

# Etude expérimentale du comportement cyclique d'un nouvel assemblage hybride poteau-poutre

Xuan-Huy Nguyen<sup>a</sup>, Dang-Dung Le<sup>a</sup>, Quang-Huy Nguyen<sup>b</sup>

a. Ecole Supérieure de Transport et Communication, Hanoi, Vietnam

b. Institut National des Sciences Appliquées de Rennes, France

## Résumé :

*Cet article porte sur l'étude expérimentale du comportement cyclique d'un nouvel assemblage hybride poteau-poutre. Il s'agit d'un assemblage utilisant un profilé en H totalement noyé dans le poteau en béton armé et directement soudé à la poutre en acier. Afin d'omettre les armatures de cisaillement dans la zone de connexion, le profilé noyé H est renforcé par deux plaques supplémentaires. Deux RCS assemblages poteau-poutre ont été soumis à un chargement cyclique inversé. Les objectifs des tests étaient d'examiner les performances de connexion et de mettre en évidence la contribution de deux plaques supplémentaires sur la résistance au cisaillement du joint. Les performances en termes de capacité portante, de dissipation d'énergie et de dégradation de la rigidité ont été évaluées.*

## Abstract :

*This paper deals with experimental investigation of the cyclic behavior of a novel RCS beam-column exterior joint. The studied joint detail is a through-column type in which an H steel profile totally embedded inside RC column is directly welded to the steel beam. The H steel profile was covered by two supplementary plates in the joint area in order to avoid the stirrups resisting shear in the joint area. Two full-scale through-column-type RCS joints were tested under reversed-cyclic loading. The objectives of the tests were to examine the connection performance and to highlight the contribution of two supplementary plates on the shear resistance of the joint. Performance in term of load bearing capacity, story drift capacity, energy dissipation and stiffness degradation were evaluated.*

**Mots clefs : assemblage RCS, joint, cyclique, cisaillement**

## 1 Introduction

Les ossatures mixtes RCS constituées de poteau béton armé (reinforced concrete- RC) et poutre métallique (steel- S) ont été largement utilisées dans le secteur du bâtiment au cours ces 30 dernières années. Les ossatures RCS possèdent plusieurs avantages à la fois du point de vue économique et du point de vue structurel par rapport aux ossatures traditionnelles en acier ou en béton armé. Par conséquent, de nombreux programmes de recherche ont été menés pour étudier l'interaction entre les composants aciers et le composant béton dans les ossatures RCS. Des recherches approfondies ont été menées aux États-Unis et au Japon pour analyser les mécanismes de transfert de force dans la zone de

connexion, ainsi que divers détails communs susceptibles d'améliorer les performances de l'assemblage, en particulier lors d'excitations sismiques. En 1994, l'ASCE [1], a publié le guide de conception pour les joints RCS composites dans les régions sismiques faibles à modérées. Plus récemment, des travaux de recherche ont été consacrés à l'élaboration de directives de conception pour les connexions composites dans les structures de châssis RCS situées dans des zones à forte sismicité. Nishiyama et al. [2], ont élaboré le guide «Steel-Concrete Composite Structures for Seismic Design» pour les ossatures RCS.

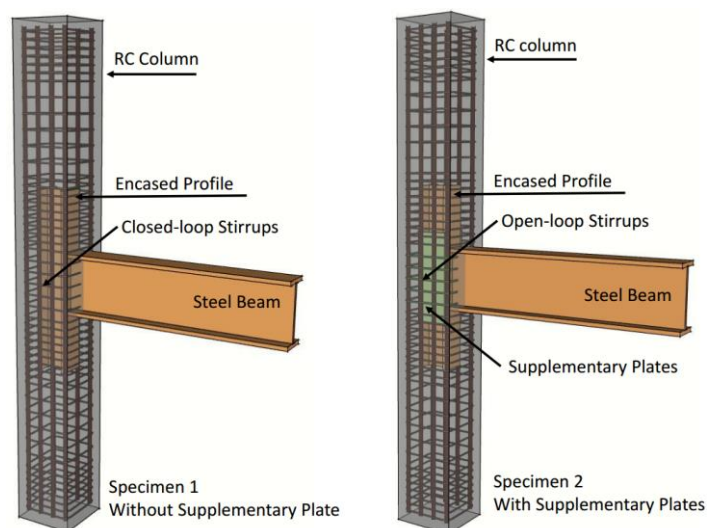


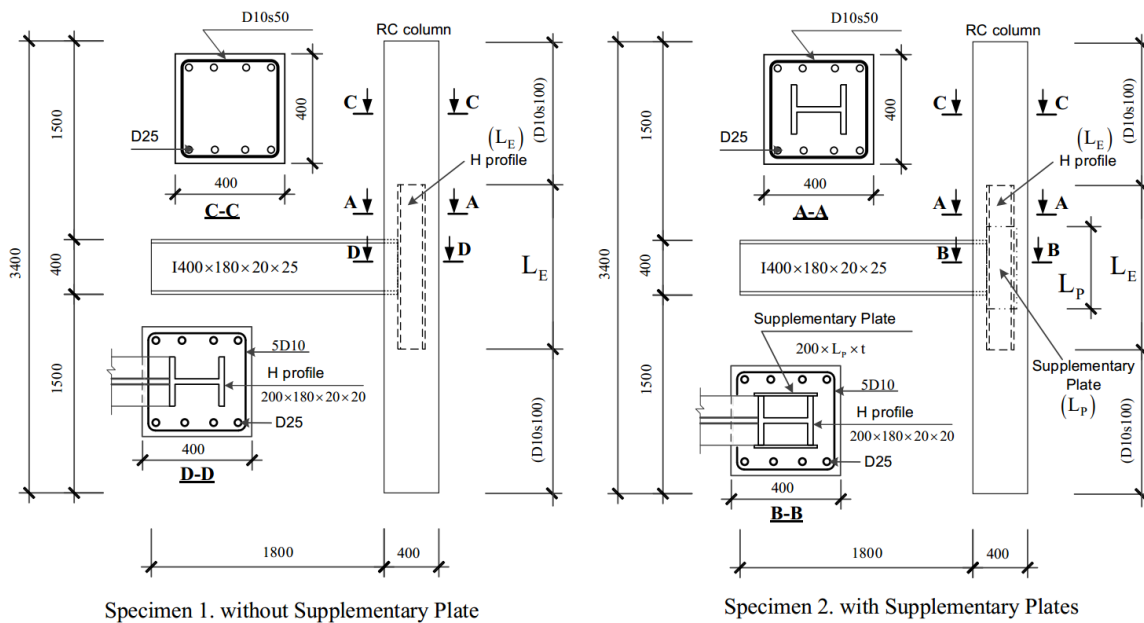
Figure 1 : Spécimens

À la suite du projet européen SMARTCOCO [3], un type d'assemblage RCS, dans lequel un profilé en acier entièrement noyé dans au poteau en béton armé et directement soudé à la poutre en acier (Fig. 2), a été proposé. Avec le profilé en acier entièrement noyé dans au poteau, ce détail de joint permet d'avoir une zone de transmission de force plus grande entre poutre d'acier et poteau par rapport aux joints RCS classiques. Cependant, aucune règle de dimensionnement existante n'est applicable pour ce type d'assemblage. Une étude expérimentale sur le comportement cyclique de cet assemblage menée par Nguyen et al. [4] ont montré qu'il pouvait être utilisé en tant qu'élément dissipatif dans les structures moyennes de classe de ductilité. Toutefois, ce détail d'assemblage nécessite un ensemble complexe des armatures transversales dans la zone de connexion, car ils doivent traverser la poutre en acier. Pour surmonter à cet inconvénient, un nouveau type d'assemblage dans lequel le profilé en acier H était recouvert par deux plaques supplémentaires a été proposé. Ces deux plaques supplémentaires sont ajoutées pour enlever les aciers transversaux dans la zone de connexion. Des études expérimentales sur le comportement statique de ce type d'assemblage récemment réalisées par Nguyen et al. [5] ont indiqué que la présence des plaques supplémentaires peut permettre d'éliminer les armatures transversales dans cette région. Cependant, le comportement cyclique de ce type de connexion n'a pas encore été étudié. Cet article réalise une étude expérimentale sur la performance sismique de ce nouvel assemblage. Deux joints RCS à l'échelle réelle avec et sans plaques supplémentaires ont été testés sous chargement cyclique inversé. Les performances sismiques en termes de capacité portante, de ductilité, de dissipation d'énergie et de rigidité ont été comparées, évaluées et discutées.

## 2 Description de l'étude expérimentale

### 2.1 Géométrie et matériau des assemblages

Les spécimens (appelées SC1 et SC2) consistaient un poteau en béton armé de 3 m de hauteur avec une section transversale carrée de 40x40 cm<sup>2</sup> renforcée par des barres en acier longitudinales de 8  $\Phi$ 25 (illustré à la figure 2). Les armatures transversales sont de 38  $\Phi$ 10 barres avec un espacement constant de 50 mm. La poutre en acier a une longueur de 2 m et une dimension en coupe illustrée à la figure 4. La poutre en acier est soudée à un profilé en H entièrement noyé dans poteau en béton armé. La différence entre le spécimen SC1 et le spécimen SC2 était la présence de deux plaques supplémentaires soudées au profilé en H. La dimension du profilé en H et des plaques supplémentaires est indiquée à la figure. 24. Il est à noter que les aciers transversaux dans la région de connexion du spécimen SC1 ont été passés à travers des trous de 12 mm dans le profile en H afin de jouer le rôle d'armature de cisaillement, alors qu'ils ne l'ont pas été dans le spécimen SC2. Les aciers étaient présents dans la zone de connexion de spécimen SC2 juste pour le renforcement structurel. Les spécimens ont été construits par béton avec une résistance à la compression de 43,2 MPa. La limite d'élasticité et d'plasticité des armatures sont respectivement à 340 MPa et 430 MPa.



*Figure 2 : Géométrie de spécimens*

## 2.2 Dispositif d'essai

La configuration d'essai expérimentale est illustrée à la figure 6. Un vérin hydraulique avec une capacité de 1000 kN et une longueur de course de 75 mm a été utilisé pour appliquer les déplacements latéraux cycliques à la tête de la poutre. Cette application fonctionnait en contrôle de déplacement et était maintenu horizontalement contre le mur résistant du laboratoire. Les conditions aux limites à chaque extrémité du poteau ont été simulées par deux supports.

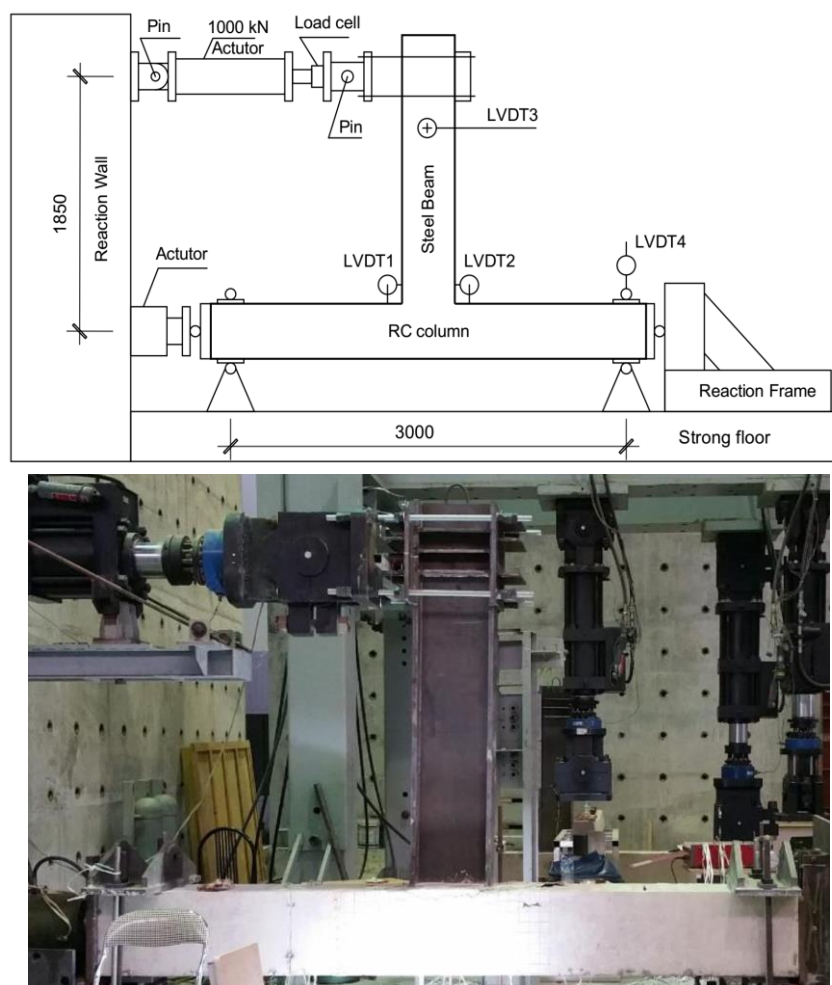


Figure 3 : Dispositif d'essai

### 2.3 Procédure de chargement

Avant de commencer chaque essai, une charge axiale de 800 kN a été appliquée et maintenue constante tout au long de l'essai. Ensuite, le déplacement latéral a été imposé de manière cyclique en tête de poutre. Le cycle de chargement consiste en une série de cycles de déplacement inversés d'amplitude croissante. Les premiers cycles commençaient avec un déplacement relatif de 0,25%, suivies des cycles de 0,5%, 0,75%, 1%, 1,25%, 1,5%, 1,75%, 2%, 2,25%, 2,5%, 2,75%, 3%, 3,5%, 4%.

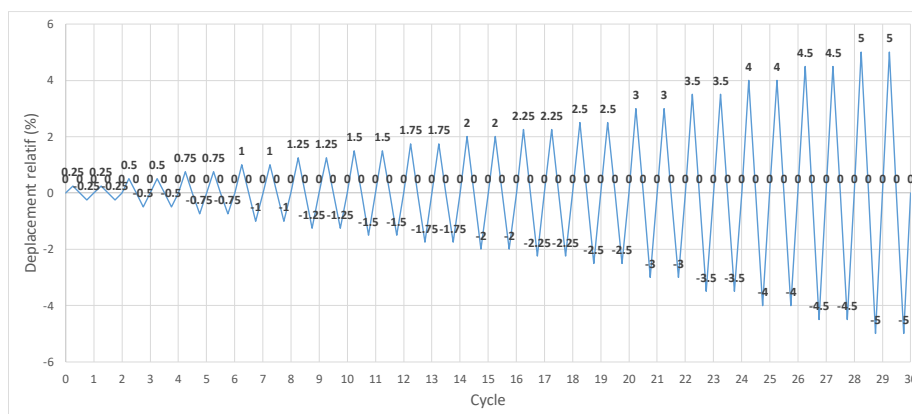


Figure 4 : Chargement cyclique

### 3 Résultats d'essais

#### 3.1 Observations et modes de ruine

Quatre types de fissures ont été observés dans cette étude expérimentale : des fissures horizontales et verticales situées en surface du poteau, des fissures diagonales situées au centre de la zone de connexion, des fissures diagonales en face avant partant des ailes de la poutre. La figure 5 montre la carte d'endommagement de l'assemblage SC1 au cours de l'essai. À 0,5% du déplacement relatif dans le sens du chargement (tension), la première fissure diagonale est apparue au centre de la région du joint. Dans l'autre sens du chargement (compression), quelques microfissures ont également été détectées. Ils sont dus à la force de compression locale résultant de la transmission de la force de cisaillement de la poutre au poteau. Les fissures se sont propagées avec déplacement relatif de 0,75% mais elles se sont concentrées en particulier dans la zone de connexion. À 1% du déplacement relatif, les microfissures formées dans le sens de la traction se sont propagées. La fissure diagonale est apparue dans les deux sens de chargement, mais cette ruine n'a pas eu lieu en dehors la zone de connexion.

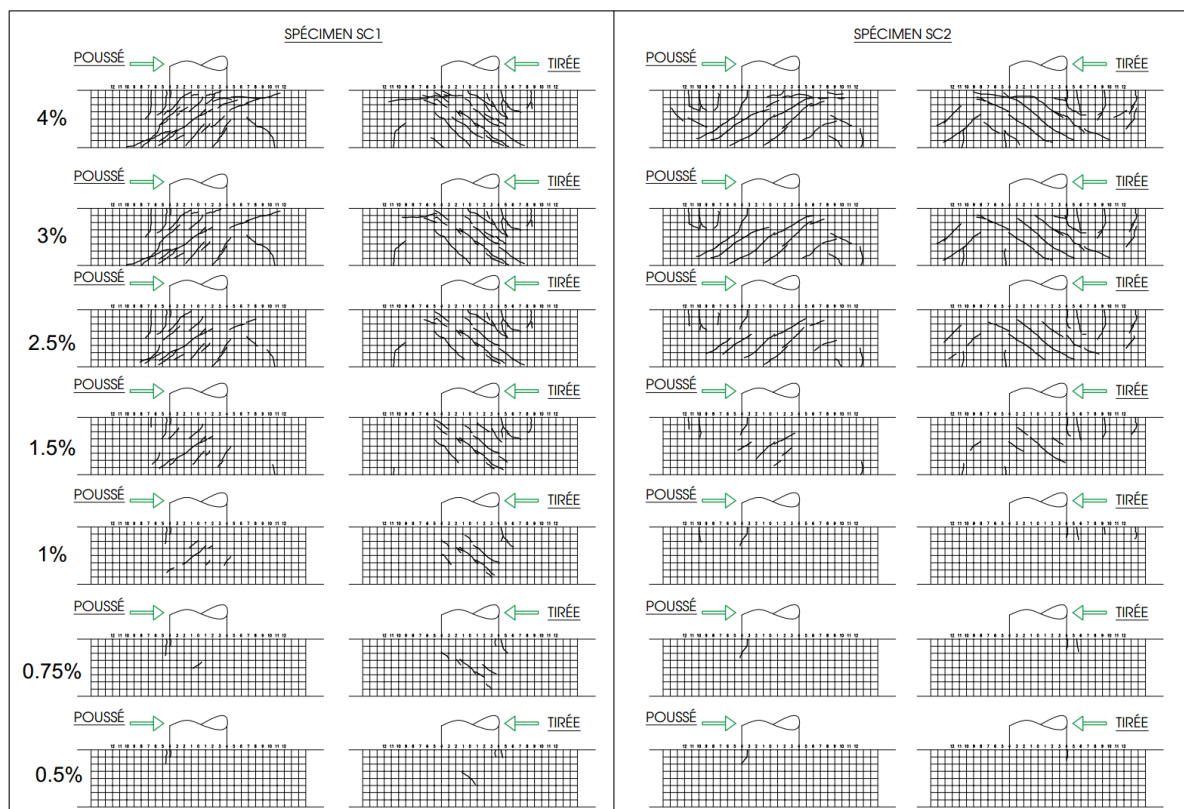


Figure 5 : Modes de ruines

Comme le spécimen SC1, la première fissure apparue dans spécimen SC2 est due à la compression locale. Mais il convient de noter qu'en ajoutant les plaques supplémentaires, le mode de ruine du spécimen SC2 était différent de celui au spécimen SC1. À 1% du déplacement relatif, les endommagements détectés étaient la fissure horizontale située à l'extérieur de la zone de connexion. Ensuite, à partir de 1,5% du déplacement relatif, des fissures diagonales sont apparues dans zone de connexion mais elles se sont moins propagées dans SC2 que SC1. À 2%, 2,5% puis 3% du déplacement relatif, les défaillances se sont développées surtout en dehors de la zone de connexion. Ils

comprennent les fissures diagonales propagées à partir de la zone de connexion, différentes fissures horizontales traversant la moité du poteau et la fissure verticale. Lors de la dernière étape, les fissures diagonales sur la face avant sont reliées à la fissure verticale sur la face latérale du poteau. Ces fissures ont été ouvertes et par conséquent le béton au poteau a été écrasé.

### 3.2 Courbes hystérésis

Les boucles d'hystérésis de la force tranchant par rapport au déplacement relatif des spécimens sont illustrées à la figure 6. Ça trouve que deux spécimens se sont comportés presque de la même manière. Pour chaque boucle, il n'y a pas de « pinching » effet ce qui signifie que les deux spécimens présentent une bonne capacité à dissiper l'énergie. Les déformations résiduelles correspondant au déplacement relatif inférieur à 2% restent très faibles. Cependant, ces déformations sont beaucoup plus prononcées lorsque le déplacement relatif dépasse 2%. De plus, on constate que les déformations résiduelles de SC1 sont plus importantes que celles de SC2.

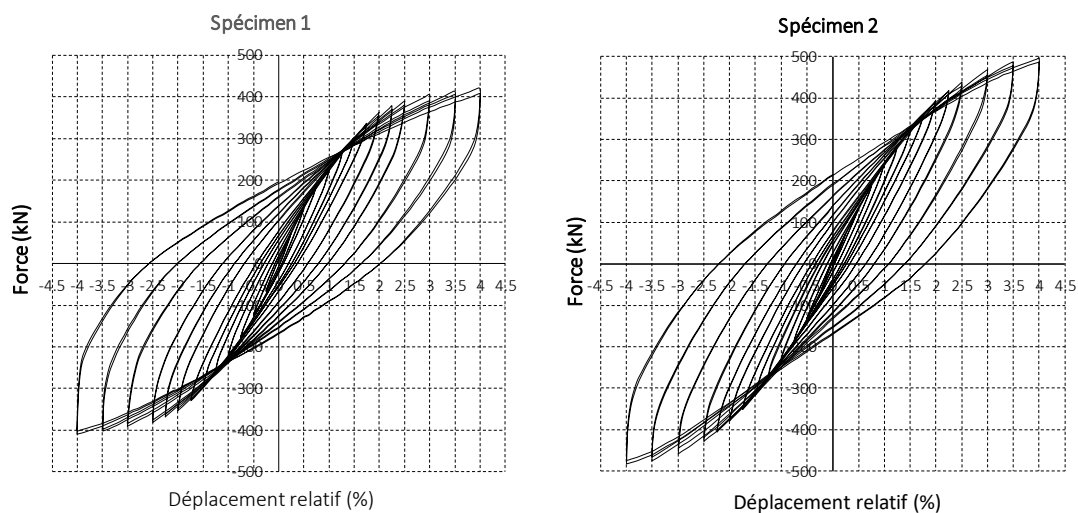


Figure 6 : Boucles d'hystérésis

### 3.3 Dégradation de la rigidité

En raison de la fissuration propagée au cours du chargement, la rigidité des éléments diminue et le phénomène est également appelé dégradation de la rigidité. Dans cet article, la dégradation de la rigidité est évaluée en utilisant la rigidité sécante déterminée à partir de chaque boucle d'hystérésis complète. La rigidité de la sécante a été déterminée comme étant la pente d'une ligne passant par les charges maximales dans les deux sens. Cela représente la capacité de résister à la déformation.

Le taux de dégradation de la rigidité par rapport au déplacement horizontal et à la dérive est illustré à la Fig. 13. Le rapport de dégradation de la rigidité a été calculé comme étant le rapport entre la rigidité sécante au premier cycle du niveau de déplacement et la rigidité initiale du. On peut observer que par rapport au spécimen SC2, la rigidité du spécimen SC1 s'est dégradée plus rapidement. En pratique, on peut observer une dégradation de la rigidité de 35% à la plasticité point [5]. Il est à noter que dans la conception sismique des bâtiments, le comportement élasto- plastique des composants doit être pris en compte par une analyse non linéaire. Toutefois, afin de simplifier le calcul de conception, une analyse

élastique linéaire peut être utilisée avec une rigidité appropriée, à condition que la dégradation de la rigidité des composants de la structure à la plasticité point soit inférieure à 50%. C'est-à-dire que l'assemblage étudié répond à l'exigence de la dégradation de la rigidité pour une utilisation dans le bâtiment sous l'action sismique.

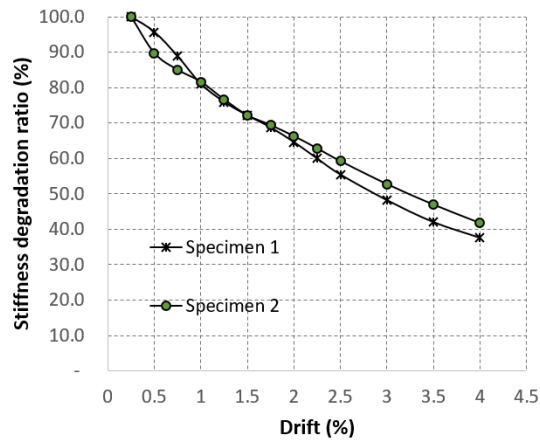


Figure 7 : Variation de la rigidité

### 3.4 Dissipation d'énergie

Les caractéristiques de dissipation d'énergie d'un membre sont une mesure importante de sa performance sismique. Dissipation d'énergie à chaque le cycle est calculé à partir de la zone incluse dans la boucle d'hystérésis à ce cycle. Le figure 8 est présentée le rapport de dissipation d'énergie à chaque niveau de déplacement relatif où deux cycles de chargement ont été exécutés. On peut constater qu'il n'y a pas de différences majeures de dissipation d'énergie entre deux spécimens.

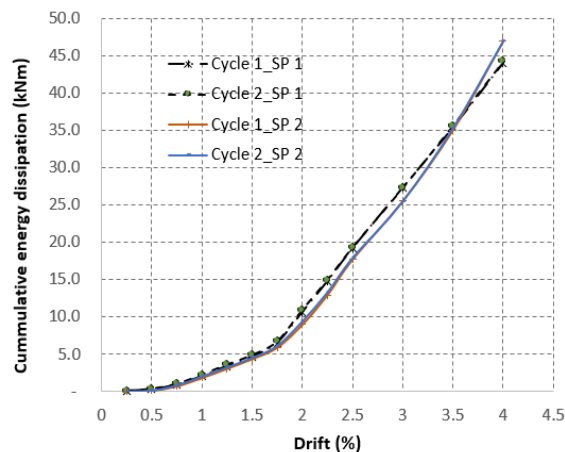


Figure 8 : Dissipation d'énergie cumulée

## 4 Conclusions

Cet article présente le comportement cyclique d'un nouvel RCS assemblage poutre- poteau. L'assemblage étudié a un profilé en H totalement noyé au poteau en béton armé et directement soudé à la poutre en acier. Le profilé en acier H était recouvert par deux plaques supplémentaires dans la zone



de connexions afin d'éviter que les aciers transversaux. Sur la base des observations et des résultats expérimentaux, on peut noter qu'en ajoutant deux plaques supplémentaires dans la zone de connexions, le nouvel assemblage porte plusieurs avantages :

- Deux plaques supplémentaires soudées au profilé en H peuvent omettre les armatures de cisaillement dans la zone de connexion.
- Les déformations résiduelles de SC1 sont plus importantes que celles de SC2.
- La rigidité du spécimen SC2 s'est dégradée moins rapidement que celle du SC1.
- Il n'y a pas de différences majeures de dissipation d'énergie entre deux spécimens.
- D'autres études expérimentales sont nécessaires pour étudier d'autres variables telles que la dimension des plaques supplémentaires, le type du béton.
- Une étude par éléments finis est également envisagée.

## Références

- [1] ASCE Task Committee on Design Criteria for Composite Structures in Steel and Concrete, "Guidelines for design of joints between steel beam and reinforced concrete columns", *Journal of Structural Engineering*, 120-8, (1994), 2330-2357.
- [2] Nishiyama, I., Kuramoto, H., and Noguchi, H. Guidelines: seismic design of composite reinforced concrete and steel buildings, *Journal of Structure Engineering*, 130-2, (2004), 336-342.
- [3] SMARTCOCO Smart Composite Components: Concrete Structures Reinforced by Steel Profiles- Final report: European Committee: Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel (2017).
- [4] X-H Nguyen, DD Le, Q-H Nguyen, O Mirza, Experimental Study on Seismic Performance of New RCS Connection, *Structures*, 9, (2017), 53-62.
- [5] X-H Nguyen, DD Le, Q-H Nguyen, Static behavior of novel RCS through-column-type joint: Experimental and numerical study, *Journal of Steel and Composite Structures*, ISSN: 1229-9367, (2019), in press.
- [6] NAFOSTED (2016), "Experimental and numerical investigation on seismic behavior of composite reinforced concrete and steel joints", The National Foundation for Science and Technology Development, Vietnam.
- [7] Eurocode 4 (1994), EN1994-1-1 Design of composite steel and concrete structures- Part 1: General rules and rules for buildings.