dans une étude expérimentale sur la possibilité d'utiliser le béton de fibres métalliques en substitution des armatures transversales dans les nœuds où le ferrailage est très complexe.

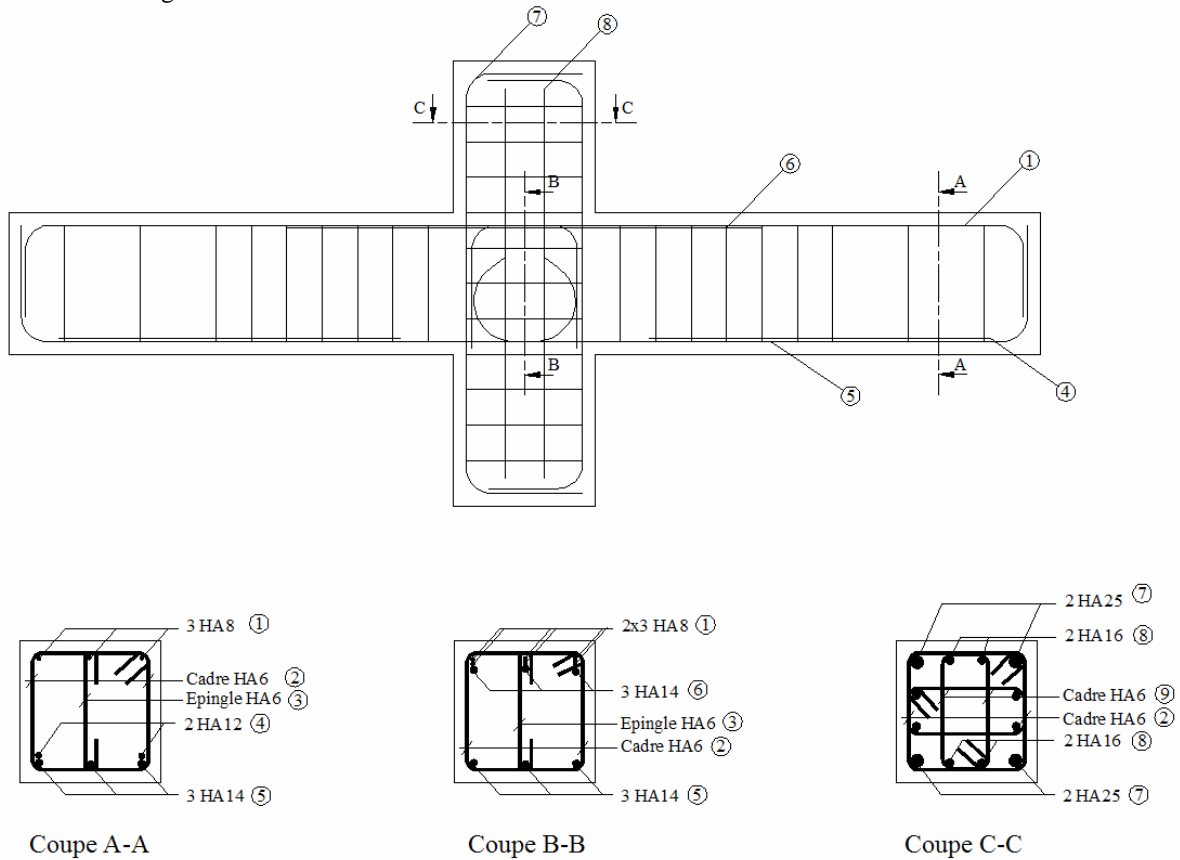
3 Procédures d'essai

Deux modèles d'assemblage poteaux – poutre sont considérés dans cette étude.

- ✚ Un premier modèle de référence est fabriqué de béton conventionnel armé et est identifié par l'abréviation BCA. Il est conçu et dimensionné suivant les normes parasismiques pour avoir un comportement ductile.
- ✚ Un deuxième modèle en béton armé exclu le nœud poteau-poutre qui est en béton de fibres métalliques identifié BFM, il est géométriquement identique au modèle de référence en béton conventionnel (BCA) mais il n'est pas particulièrement dimensionné pour avoir un comportement ductile. Il ne comporte pas d'armatures transversales dans le nœud et des fibres d'acier y sont ajoutées pour compenser cette déficience en armatures de confinement

par rapport au modèle en béton conventionnel. Ce modèle est géométriquement identique au modèle de référence en béton conventionnel (BCA) et identifié BFM

Schéma de ferrailage



Spécimen **BFM** en béton de fibres métalliques :

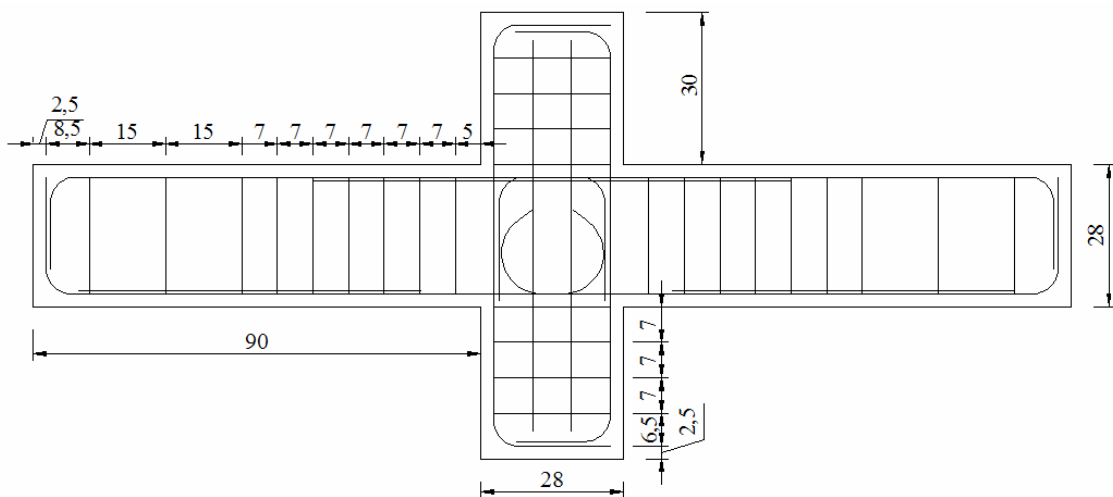


Fig. 6- Schémas de ferrailage des deux structures

Le coulage du béton des deux spécimens a été effectué verticalement pour assimiler la fabrication du nœud sur le chantier. Pour le spécimen BCA, le coulage s'est fait en deux phases, on a coulé tout d'abord le pied du poteau, les deux parties de la poutre et le nœud, ensuite on a coulé la tête du poteau.

Pour le spécimen BFM, le coulage s'est fait en trois phases du fait de la différence du type de béton entre le nœud et les autres parties du modèle, on a coulé tout d'abord le pied du poteau et les deux parties de la poutre en arrêtant le béton au droit du nœud, ensuite on a coulé le nœud et enfin la tête du poteau.

Dans les deux modèles, on a essayé de garder la surface rugueuse pour obtenir une parfaite reprise de bétonnage.



Fig. 7- Spécimen BCA après décoffrage



Figure. 8- Spécimen BFM après décoffrage

Les modèles BCA et BFM sont soumis à un chargement cyclique appliqué à la tête du poteau à l'aide d'un vérin hydraulique assemblé à un capteur de force d'une capacité de 20 tonnes ; ce vérin permet à la fois d'appliquer un effort de compression et un effort de traction correspondant respectivement à une flexion positive et à une flexion négative. La poutre est appuyée en ses deux extrémités en libérant la rotation dans les deux sens (en flexion positive et en flexion négative).

Les modèles sont instrumentés l'aide de quatre capteurs de déplacements (figure 9), le premier (CD1) est placé au milieu du nœud et permet de mesurer les déplacements verticaux de celui-ci, le deuxième (CD2) mesure les déplacements à 15 cm de la face du poteau et les deux derniers (CD3 et CD4) enregistrent les déplacements à 30 cm de part et d'autre de la face du poteau

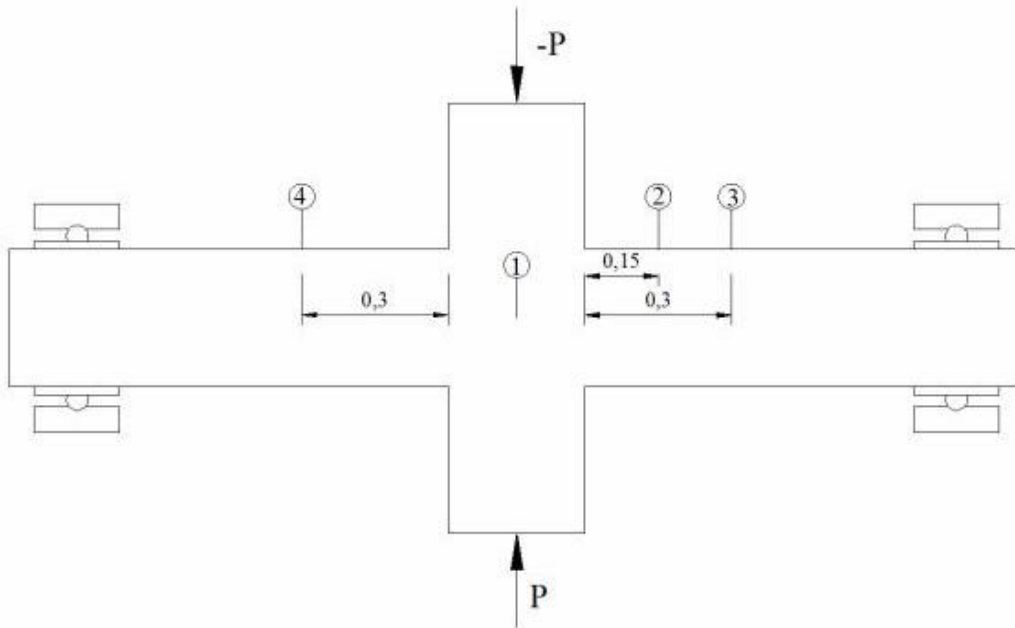


Fig. 9 Schéma statique

4. Présentation et analyse des résultats

Les résultats expérimentaux sont présentés et discutés en terme de :

- ? Fissuration et mode de rupture ;
- ? Dégradation de la capacité de résistance ;
- ? Dissipation d'énergie ;
- ? Dégradation de la rigidité.

Le comportement du modèle en béton conventionnel armé (BCA) est comparé au comportement du modèle en béton de fibres métalliques (BFM).

On appelle flexion positive, la flexion lorsque l'effort est appliqué vers le bas (effort P négatif), et flexion négative, lorsque l'effort est appliqué vers le haut (effort P positif).

1. Fissuration et mode de rupture

Durant le chargement cyclique, des forces de compression et de traction diagonales se développent dans le nœud poteau-poutre et les deux spécimens présentent des fissures semblables (figures 10 et 11). La première fissure diagonale apparaît dès que la contrainte principale de traction dépasse la résistance maximale du béton (chargement correspondant à environ 23 kN pour les deux modèles) en flexion positive et dans la zone

plastique de la poutre, à moins 2 cm de la face du poteau (figure 10).

Avec la progression du chargement, l'ouverture des fissures s'élargit et d'autres fissures obliques font leur apparition. En fin de chargement et en flexion positive, la partie délimitant la poutre et le poteau a complètement cédé avec une rupture dans la zone plastique de la poutre de type flexion (figure 13), cette rupture est due aux efforts générés par la traction dans la partie inférieure du nœud. Ces efforts sont transmis au béton à partir des crosses d'armatures longitudinales inférieures de la poutre. Les cadres (cas du modèle BCA) ou les fibres métalliques (cas du modèle BFM) ont comme rôle de couder les fissures, de telle sorte que ces dernières ne se produisent pas dans le nœud poteau-poutre sous le chargement cyclique.

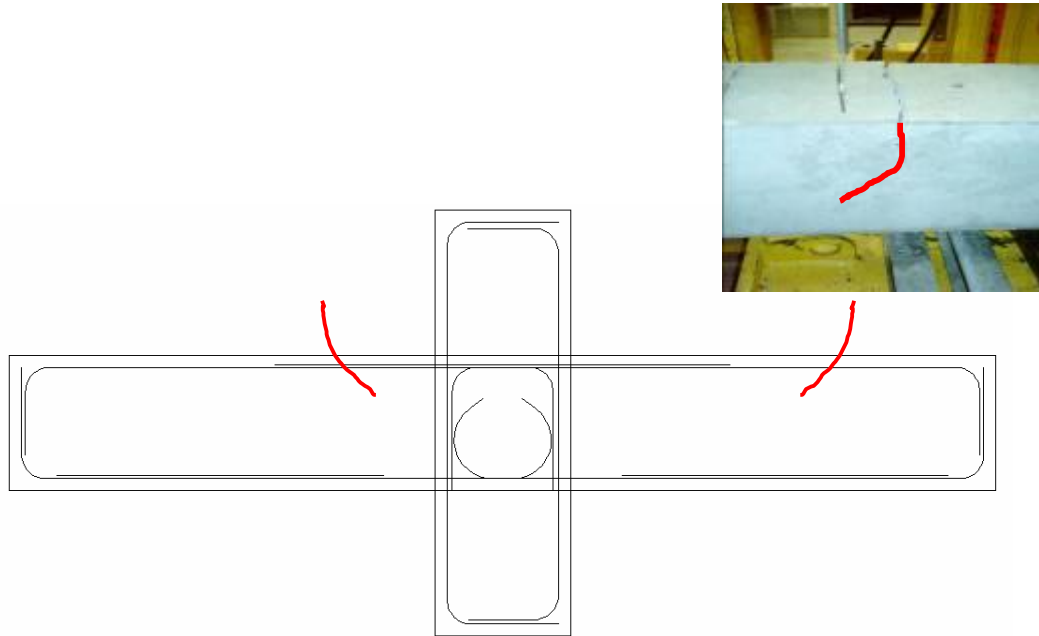


Fig. 10- Fissuration en flexion positive

En flexion négative, les rotules plastiques se sont formées à environ 34 cm de part et d'autre de la face du poteau (figure 11), ces rotules sont dues à la production de bielles de traction, générées par le transfert des efforts dans les armatures longitudinales supérieures du nœud, à l'extérieur de la zone critique. Elles sont apparues à l'endroit où la section d'acier se réduit.

Pendant ce type de chargement, les fibres métalliques ont pu couder et empêcher l'apparition des fissures dans la zone plastique de la poutre comme dans le cas de la flexion positive.

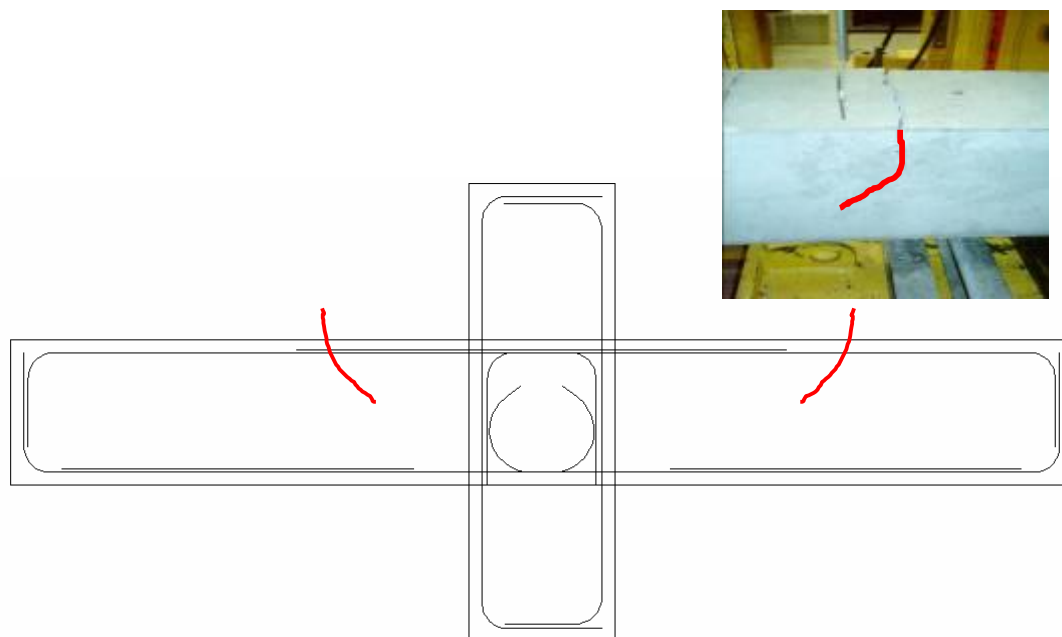


Fig.11- Fissuration en flexion négative

La rupture se produit en dehors du nœud poteau-poutre et ce dernier reste intact, cette conclusion est

démontré lors de l'étude sur la performance d'un assemblage mur-linteau réparé en béton de fibres armé [7], et aussi lors de l'étude expérimentale portant sur l'effet du béton de fibres métalliques sur le comportement des nœuds de rive poteau-poutre soumis au chargement cyclique [8].

2. Dégradation de la capacité de résistance

La figure 12 montre la résistance maximale atteinte pendant chaque série de cycles en fonction du déplacement du poteau relatif à cette charge. La dégradation de la capacité de résistance survient lorsque l'effort atteint la charge plastique, après on pourra constater une diminution de la résistance maximale dans les séries de cycles qui suivent.

En flexion positive (figure 12-a), on peut observer qu'aucune dégradation de résistance n'a lieu lorsque la charge atteint l'effort plastique (182 kN), mais la capacité de résistance a diminué par rapport aux premières séries. Les deux modèles prouvent une capacité de résistance importante dans le domaine plastique.

En flexion négative (figure 12-b), le taux de dégradation de la capacité de résistance demeure faible lorsque la charge atteint 101 kN pour le modèle BFM et 106 kN pour le modèle BCA, sachant que la charge plastique est égale à 114 kN pour les deux modèles. Cette dégradation est due à la propagation des microfissures dans le béton. En dépassant l'effort plastique, les armatures de confinement ou les fibres ont amélioré les caractéristiques mécaniques du béton et ont augmenté la ductilité du matériau.

Le taux de dégradation des deux spécimens est semblable dans le cas des demi-cycles positifs et aussi dans le cas des demi-cycles négatifs.

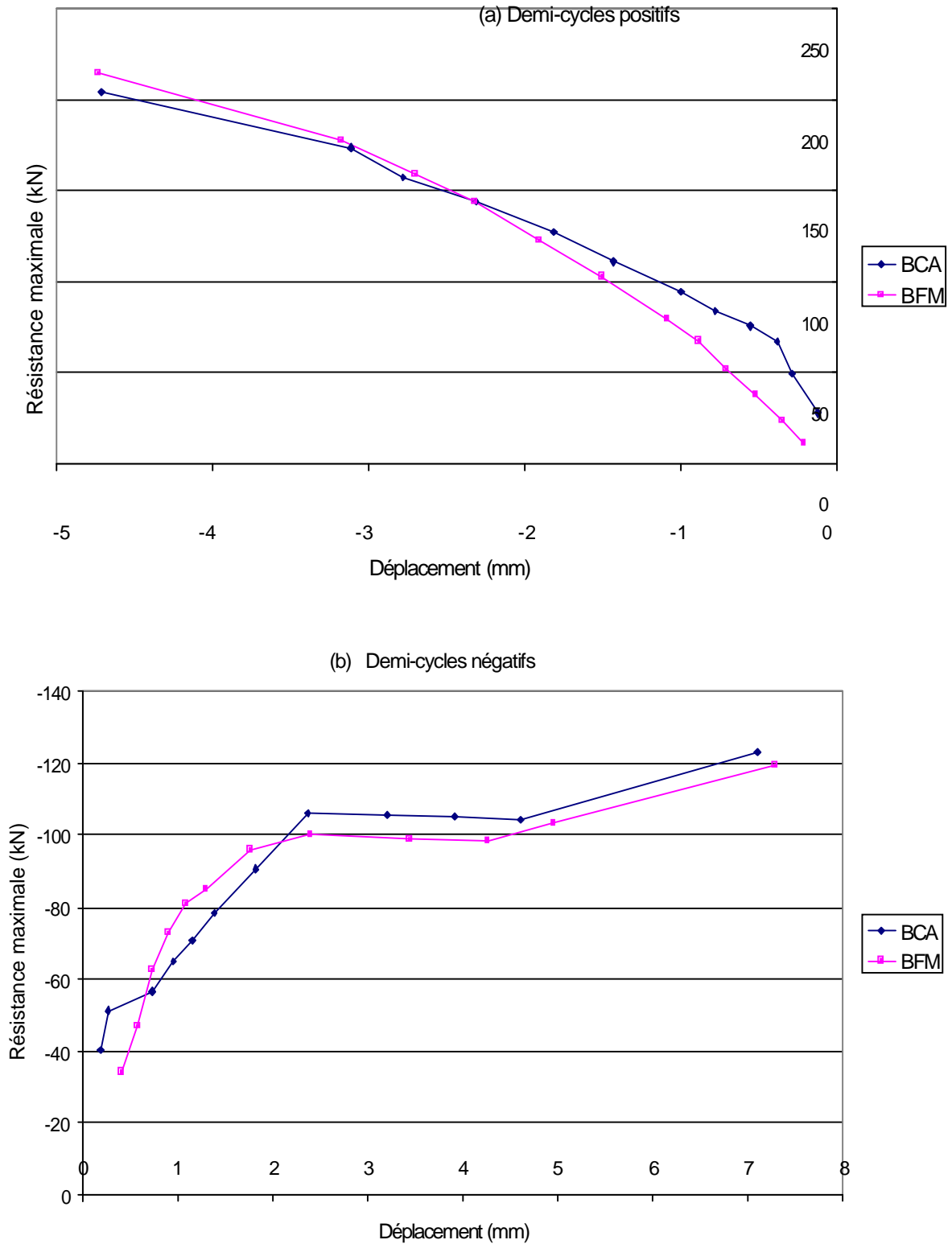


Fig. 14- Dégradation de la capacité portante

3. Dissipation d'énergie

La capacité de dissipation d'énergie est un aspect important dans la conception parasismique des nœuds poteau-poutre. L'énergie appliquée par le vérin hydraulique au centre du poteau est dissipée dans l'assemblage poteau-poutre par déformation du béton et de l'acier. L'énergie dissipée est représentée par l'aire intérieure circonscrite par une boucle d'hystérésis relative à une série de chargement donnée. La figure 13 présente un exemple de calcul correspondant au capteur CD1.

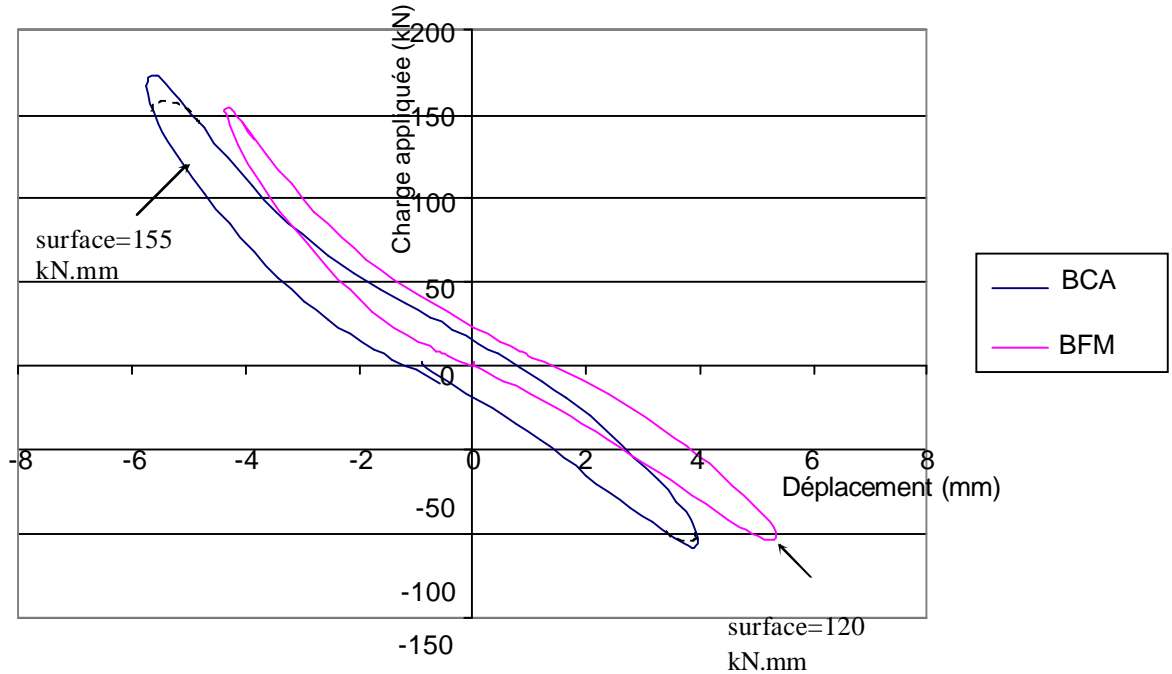


Fig. 13- Exemple de calcul de l'énergie dissipée à la 16^{ème} série

La figure 14 présente, sous forme d'histogramme, l'énergie dissipée par les modèles en béton conventionnel armé (BCA) et de fibres métalliques (BFM) en fonction du numéro de série, cette énergie est calculée pour chaque série et pour le même chargement.

Durant les premières séries de chargement correspondant aux déformations dans le domaine élastique, il y a peu d'énergie dissipée par les deux modèles. Par la suite, l'énergie dissipée augmente pour un chargement supérieur à 10 kN.

Durant les séries de chargement, le modèle BFM a dissipé environ 20 % moins d'énergie par rapport au modèle BCA (pour les séries 6 à 17).

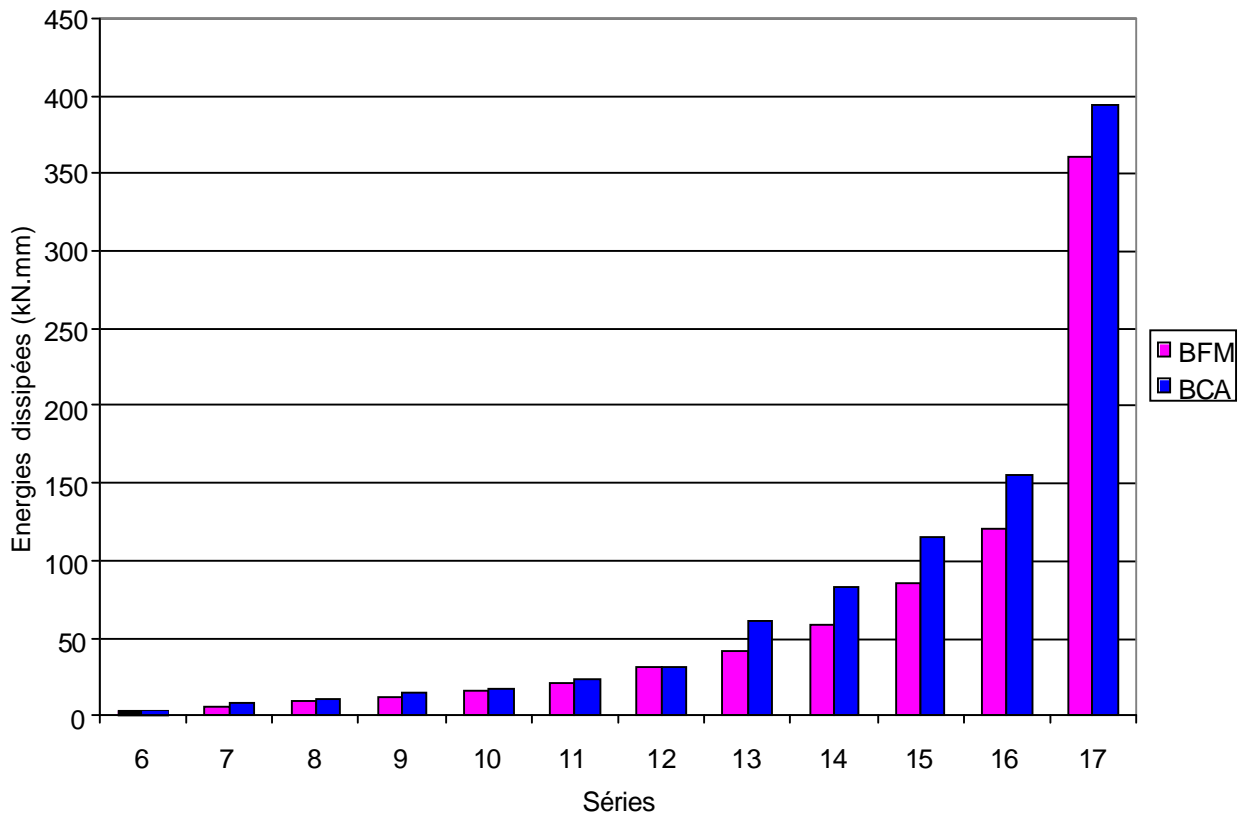


Fig. 14- Histogramme des énergies dissipées

4. Dégradation de la rigidité

La rigidité d'un élément en béton armé soumis à un chargement cyclique décroît avec le nombre de séries. Cette dégradation dépend de l'importance des déformations plastiques subies par l'élément. Plus la déformation est grande, plus importante sera la dégradation. Dans cette étude, la dégradation de rigidité des deux modèles est évaluée globalement en calculant les pentes des courbes d'hystérésis aux points d'intersection avec l'axe des déplacements. La figure 15 présente les courbes moyennes de la rigidité tangente en fonction des séries de chargement correspondant aux déplacements du CD1.

Durant les séries 6 à 8, le modèle BFM a conservé toute sa rigidité, en flexion positive et négative, alors que le modèle BCA a atteint 31 % de taux de dégradation. A la 14^{ème} série, le taux de dégradation de rigidité du modèle BCA atteint 78 % et 52 % pour le modèle BFM.

La différence de la rigidité entre les deux spécimens semble minime dans le domaine où les charges appliquées sont très importantes.

Selon les courbes de tendance des deux modèles, on peut observer que la dégradation de rigidité du modèle BCA est très élevée par rapport au modèle BFM, ce qui est confirmé par les auteurs de la référence bibliographique [7].

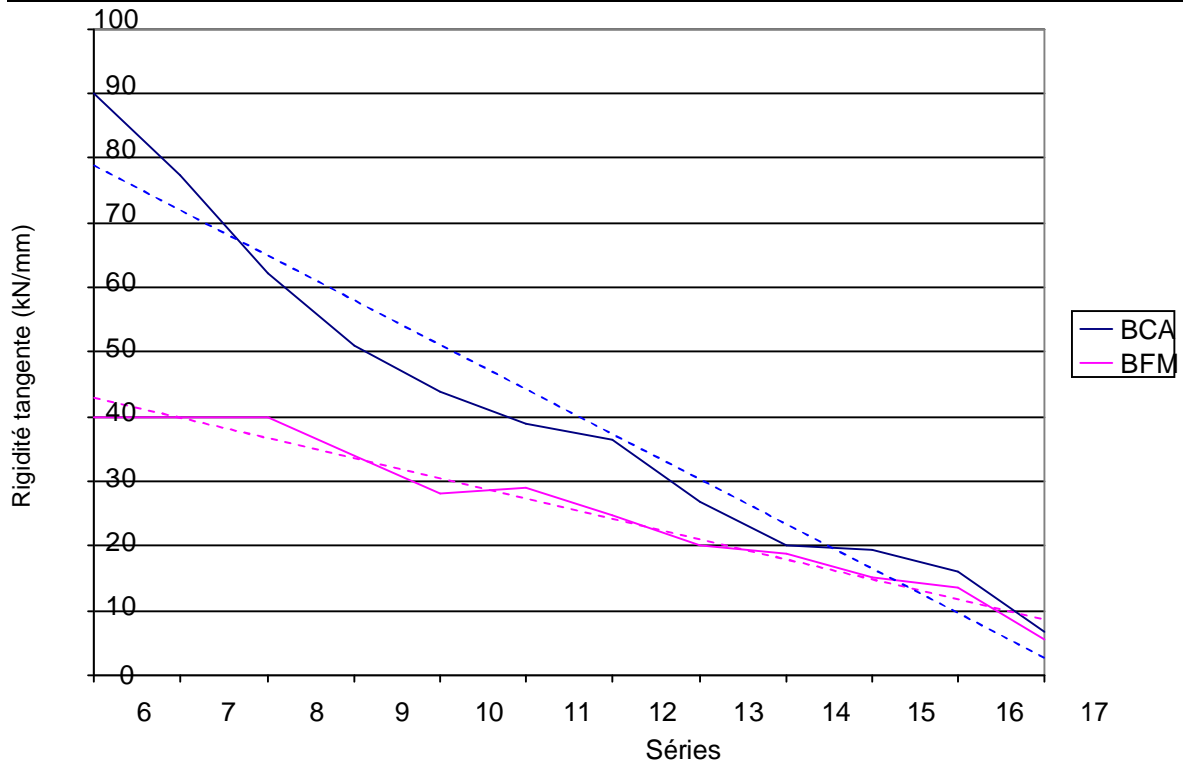


Fig. 15- Courbes moyennes de la rigidité tangente

5. Conclusion

Le comportement cyclique du modèle en béton conventionnel armé (BCA) sert de référence pour évaluer le comportement du modèle en béton de fibres métalliques (BFM). Sur la base des résultats obtenus, les conclusions suivantes peuvent être énoncées :

- ? La fissuration et le mode de rupture des nœuds poteau-poutre en béton de fibres métalliques sont semblables à ceux des nœuds en béton conventionnel armé ;
- ? Les courbes associées au modèle BFM présentant des boucles légèrement pincées, indiquant une dissipation d'énergie plastique plus faible dans le nœud. Le modèle en béton de fibres métallique a dissipé environ 20 % moins d'énergie que le modèle en béton conventionnel armé ;
- ? Les modèles BCA et BFM ont exhibé un faible taux de dégradation de résistance en flexion négative, et une forte capacité de résistance en flexion positive ;
- ? Le taux de dégradation de rigidité du modèle en béton conventionnel armé est élevé en comparaison avec le modèle BFM.

La différence de résultats entre les deux spécimens peut être due à la mise en œuvre du béton. En fait le modèle en béton de fibres métalliques a été coulé en trois phases avec quatre surfaces de reprise de bétonnage, tant dis que le modèle en béton conventionnel armé comporte seulement une seule surface de reprise de bétonnage. Cette différence de mise en œuvre a influé principalement sur les paramètres suivants :

- ? Déplacement : le modèle BFM s'est comporté différemment en flexion positive par rapport à la flexion négative du fait qu'on a une mauvaise adhérence dans les surfaces de reprise.
- ? Energie dissipée : le modèle BFM comportant plus de surfaces de reprise de bétonnage a dissipé moins d'énergie que le modèle BCA.
- ? Rigidité : la rigidité initiale du modèle BFM était plus faible que celle du modèle BCA, le taux de dégradation des deux spécimens s'est rapproché après apparition des fissures. Cette apparition a

permis de réduire la rigidité initiale du modèle BCA et de la ramener au même niveau que celle du modèle BFM.

Pour avoir des résultats expérimentaux corrects, les conditions minimales à respecter pour toutes les surfaces de reprise sont la propreté de la surface et l'élimination des gouttes d'eau et les couches de laitance de ciment en surface. Ces conditions seront réalisées par une cure spécifique (sablage, soufflage d'air plus eau, ...).

Un autre facteur pourrait influencer sur les résultats, il s'agit de l'erreur relative aux capteurs de déplacement, mais le problème c'est qu'on ne pourra pas cibler la plage de données où l'erreur a eu lieu. La solution qui peut être envisagée est de mettre en place des capteurs où le pourcentage d'erreur est très minime.

D'après les résultats obtenus durant les essais de cette étude, on peut constater que les conditions citées ci-dessus que doit satisfaire une structure soumise à des sollicitations sismiques sont vérifiées. Ainsi, le béton de fibres métalliques peut remplacer le béton conventionnel armé dans les zones de clavage des éléments structuraux.

Le volume du nœud, la quantité de fibres, le type de fibres et la dispersion de celles-ci sont des facteurs qui influent sur la ductilité et la capacité de résistance du nœud poteau-poutre.

Enfin, les modèles testés ont prouvé un bon niveau de performance du modèle utilisant le béton de fibres métalliques comme matériau de clavage dans les nœuds

Références Bibliographiques

- [1] Nichiokan, K.; Kakimi, N.; Yamakawa, S.; and Shirakawa, K.; " Effective application of Steel Fiber Reinforced Concrete,«Fiber Reinforced Cement and Concrete,RILEM Symposium:London,V.1,1975,pp.425-433.
- [2] Craig, Mahadev, S.; Patel, C.; Veteri, M.; and Kertesz, C."Behavior of joints Using Reinforced Fibrous Concrete, Proceeding of the international Symposium, SP81, G.C. Hoff, ed., American concrete institute, Farmington Hills, Mich., 1954, pp. 125-167.
- [1] ROSSI P, Les bétons de fibres métalliques, Presse de l'école nationale des ponts et chaussées, 1998.
- [2] Les bétons de fibres métalliques. Méthode de dimensionnement, Essai de caractérisation, de convenance et de contrôle, Recommandation de l'AFGC sous la direction de P. ROSSI, 1995
- [3] Design of Steel Fibre Reinforced Concrete using the σ -w methods, Recommendations of RILEM TC-162-TDF.
- [4] LE MAOU, mise au point d'un essai de traction uniaxiale sur béton de fibres. Note interne du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, 1992.
- [5] Mustapha.GENCOGLU, Ilhan. EREN, An experimental Study on the Effect of Steel Fiber Reinforced Concrete on the Behaviour of the Exterior Beam- column Joint Subjected to reversal Cyclic Loading. Istanbul Technical University, Civil Engineering Faculty, Division of structure, pp.493 – 502, February 2002
- [6] Georges DREUX. Jean FESTA, « nouveau guide du béton et de ses constituants », 1998.
- [7] M.J. NOLLET, O. CHAALLAL, R. MARCHAND, Performance d'un assemblage mur-linteau réparé en béton armé de fibres, Bulletin des laboratoires des ponts et chaussées, pp.67-76, Janvier-Février 2001.
- [8] Victor DAVIDOVICI, Formulaire du béton armé (Volume 1 : calculs), Règles BAEL91, Eurocode2, Règles Parasismiques 92, Edition du Moniteur, 1995