

ETUDE DE LA CONNEXION ACIER-BÉTON DANS LES POUTRES MIXTES

M. Mimoune**, B. Tebbakh* et F. Z. Mimoune**

** : Professeur, Laboratoire de Mécanique des Sols et des Structures

* : Chargé de Cours, Département de Génie Civil Faculté des Sciences de l'Ingénieur - Université de Constantine, Algérie.

Tél./Fax : 213 31 81 89 65 / 213 31 81 89 64. E.mail : mimoune25@yahoo.fr

RÉSUMÉ

Cet article présente une étude expérimentale sur les essais de poussée dits Push-out, soumis à un chargement statique. Les maquettes d'essais comportent différents types de connecteurs. Ces éprouvettes sont testées en vue d'une caractérisation de la connexion acier-béton. Le type du connecteur et le nombre de connecteurs par section constituent les principaux paramètres dans cette étude. L'analyse des résultats d'essais permet de mettre en évidence le rôle du connecteur sur le comportement de la liaison et sur les différents modes de ruine qui peuvent se produire. L'analyse des résultats a montré une certaine différence entre le comportement des différents types de connecteurs à l'état limite de la connexion.

MOTS CLÉS

acier-béton, connecteur, connexion, expérimentation, poutre mixte, push-out.

1. INTRODUCTION

Les constructions mixtes acier-béton sont simple à construire et présentent des temps de réalisation relativement réduits. Leur intérêt économique provient de dimensions plus réduites. La grande flexibilité des constructions mixtes est tout d'abord mise en évidence par la variété de formes possibles de sections elles-mêmes. Les sections se différencient aussi bien par leur forme que par leur composition intérieure, notamment ce qui concerne les organes de liaison, ce qui permet de les adapter aux différents types de sollicitations et de conditions. La mise en évidence simultanée de l'acier et du béton permet de nombreuses possibilités architecturales, l'aptitude à la fabrication est une conséquence toute naturelle de la présence de profilés métalliques. Les constructions mixtes peuvent également présenter une bonne résistance au feu [1], [2] et [3]. Les dernières années ont connu un développement considérable des structures mixtes du fait des recherches menées sur différents plans notamment celui de caractériser la nature de la connexion acier-béton [4] et [5]. Cette connexion est assurée par des organes de liaison qui permettent de réduire ou du moins d'éliminer le glissement à l'interface, afin que la poutre métallique et la dalle de béton agissent ensemble comme un seul élément. Il est indispensable donc de procéder par une étude expérimentale pour évaluer le degré de rigidité de la connexion qui se répercute sur l'état limite d'utilisation et sur l'état limite ultime. Les propriétés de la connexion acier-béton sont déterminées par des essais de type Push-out, qui permettent de déterminer la rigidité de la liaison ainsi que sa résistance au cisaillement. La connaissance de ces deux caractéristiques est en effet fondamentale pour évaluer le comportement d'une poutre mixte. Ces essais portent, d'une part, sur la détermination de la résistance au cisaillement de la connexion et, d'autre part, sur l'évaluation des performances de certains types de connecteurs, en ce qui nous concerne dans cet article.

Les constructions mixtes et l'étude de la connexion en particulier, constituent l'axe de recherche que nous développons au sein du laboratoire de Mécanique des Sols et des Structures. Dans cette étude, on s'intéresse principalement à l'étude de la connexion acier-béton dans les poutres mixtes (figure 1) qui fera l'objet d'une série d'essais push-out sur des éprouvettes munies de différents types de connecteurs. Le type et le nombre de connecteurs sont les paramètres déterminant dans cette recherche. D'autres paramètres peuvent évidemment influencer le comportement de la connexion acier-béton sous chargement statique. Le type de connecteur, par son comportement ductile ou non à différentes étapes de chargement, montre l'intérêt à le prendre en compte comme paramètre essentiel dans cette étude.

2. TYPES DE CONNECTEURS TESTÉS

Les caractéristiques géométriques des éprouvettes testées en laboratoire, sont présentées dans le tableau 1. Nous avons conçu des éprouvettes à partir d'un profilé laminé HE 140 de type A, sur lequel on a soudé les connecteurs. Deux dalles en béton viennent compléter l'éprouvette. Elles ont une épaisseur de 150 mm et munies de quadrillages en acier T12 régulièrement espacé, (figure 2). Quatre types de connecteurs ont été employés : les connecteurs en goujon, les connecteurs en cornière, les connecteurs en forme de S et les connecteurs linéaires en plaques perforées. Nous nous sommes limité d'étudier uniquement l'influence du type de connecteur ainsi que le nombre de connecteurs par section comme le montre la figure 3. Sachant que d'autres paramètres peuvent influencer le comportement de la liaison tels que : l'épaisseur de la dalle de béton, l'emploi ou non de coffrage perdu en tôle nervurée et leur orientations.... Le choix de ces connecteurs, associés au béton, a été dicté surtout par le comportement qu'ils présentent sous l'action d'un effort rasant à l'interface. Les connecteurs en goujon et les connecteurs en cornière sont classés parmi les connecteurs ductiles, par contre les connecteurs linéaires en plaques perforées ont été choisis pour leur comportement rigide. D'ailleurs la réglementation actuelle [2] ne donne aucune indication sur le calcul de la connexion en présence de ces connecteurs. Les connecteurs en forme de S, fabriqués à partir d'un rond à béton de diamètre 16 mm, sont considérés comme très souples, les essais effectués l'ont bien démontré.

3. DISPOSITIF D'ESSAI

Les essais ont été réalisés dans le Laboratoire de Mécanique des Sols et des Structures du département de Génie Civil, sur une machine d'essai universelle de Type UPM 600 avec une force d'essai maximum égal à 2000 KN, équipée de système de compression, l'effort nécessaire pour atteindre la ruine des éprouvettes est appliqué graduellement par palier de 5 KN à travers une plaque métallique permettant sa répartition. Le montage des éprouvettes dans la machine se fait au niveau d'un bâti équipé d'un dispositif de guidage adopté et employé pour les toutes les éprouvettes testées.

4. DISPOSITIFS DE MESURE

La figure 2 montre également le dispositif général de mesure des efforts appliqués, des glissements et des écartements (décollement) éventuels à l'interface acier béton. Ces mesures sont obtenues à l'aide de capteurs de déplacement de Type PY2

(Capteurs linéaires avec palpeur à bille). La mesure de l'effort appliquée à la maquette d'essai est obtenue à l'aide d'un capteur de force pour applications en compression uniquement, de type TC avec une capacité de 3000 KN. Les mesures ont été enregistrées sur un micro-ordinateur moyennant l'utilisation d'une carte d'acquisition de données multifonctions, à gain programmable pour chaque canal d'entrée, qui permet de convertir les signaux analogiques en signaux numériques. Le traitement des résultats d'essais est obtenu par l'emploi d'un logiciel spécifique à ce type d'expérimentation.

5. RÉSULTATS D'ESSAIS

Les résultats obtenus sur les différentes éprouvettes d'essais sont donnés au tableau 2. On précise sur ces tableaux les modes de ruine correspondant à chaque maquette. L'analyse globale des résultats montre que :

- La résistance de la connexion varie d'un type de connecteur à un autre. Ceci est lié essentiellement au comportement du connecteur;
- La résistance de la connexion passe par différents comportements, ceci a conduit des modes de ruine soit par mécanisme du connecteur soit par mécanisme de la dalle de béton;
- La variation du nombre de connecteurs par section semble avoir une répercussion très importante sur leur capacité de déformation, et sur la résistance au cisaillement longitudinal de la dalle de béton qui présente une rupture proche d'un comportement fragile.

6. MODES DE RUINE OBSERVÉS

A la suite des essais, on a rencontré deux grandes catégories de modes de ruine qui s'apparentent en fait au comportement des connecteurs employés. On peut classer les modes de ruine observés expérimentalement comme suit :

- Ruine par plastification des connecteurs ;
- Ruine par rupture des connecteurs ;
- Ruine par éclatement du béton.

En ce qui concerne la première catégorie, qui correspond en fait aux connecteurs ductiles ou souples, dans notre cas le goujon et la cornière, la liaison continue à résister jusqu'à rupture du connecteur (figure 4-photo A), l'écrasement ou la rupture du béton n'est pas à envisager dans ce cas. On a constaté que le connecteur en cornière présente une autre façon de ruine par arrachement, ce qui est rare, (figure 4-photo B). Ceci est du vraisemblablement aux efforts de traction agissant sur le connecteur qui, à notre connaissance, ne sont pas pris en compte dans la modélisation de la connexion acier-béton. Des déformations très importantes ont été enregistrées dans le cas du connecteur en forme de S ; une dissociation totale de la connexion est opérée sans que le connecteur se rompe. Les glissements obtenus ne sont pas négligeables, ils influencent énormément la déformation et la résistance de la poutre mixte. Ce type de connexion s'apparente plutôt à une interaction incomplète entre le profilé métallique et la dalle de béton armé.

L'autre catégorie de mode de ruine, qui correspond à l'atteinte de la résistance de calcul du béton, alors que les connecteurs sont restés intacts, a été constatée pour les éprouvettes munies de deux goujons, trois goujons et celle munies de connecteurs en plaques perforées, (figure 4-photo B). Ce genre de liaison est considéré complet du fait de la parfaite association entre les matériaux, seulement il faut veiller à ce que la dalle de béton ait une résistance au cisaillement suffisante pour qu'il n'y ait pas un dysfonctionnement de la connexion acier-béton.

7. INFLUENCE DU TYPE DE CONNECTEUR

Sur la figure 5, on a représenté la variation de la force appliquée en fonction du glissement à l'interface acier-béton, pour tous les connecteurs testés. On peut à priori distinguer deux catégories de comportement : le premier qu'on a qualifié de

ductile a été obtenu avec un connecteur en goujon, un connecteur en cornière et avec un connecteur en forme de S. Le deuxième comportement qualifié de rigide, a été obtenu avec un connecteur en plaque perforée, deux connecteurs en goujon et trois connecteurs en goujon.

Avec la première catégorie on peut atteindre des forces de cisaillement de l'ordre de 370 KN, pour l'ensemble des connecteurs d'une éprouvette qui comporte quatre connecteurs. On constate que le connecteur en cornière donne les meilleurs résultats. On peut remarquer aussi que le comportement du connecteur en forme de S évolue de la même manière que celui du connecteur en cornière jusqu'à la limite de résistance de la connexion puis chute brutalement. Ceci est dû essentiellement à la formation d'un cône de rupture autour du connecteur. On peut aussi attribuer ce relâchement à la déformation excessive du connecteur en forme de S du fait de sa grande ductilité.

En ce qui concerne l'état des dalles en béton armé, en présence des connecteurs ductiles ou souples, on n'a enregistré aucune anomalie malgré que la transmission de l'effort rasant entre les connecteurs et la dalle de béton armé s'effectue par cisaillement longitudinal de la dalle. Le connecteur en goujon s'est rompu, par contre le connecteur en cornière a montré deux modes de ruine. En effet, un des connecteurs a subi un déchaussement total de la dalle de béton, malgré la présence d'une barre d'acier de diamètre 6 mm placée à travers un trou dans l'aile du connecteur, qui avait pour rôle d'empêcher le déchaussement comme c'est préconisé par le code de calcul [2]. L'autre connecteur en cornière a subi d'énormes déformations jusqu'à rupture totale, ceci est dû à son comportement souple qui permet un calcul plastique de la résistance ultime de sections mixtes au même titre que les goujons soudés.

Avec la deuxième catégorie de connecteurs considérés rigides, la transmission de l'effort rasant par cisaillement longitudinal de la dalle a été observé dès les premiers chargements. Les dalles de béton armé ont été scindées quasiment en deux dalles superposées surtout dans le cas de trois connecteurs en goujon. Cette rupture a été plus importante encore dans le cas des éprouvettes avec connecteurs en plaques perforées (figure 4-photo B). La présence du quadrillage en acier n'a pas empêché le cisaillement du béton. Il est vraisemblable que la disposition du ferrailage à travers les trous des plaques perforées a joué un effet amplificateur. On a constaté aussi que la disposition du ferrailage au niveau de la tête des goujons (deux et trois goujons) favorise le cisaillement de la dalle (figure 4-photo C). Il serait intéressant, à notre avis dans le cas de connecteurs rigides, de placer un quadrillage à deux nappes afin de rapprocher le comportement du béton au cisaillement à celui des connecteurs.

8. INFLUENCE DU NOMBRE DE CONNECTEURS EN GOUJON

A l'état de service, la charge augmente linéairement jusqu'à environ 93% de la charge de ruine. La force de cisaillement agissant à l'interface acier-béton est transmise principalement par la section située à la base du connecteur. La concentration de l'effort à cet endroit, au niveau de la soudure du connecteur, conduit à la rupture du goujon (figure 6). Le passage à deux goujons, a montré une amélioration de la résistance au cisaillement de goujons ce qui n'a pas conduit à leur ruine ; mais plutôt une concentration d'effort plus importante au niveau de la dalle de béton (figure 6). La connexion réalisée avec trois connecteurs a permis de constater que la section des goujons était tellement importante que la dalle de béton a subi tout l'effort de cisaillement. Le cisaillement longitudinal de la dalle est apparu dans l'éprouvette à deux goujons à 90% de la charge de ruine. Par contre, dans le cas d'éprouvette à trois goujons, le cisaillement est apparu au début du chargement. Sur la figure 7, on peut remarquer que le passage à plus de deux connecteurs conduit à un comportement différent, la connexion devient rigide. Ce constat peut nous orienter vers le choix du type de la liaison. En effet, on peut passer d'une connexion

incomplète à une connexion complète en jouant sur le nombre de connecteurs à placer dans une section mixte de poutre. Le nombre de connecteur augmente la résistance au cisaillement de la connexion au détriment de la dalle de béton. Dans ce cas il faudrait chercher l'optimum pour concilier les deux tout en restant dans des fourchettes raisonnables du point de vue économique et pratique.

La figure 8 nous renseigne également sur les plages de glissement que peuvent subir les poutres mixtes ; ces valeurs restent en deçà de la valeur ultime 6 mm préconisée par la réglementation [2].

9. CONCLUSION

L'analyse du comportement de la connexion acier-béton et des connecteurs de cisaillement, a permis de faire ressortir les paramètres qui ont une influence directe sur la connexion acier-béton dans les poutres mixtes, et la divergence qui peut exister entre les résultats obtenus sur différents types de connecteurs. L'étude a permis également de mettre en évidence le rôle joué par le nombre de connecteurs sur leur mode de déformation et de rupture de la connexion acier-béton. La contribution du béton à la résistance au cisaillement a été mise à rude épreuve avec les connecteurs rigides. Le connecteur par son comportement influence le mode de ruine de la connexion. La possibilité de faire travailler le connecteur aux efforts de traction dus au soulèvement de la dalle doit être prise en compte. Ces résultats permettront de mieux situer les phénomènes et la prise en compte de certains paramètres afin d'une modélisation du comportement de la connexion acier-béton et des poutres mixtes.

10. BIBLIOGRAPHIE

[1] APK (Association pour la promotion de l'enseignement de la construction en acier). 1996.

Construction Métallique et Mixte Acier-Béton. Calcul et dimensionnement selon les

[2] Eurocodes 3 et 4. Editions Eyrolles, Paris. pp. 322-335. ENV (Version Européenne nationale). 1994-1-1. 1992. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Part 1.1 : General rules and rules of building. European committee for standardisation.

[3] Hirt, A.M. et Bez, R. 1996. Traité de Génie Civil - Construction Métallique. Notions fondamentales et méthodes de dimensionnement. Volume 10. Presse Polytechnique et Universitaire Romandes, Suisse. pp. 345-367.

[4] Klaiber, F.W. and Wipf, T.J. 2000. An alternate shear connector for composite action. Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings. pp. 115-120.

[5] M., Mimoune, F.Z., Mimoune, Tebbakh, B. Et Tah, A. 2005. Slip measurement at the steel - concrete interface in push-outs tests. 6th International Congress. Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities. Dundee-Scotland. Paper accepted.

Essais	Connecteurs			Dalles de béton		
	Hauteur du connecteur (mm)	Diamètre ou épaisseur (mm)	Nombre de connecteurs par section	Hauteur (cm)	Largeur (cm)	Épaisseur (cm)
Un goujon	19	16	1	75	40	15
Deux goujons	19	16	2	75	40	15
Trois goujons	19	16	3	75	40	15
Cornière	19	5	1	75	40	15
En forme de S	10	16	1	75	40	15
Plaque perforée	19	5	1	75	40	15

Tableau-1 Caractéristiques géométriques des maquettes d'essais

Essais	F_u (KN)	δ_u (mm)	F_s (KN)	δ_s (mm)	F_u/F_s	δ_u/δ_s	Mode de ruine
Un goujon	345	3	300	1.2	1.15	2.5	Rupture des connecteurs
Deux goujon	645	3.75	640	2.2	1.0	1.7	Eclatement du béton
Trois goujon	770	1.8	700	0.8	1.1	2.25	Eclatement du béton
Cornière	370	4.9	260	0.7	1.42	7	-Rupture des connecteurs - Arrachement des connecteurs
En forme de S	335	3.2	250	1.5	1.34	2.13	Plastification des connecteurs
Plaque perforée	675	4.8	610	2.0	1.11	2.4	Eclatement du béton

Tableau-2 Résultats d'essais

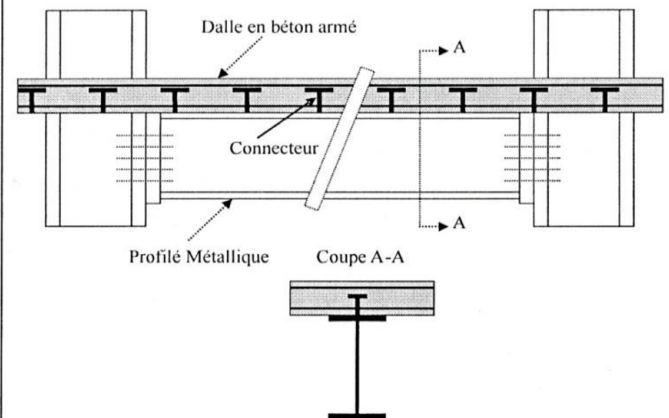


Figure-1 Poutre mixte acier-béton

Nota : F_u (F_s), charge ultime (de service) ; δ_u (δ_s), glissement ultime (service).

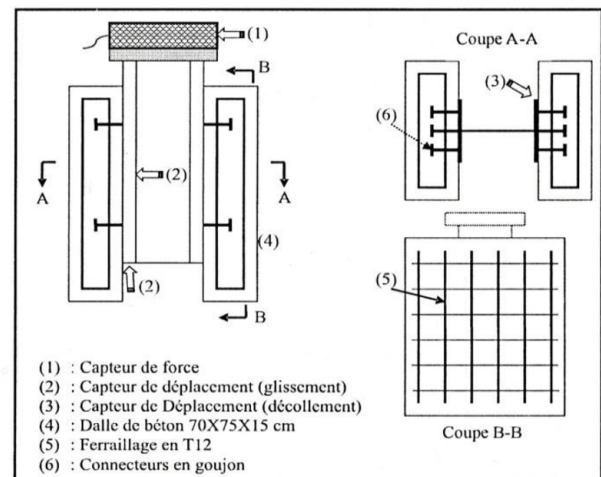


Figure-2 Eprouvette d'essais Push_out

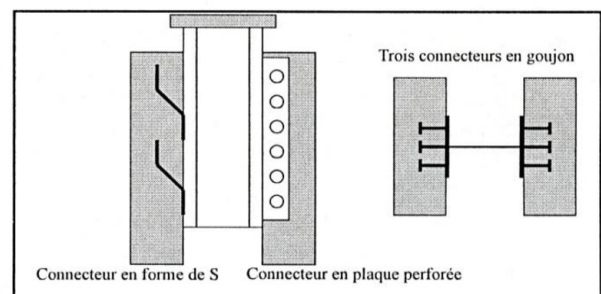


Figure-3 Connecteurs étudiés

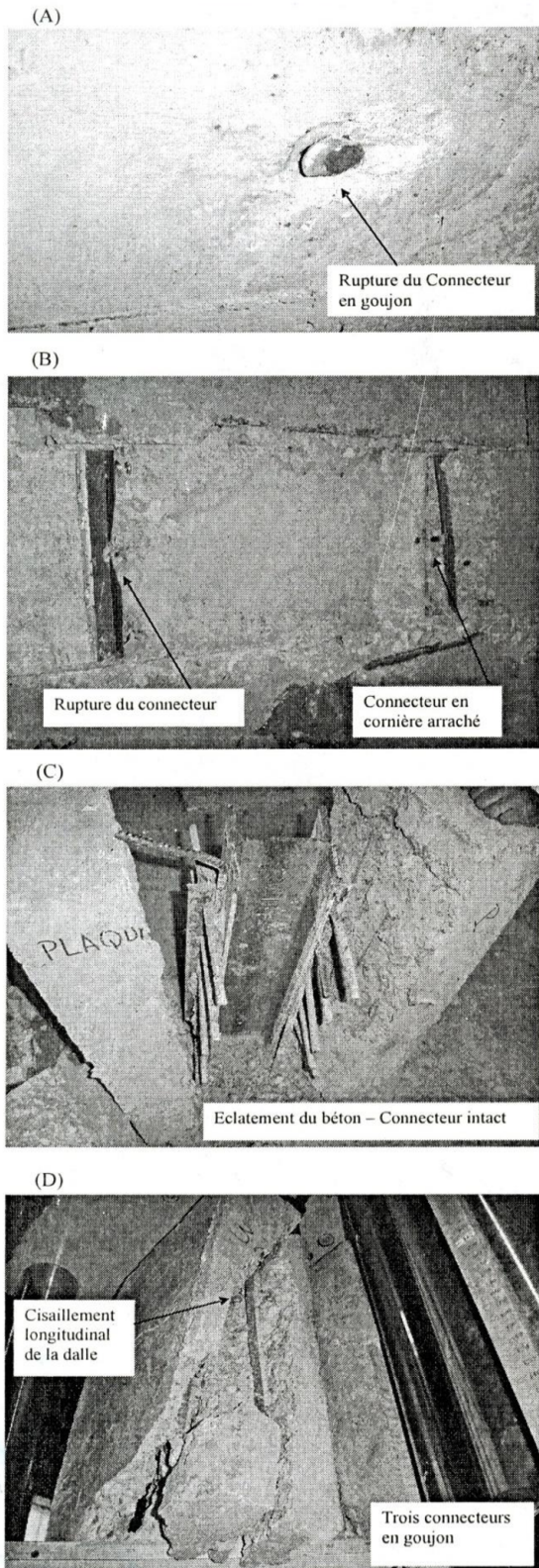


Figure 4- Modes de ruine de la connexion acier-béton
 (A) Rupture du connecteur en goujon.
 (B) Rupture et arrachement du connecteur en cornière
 (C) Eclatement du béton Connecteur en plaque perforée
 (D) Cisaillement de la dalle cas de trois goujons.

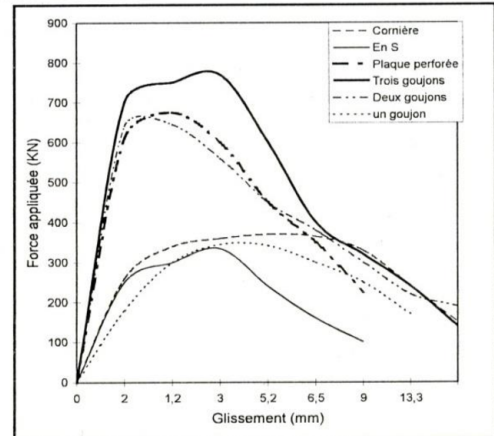


Figure 5- Influence du type de connecteur sur la résistance de connexion

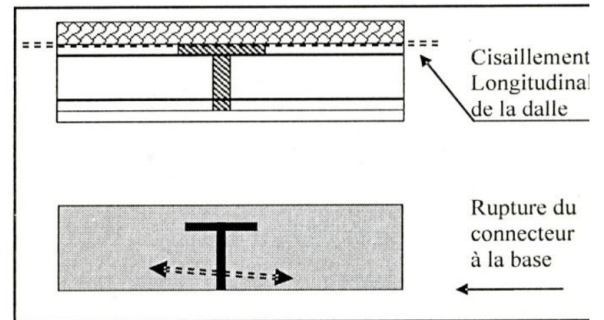


Figure-6 Modes de ruine de la dalle et du connecteur

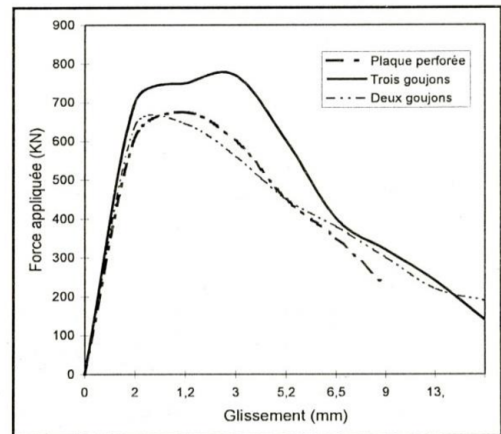


Figure-7 Variation de la force appliquée en fonction du glissement de connecteurs rigides.

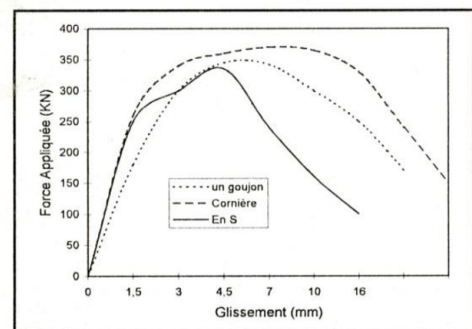


Figure 8- Variation de la force appliquée en fonction du glissement