

## CALCUL DES POUTRES MIXTES SIMPLEMENT APPUYEES ETUDE DE LA CONNEXION ACIER-BETON

Reçu le 04/10/2006 – Accepté le 27/05/2008

### Résumé

Dans cet article, on présente le principe de dimensionnement des poutres mixtes simplement appuyées de classes de section 1 et 2. On présente également une étude expérimentale sur les essais de poussée dits Push-out, sur des éprouvettes comportant différents types de connecteurs, afin de caractériser la connexion acier-béton.

Le type du connecteur et le nombre de connecteurs par section constituent les principaux paramètres dans les essais. 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.

**Mots clés** : Acier-béton, connecteur, connexion, essais, poutre mixte, push-out.

### Abstract

In this article, one presents the principals of the merely supported composite beams of classes 1 and 2. One also presents an experimental survey on the tests of thrust said push-out, on test-tubes including different type of connectors, in order to characterize the steel-concrete connection.

The type of connector and the number of connectors by section constitute the main parameters in the tests. The analysis of the results of tests permits to put in evidence the role of the connector on the behaviour of the connection and on the different collapses that can occur.

**Keywords** : Steel-concrete – connector – connection – tests – composite beam – push-out.

**M. MIMOUNE,  
B. BETTAKH  
F.Z. MIMOUNE**

Laboratoire de Mécanique  
des Sols et des Structures –  
Département de Génie Civil  
Faculté des Sciences de  
l'Ingénieur –  
Université Mentouri  
Constantine - Algérie

### ملخص

نقدم في هذا البحث مبادئ تحديد أبعاد الكمرات المركبة التي تتركز على مساند بسيطة و مصنفة من الدرجة الثانية حسب الكود الأوروبي رقم 4. كما نقدم كذلك دراسة تجريبية تعتمد على طريقة الضغط القاص لتعيين نوعية الارتباط بين مقطع الفولاذ و البلاط الخراساني.

العوامل الأساسية التي تدرس في التجربة تتمثل في عدد و نوع عناصر الربط. التحليل التجريبي سيمكن من تحديد مدى انفعال عناصر الربط و تأثيرها على نوعية الربط و على طريقة تهشم نماذج التجربة

**الكلمات المفتاحية**: صلب – خرسانة – عناصر الربط – تجربة – كمرة مركبة

La construction mixte acier-béton n'est pas récente ; son utilisation dans les bâtiments et dans les ouvrages d'art repose sur des qualités complémentaires. En comparaison avec les constructions en acier ou en béton armé, la construction mixte peut être compétitive en terme de coût global, dans le cas des bâtiments à plusieurs étages mais également pour les ouvrages d'art de moyenne portée. A notre connaissance, la réglementation régissant la construction mixte acier-béton, dans notre pays, est inexistante.

La mise en évidence simultanée de l'acier et du béton permet de nombreuses possibilités architecturales, l'aptitude à la préfabrication est une conséquence toute naturelle de la présence de profilés métalliques. La construction mixte offre plusieurs avantages tels que la réduction de la hauteur des planchers, la réduction du poids de la structure métallique à chargement égal, augmentation de la rigidité flexionnelle du plancher d'où une réduction de la flèche en service et amélioration sensible du comportement vis-à-vis de l'incendie [1].

Les problèmes de comportement que présentent les éléments mixtes sont une des préoccupations principales des chercheurs. Dans la plupart des cas, la capacité d'un élément structural est limitée par des phénomènes, qui apparaissent à divers états de chargement et à la limite d'utilisation. Le matériau acier, qui a une grande ductilité, se comporte bien sous l'action de la traction et de l'effort tranchant ; le béton montre un bon comportement sous sollicitation de compression. Cette association, entre l'acier et le béton, diffère de celle du béton armé par le rôle essentiel que joue la connexion à l'interface acier-béton. Cette connexion mécanique, offre une résistance importante au cisaillement à l'interface des deux matériaux, leur permettant de travailler ensemble en flexion [2].

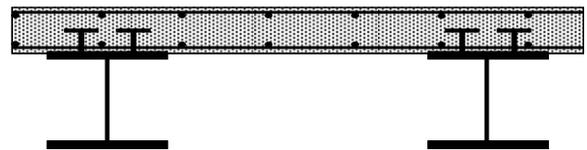
Dans la pratique, on peut rencontrer trois types principaux d'éléments mixtes : les poteaux mixtes, les dalles mixtes et les poutres mixtes. Ces dernières, essentiellement sollicitées en flexion, sont constituées d'un profilé en acier sur lequel s'appuie une dalle en béton armé, connectés mécaniquement au moyen d'organes de liaison, dit connecteurs, dont le rôle est d'empêcher ou, du moins, de limiter le glissement éventuel à l'interface acier-béton. 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. 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.

## 1. POUTRES MIXTES - MATERIAUX MIS EN ŒUVRE

La réalisation des éléments structuraux mixtes, nécessite généralement quatre matériaux de base :

- l'acier de construction,
- l'acier d'armature,
- les tôles profilées en Acier,
- le béton.

Les poutres mixtes peuvent être de la forme illustrée sur la figure 1. Il s'agit en général d'une liaison entre un profilé métallique et une dalle en béton armé. Cette dalle peut être coulée sur un coffrage non permanent ou sur un coffrage permanent, comme par exemple une tôle profilée en acier ou sur une série de prédalles. Le type du profilé en acier peut varier suivant le type d'application (il peut, par exemple, être tubulaire ou à treillis). Un enrobage partiel du profilé métallique procure une augmentation de la résistance vis-à-vis du feu et au flambement.



**Figure 1** : Section mixte Acier-Béton

En ce qui nous concerne dans cet article, ce sont les poutres mixtes dont les dalles sont coulées sur un coffrage non permanent.

### 1.1. Dimensionnement des Poutres mixtes

Les Vérifications à l'état limite ultime des poutres mixtes doivent être effectuées quant aux points suivants :

- la résistance des sections transversales critiques au moment de flexion et au cisaillement vertical,
- la résistance au cisaillement longitudinal,
- la résistance de l'âme au voilement par cisaillement et à la compression locale sous charges transversales,
- la résistance au déversement.

La classification des sections et la notion de largeur participante sont deux concepts importants qui servent de base au dimensionnement des poutres mixtes à l'état limite ultime.

La classification des sections permet de calculer la résistance des sections transversales en fonction de leur capacité à atteindre pleinement la plastification sur toute la hauteur de la section ; ce concept représente l'élançement de cette dernière. Quant à la

largeur participante, elle permet la prise en compte de l'effet de traînage du cisaillement [3].

La classe 1 et 2 permettent de prendre en compte une distribution rectangulaire des contraintes, qui dépendent également du signe du moment de flexion agissant au droit de la section. La classe adoptée correspond à la plus faible parmi celles déterminées pour chacun des éléments. Les limites fixées aux minceurs de la semelle comprimée et de l'âme d'une poutre métallique sont identiques à celles du CCM 97 et de l'Eurocode 3 [4, 5]. Pour une poutre mixte simplement appuyée, il peut s'agir de la semelle supérieure ou de l'âme de la section métallique. La dalle de béton prévient le voilement de la semelle comprimée grâce aux liaisons des connecteurs de cisaillement. Le voilement de la semelle peut donc être considéré comme impossible et la semelle est considérée de classe 1 lorsque l'axe neutre de la section mixte est situé dans la dalle ou dans la semelle adjacente, cette dernière étant considérée de classe 1, de même pour la section mixte puisque l'âme est totalement tendue. Dans le cas où l'axe neutre plastique est dans l'âme, son élançement doit être vérifié suivant la même procédure du CCM 97 et de l'EC3, afin de déterminer la classe de l'âme et ensuite de la section.

### 1.2. Moment plastique résistant de calcul des sections de classe 1 et 2.

Pour le calcul de la résistance, on suppose que :

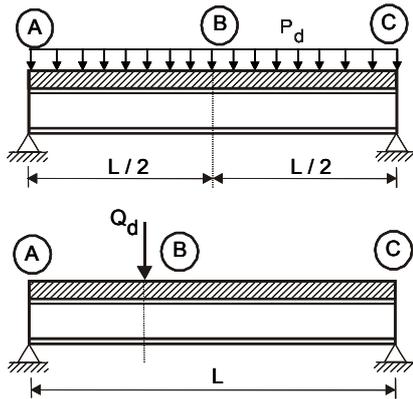
- l'interaction est complète,
- toutes les fibres du profilé sont plastifiées en traction ou en compression,
- la distribution des contraintes sur la hauteur de la zone comprimée de béton est uniforme,
- la résistance à la traction du béton est négligée,
- les armatures de la dalle sont plastifiées sous la contrainte de calcul, lorsqu'elles sont sollicitées en traction,
- la contribution des armatures au moment de résistance de la section peut être négligée.

Dans le cas général d'une poutre mixte dont l'axe des ondes de la tôle profilée est perpendiculaire à l'axe longitudinal du profilé métallique. La hauteur possible de béton comprimé est réduite à la hauteur  $h_c$  située au dessus de la hauteur des ondes  $h_p$ . Dans le cas d'une dalle pleine  $h_p = 0$ . La valeur de calcul du moment de résistance positif  $M_{pl,Rd}^+$  dépend de la position de l'axe neutre plastique. On peut distinguer donc trois possibilités :

- L'axe neutre plastique situé dans la dalle, c'est le cas où la résistance plastique de la dalle en compression est supérieure à la résistance plastique du profilé en traction. L'axe neutre de flexion plastique se trouve localisé dans l'épaisseur  $h_c$  du béton de la dalle si  $F_c > F_a$  et détermine l'équilibre de translation de la section mixte.
- L'axe neutre plastique situé dans la semelle du profilé en acier, cette situation est valable si la résistance plastique de la dalle en compression est inférieure à la résistance plastique du profilé en traction. La cote de l'axe neutre plastique est donc supérieure à l'épaisseur totale de la dalle ( $h_c+h_p$ ). Pour que l'axe neutre plastique se situe dans la semelle d'épaisseur  $t_f$  et de largeur  $b_f$ , il faut en plus que la différence entre la résistance plastique de la dalle en compression et la résistance plastique du profilé en traction soit inférieure ou égale à deux fois l'effort normal plastique de la semelle du profilé.
- L'axe neutre plastique situé dans l'âme du profilé en acier est rencontré simultanément dans le cas où la résistance plastique de la dalle en compression est inférieure à la résistance plastique du profilé en traction, et la différence entre la résistance plastique de la dalle en compression et la résistance plastique du profilé en traction est supérieure à deux fois l'effort normal plastique de la semelle du profilé.

### 1.3. Dimensionnement de la connexion en Classe 1 ou 2

Pour cela la poutre est considérée comme une série de "longueurs critiques" (AB et BC) définies par les distances entre les sections critiques correspondants aux points de moment maximum, aux appuis et aux positions des charges concentrées, figure 2. L'effort total de cisaillement longitudinal exercé sur chaque longueur critique est donné égal à la plus petite des résistances du profilé en acier et de la section de béton. Les connecteurs étant supposés ductiles, ils autorisent une redistribution plastique de l'effort rasant jusqu'à reprendre pratiquement tous le même effort, qui est la résistance de calcul d'un seul connecteur. Le nombre de connecteurs par longueur critique, nécessaire pour obtenir une connexion complète est le rapport entre l'effort de cisaillement longitudinal et la résistance de calcul du connecteur. Ces connecteurs peuvent généralement être espacés uniformément sur chaque longueur critique. Si le nombre de connecteurs est inférieur à celui déterminé ci-dessus, l'interaction entre la poutre et la dalle est dite partielle.

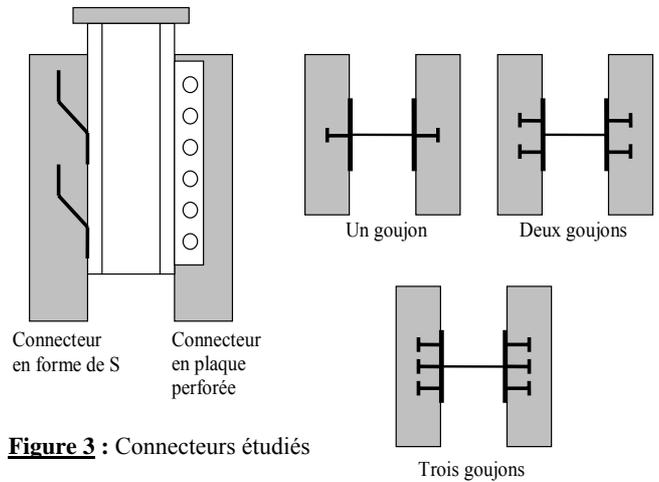


**Figure 2 :** Longueurs critiques des poutres simplement appuyées

Cependant si les connecteurs sont "ductiles" et que la section est de Classe 1 ou 2, les principes du dimensionnement mixte sont toujours d'application. Les connecteurs ductiles sont ceux qui peuvent présenter un glissement suffisant à l'interface acier-béton, comme on va le voir dans la partie expérimentale, tout en maintenant leur résistance au cisaillement. Les goujons à tête peuvent généralement être considérés comme ductiles ; mais dès qu'on augmente leur nombre, par section de poutre mixte, le groupe de goujons travaille ensemble formant un bloc et devient rigide.

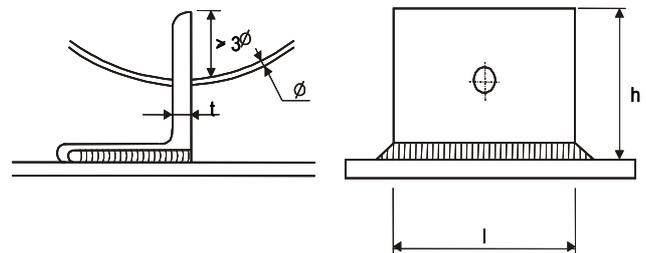
## 2. RESISTANCE DES CONNECTEURS

Les connecteurs placés à l'interface entre le profilé et la dalle en béton, figure 3, assurent une reprise des efforts de cisaillement longitudinaux, ce qui permet d'obtenir une section mixte dont les différentes composantes travaillent ensemble en flexion. Une distinction assez catégorique est opérée entre les connecteurs ductiles et les connecteurs non ductiles. Un connecteur est dit ductile lorsqu'il présente une capacité de déformation suffisante en glissement pour justifier l'hypothèse d'un comportement plastique-parfait de la connexion en cisaillement [2]. La connexion peut être totale ou partielle selon le type de connecteurs et leur nombre. Les connecteurs de cisaillement et leur nombre déterminent si la connexion au cisaillement est complète (rigide, raide) ou incomplète (semi-rigide, faible, légère) par comparaison à la rigidité des éléments assemblés (poutre métallique et dalle béton). Dès lors, une définition claire entre ces deux cas ne peut être donnée. Parmi les connecteurs qu'on a testés, le connecteur en forme de S qui présente un comportement très ductile, par contre le connecteur linéaire en plaque perforée présente un comportement très rigide.



**Figure 3 :** Connecteurs étudiés

Dans le cas des connecteurs en cornières, pour s'opposer au soulèvement de la dalle lorsque la poutre fléchit, une armature filante doit traverser l'aile de la cornière ; son diamètre minimal  $\varnothing$  est fonction de la résistance du connecteur [3], figure 4. Cette armature a été placée dans le cas des connecteurs en cornières testés dans cette étude.



**Figure 4 :** Cornière soudée avec filant

Les problèmes de soudure des connecteurs sur chantier ont amené les chercheurs à concevoir de nouveaux types, qui prévoient l'enfoncement à froid des connecteurs à l'aide de clous spéciaux. Ces derniers sont constitués d'une cheville similaire aux connecteurs de type Nelson, insérés dans une plaquette de base adéquatement façonnée et rigidifiée. Deux clous de fixation, de très haute résistance et plantés au moyen d'un cloueur à poudre, assurent l'assemblage rigide du connecteur avec le profilé en acier. En ce qui nous concerne, ces connecteurs nécessitent un équipement léger pour leur fixation, mais reste très coûteux.

La capacité portante du connecteur et l'efficacité de la connexion acier-béton ont fait l'objet d'expérimentation, dans notre laboratoire, en s'appuyant sur des tests de type « Push-out », afin de déterminer les caractéristiques mécaniques des

organes de connexion et celles de la liaison. La figure 5 montre la maquette utilisée dans un essai « Push-out », qui permet la mesure du glissement à l'interface profilé métallique - dalle de béton.

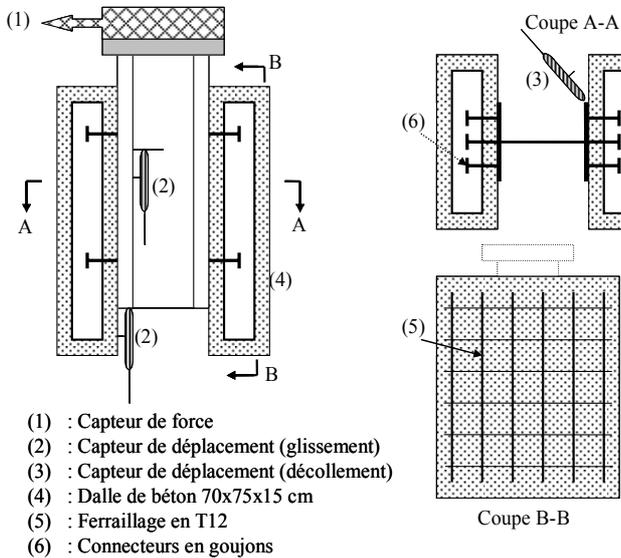


Figure 5 : Epreuve d'essais Push-out

### 2.1. 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 soude les connecteurs [6],[7]. Deux dalles en béton viennent compléter l'éprouvette ; Elles ont une épaisseur de 150 mm et munies de quadrillages en acier T12 régulièrement espacé. 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 limités d'étudier uniquement l'influence du type de connecteur ainsi que le nombre de connecteurs par section. 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 en Europe ne donne aucune indication sur le calcul de la connexion en présence de ces connecteurs [3]. 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. 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.

### 2.2. Dispositif d'essai et moyens de mesures.

Les essais ont été réalisés dans sur une machine d'essai universelle avec une force d'essai maximum égal à 2000 KN, 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 employé pour les toutes les éprouvettes testées. La figure 5 montre 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.

Tableau 1 : Caractéristiques géométriques des maquettes d'essais

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

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.

### 3. RESULTATS D'ESSAIS ET COMMENTAIRES

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.

**Tableau 2** : Résultats d'essais

Essais	$F_u$ (KN)	$\delta_u$ (mm)	$F_s$ (KN)	$\delta_s$ (mm)	Mode de ruine
Un goujon	345	3	300	1.2	Rupture des connecteurs
Deux goujons	645	3.75	640	2.2	Eclatement du béton
Trois goujons	770	1.8	700	0.8	Eclatement du béton
Cornière	370	4.9	260	0.7	Rupture des connecteurs Arrachement des connecteurs
En forme de S	335	3.2	250	1.5	Plastification des connecteurs
Plaque perforée	675	4.8	610	2.0	Eclatement du béton

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.

A la suite des essais, on a obtenu deux grandes catégories de modes de ruine qui s'apparente 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, 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 malgré la présence de l'armature filante qui traverse l'aile de la

cornière. 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 6-photo A et 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.

#### 3.1. Influence du type de connecteur.

Sur les figures 7 et 8, 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. Cette est due 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.



**Photo A** : cas de trois goujons



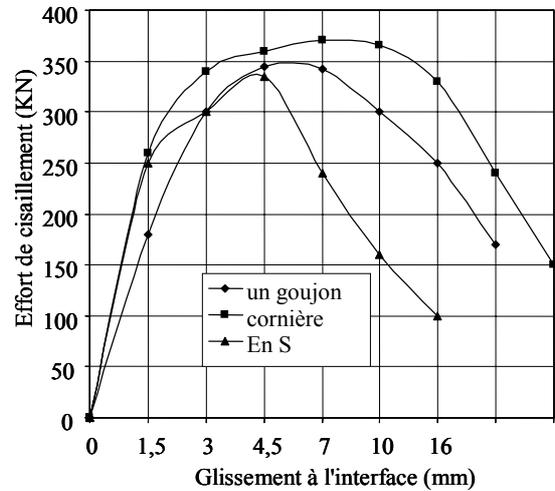
**Photo B** : cas de deux goujons

**Figure 6** : Cisaillement du béton – cas de trois goujons

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. L'autre connecteur en cornière a subi d'énormes déformation jusqu'à rupture totale, ceci est dû à son comportement souple qui permet un calcul plastique de la résistance ultime des sections mixtes au même titre que les goujons soudés.

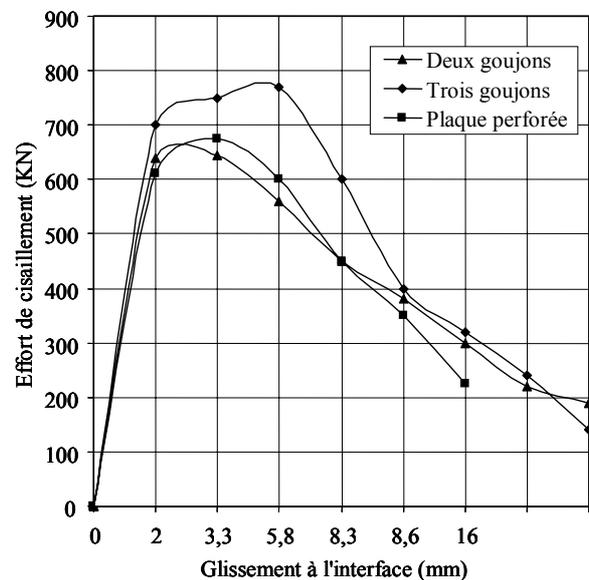
Avec la deuxième catégorie de connecteurs considérés rigides, la transmission de l'effort rasant par

cisaillement longitudinal de la dalle a été observé des les premiers chargements. Les dalles de béton ont été scindées quasiment en deux dalles superposées surtout dans le cas de trois connecteurs en goujon.



**Figure 7** : Variation de l'effort de cisaillement en fonction du glissement à l'interface : Cas des connecteurs ductiles

Cette rupture a été plus importante encore dans le cas des éprouvettes avec connecteurs en plaque perforées. 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.



**Figure 8** : Variation de l'effort de cisaillement en fonction du glissement à l'interface : Cas des connecteurs non ductiles

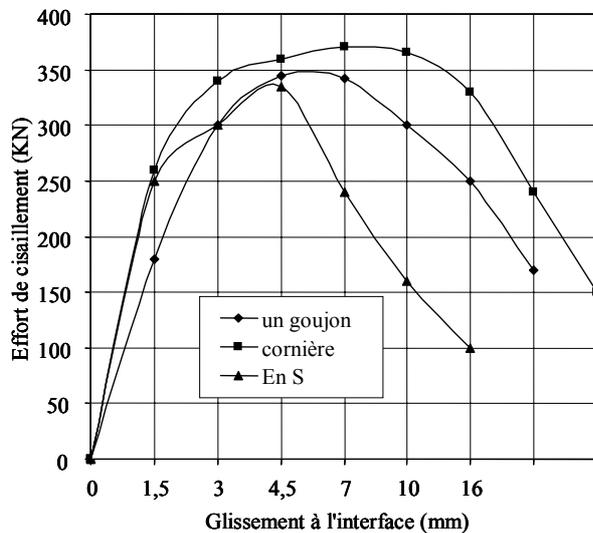
On a constaté aussi que la disposition du ferrailage au niveau de la tête des goujons (deux et trois goujons) favorise le cisaillement de la dalle. Il serait intéressant, à notre avis dans le cas de connecteurs

rigides, de placer un quadrillage à deux nappes afin de rapprocher le comportement du béton au cisaillement à celui des connecteurs.

### 3.2. 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. Le passage à deux goujons, a montré une amélioration de la résistance au cisaillement des 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.

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.



**Figure 9 :** Variation de l'effort de cisaillement en fonction du glissement à l'interface. Cas des connecteurs ductiles

Sur la figure 8, 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 9 nous renseigne également sur les plages de glissement que peuvent subir les poutres mixtes ; ces valeurs restent en deçà de la valeur ultime 6mm préconisée par la réglementation [3].

### 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, ainsi que 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. 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.

### REFERENCES

- [1] Klaiber, F.W. and Wipf, T.J. 2000. An alternate shear connector for composite action. Mid-Continent Transportation Symposium Proceedings. pp. 115-120.
- [2] APK. 1996. Construction Métallique et Mixte Acier – Béton. Calcul et dimensionnement selon les Eurocodes 3 et 4. Editions Eyrolles, Paris. pp. 413-537.
- [3] ENV (Version Européenne nationale). 1994-1-1. 1992. Eurocode 4. Design of composite steel and concrete structures. Pat 1.1 : General rules and rules of building. European committee for standardisation.
- [4] Eurocode3. 1992. Calcul des structures en acier, partie 1.1 : Règles générales et règles pour les bâtiments. ENV 1993-1-1.
- [5] Règles de Conception et de Calcul des Structures Métalliques CCM 97. 1998. D.T.R.-B.C.-2.44, Ministère de l'habitat Algérie. Editions O.P.U, Algérie.
- [6] Amiraoui A., Mimoune F.Z « Caractérisation de la connexion acier-béton dans les structures mixtes » Magister 2004. Université de Constantine.
- [7] Mimoune M., Mimoune F.Z, Tebbakh B., A. Tahi « Slip measurement at the steel - concrete interface in push-outs tests ». 6<sup>th</sup> International Congress. Global Construction: Ultimate Concrete Opportunities 2005. pp. 1.