

Ponts mixtes avec liaison acier-béton par groupes de goujons

Autor(en): **Lebet, Jean-Paul**

Objektyp: **Article**

Zeitschrift: **IABSE reports = Rapports AIPC = IVBH Berichte**

Band (Jahr): **60 (1990)**

PDF erstellt am: **23.07.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-46468>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

Haftungsausschluss

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

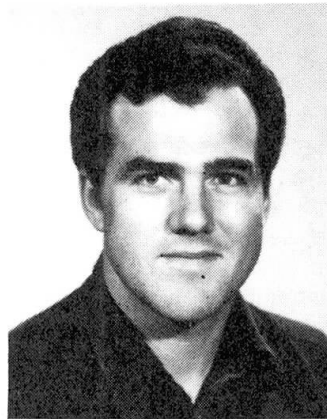
Ponts mixtes avec liaison acier-béton par groupes de goujons

Verbundbrücken mit gruppenweise angeordneten Kopfbolzendübeln

Composite Steel-Concrete Bridges with Grouped Stud Connectors

Jean-Paul LEBET

Dr. sc. techn.
Ecole polytechnique fédérale
Lausanne, Suisse



Jean-Paul Lebet, né en 1950, obtint son diplôme d'ingénieur civil à l'Ecole polytechnique fédérale de Lausanne et son doctorat ès Sciences techniques à l'ICOM-Construction métallique de cette même Ecole. Depuis 15 ans, il s'occupe, entre autres, de recherches et d'essais sur les constructions mixtes acier-béton, en particulier sur les ouvrages d'art.

RÉSUMÉ

La liaison entre la dalle en béton et les poutres métalliques des ponts mixtes acier-béton est souvent réalisée au moyen de goujons groupés tous les mètres. Ce mode de liaison soulève la question de l'influence, sur le comportement des ouvrages, du flux non uniforme de cisaillement longitudinal ainsi que de la possibilité plus grande d'un glissement entre la dalle et la structure métallique. Il a été mis en évidence, au moyen d'un modèle de calcul, que la liaison avec des goujons groupés a des effets suffisamment petits pour être négligés. D'autre part, il a été démontré que les efforts sollicitant la liaison sont notablement plus faibles que ceux résultant d'un calcul avec connexion rigide.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verbindung zwischen der Betonplatte und den Stahlträgern bei Verbundbrücken wird vielfach mit gruppenweise angeordneten Kopfbolzendübeln ausgeführt. Die einzelnen Gruppen werden dabei im Abstand von ungefähr einem Meter angeordnet. Dabei stellt sich die Frage des Bauwerksverhaltens infolge der ungleichmässigen Schubübertragung und der grösseren Möglichkeit von Schlupf zwischen Fahrbahnplatte und Stahlkonstruktion. Mit Hilfe eines Rechenmodells konnte gezeigt werden, dass der Einfluss von gruppenweise angeordneten Dübeln so klein ist, dass er vernachlässigt werden kann. Zudem wurde festgestellt, dass die Kräfte, die die Verdübelung beanspruchen, bedeutend geringer sind als diejenigen die aus einer schlupffreien Verbindung resultieren.

SUMMARY

Connection between concrete decks and steel beams of composite bridges is often accomplished by means of grouped stud connectors at one metre intervals. This method of connection causes a non-uniform distribution of the longitudinal shear stresses and an increased potential for slip between the deck and the steel structure. The influences of these aspects on the behaviour of the structure is examined theoretically. It was found that the connection with grouped stud connectors has an influence small enough to be neglected. Further, it was shown that forces acting on the connectors are notably less than those resulting from calculations which assume 100% rigidity.



1. INTRODUCTION

La liaison entre la charpente métallique et la dalle de roulement en béton des ponts mixtes est très souvent réalisée au moyen de goujons à tête ronde. Ces goujons sont répartis le long de l'interface acier-béton en fonction de l'importance des efforts à transmettre, efforts en général déterminés sur la base d'un calcul élastique. Les distances minimales et maximales entre les goujons sont fixées dans les différents codes. Selon la méthode de construction de la dalle, il arrive fréquemment que ces goujons, au lieu d'être répartis, soient rassemblés en groupes distants généralement de 1,0 m. Cette disposition des goujons par groupes est par exemple nécessaire lors de la mise en place de la dalle par la méthode du ripage ou lorsque la dalle est composée d'une succession d'éléments préfabriqués.

Dans le cas de dalles coulées sur place, la liaison acier-béton peut aussi être réalisée au moyen de groupes de goujons si l'on ne désire pas avoir une connexion immédiate entre le béton et les poutres métalliques. Cette méthode implique de laisser des niches autour des groupes de goujons qui seront remplies de béton lorsque l'effet mixte sera désiré. Cette procédure, pour des dalles coulées sur place, est souvent utilisée lorsque l'on veut permettre au retrait de s'effectuer librement pendant un certain temps afin de ne pas provoquer une fissuration prématurée de la dalle. Cette mesure qui va dans le sens d'une amélioration de la durabilité de la dalle est parfois associée, dans le même but, à la mise en place d'une précontrainte longitudinale dans la dalle. Afin de ne pas solliciter inutilement la structure métallique en compression et pour réduire la quantité de précontrainte à introduire dans la structure, les câbles sont mis en tension avant la liaison de la dalle aux poutres métalliques. Dans ce cas, le recours à une liaison au moyen de groupes de goujons est nécessaire.

En comparaison avec une liaison constituée de goujons répartis, la liaison au moyen de groupes de goujons introduit des forces concentrées dans la dalle en béton et dans la structure métallique et provoque une discontinuité du flux de cisaillement à l'interface acier-béton. Une telle liaison ponctuelle soulève des questions quant à ses conséquences sur le glissement à l'interface acier-béton, sur la rigidité de la section mixte et sur la répartition des efforts entre le béton et la structure métallique. Le projet d'Eurocode 4 [1] indique que l'utilisation de connecteurs en groupes dont l'espacement est supérieur à celui prévu pour les connecteurs isolés nécessite la prise en compte dans le calcul du flux non uniforme de cisaillement longitudinal ainsi que de la possibilité plus grande d'un glissement. L'examen de ces deux aspects et de leurs répercussions sur les poutres de ponts mixtes sont l'objet du présent article.

Les ponts mixtes sont étudiés au moyen d'un modèle de calcul spécialement développé à cet effet. Le modèle de calcul a été vérifié expérimentalement avec des essais sur un pont mixte en service. Il a ensuite été utilisé pour évaluer de manière plus réaliste les forces sollicitant la liaison et les efforts agissant dans une poutre de pont mixte en tenant compte de l'interaction partielle de la liaison acier-béton.

2. MODELE DE CALCUL

Le modèle de calcul utilisé pour établir un bilan plus réaliste des sollicitations des ponts mixtes et pour préciser l'influence sur ces sollicitations de la liaison acier-béton réalisée au moyen de goujons groupés tient compte :

- du glissement à l'interface acier-béton basé sur le comportement non linéaire des goujons,
- de la possibilité de fissuration transversale de la dalle tendue sur les appuis intermédiaires,
- des charges directes et actions indirectes.

Ce modèle de calcul veut donc être aussi représentatif que possible et tenir compte de toutes les particularités des ponts mixtes. Dans le modèle, la poutre mixte est représentée par une succession d'éléments constitués d'une part de la section métallique et de la section en béton liées entre-elles et d'autre part des deux sections, mais non liées entre-elles. Au droit des fissures de la dalle, la continuité de cette dernière est assurée par les armatures longitudinales. Entre les fissures, la participation du béton tendu est prise en compte. Les positions des fissures transversales sur les appuis intermédiaires sont le reflet de celles observées sur des ouvrages en service. Lorsque de telles fissures se développent, elles prennent naissance au bord des niches prévues pour les groupes de goujons; par conséquent, deux fissures chaque mètre peuvent être introduites dans le modèle de calcul.

La relation qui lie la force agissant sur les goujons au glissement relatif acier-béton a été définie au moyen d'essais push-out. Les éprouvettes pour ces essais avaient 8 goujons de 22 mm de diamètre et le béton avait une résistance sur cube supérieure à 35 N/mm². La relation non linéaire ainsi définie entre la force V agissant sur un goujon et le glissement s en [mm] a l'expression suivante :

$$\frac{V}{V_U} = \frac{4,3 \text{ s}}{1 + 4,3 \text{ s}}$$

dans laquelle V_U représente la résistance ultime au cisaillement des goujons. Cette résistance est atteinte pour des glissements supérieurs à 4 mm.

Le développement du modèle de calcul, la comparaison entre les résultats expérimentaux et théoriques et les différents résultats des simulations sont contenus dans [2]. La représentativité du modèle de calcul a été contrôlée au moyen d'essais sur un ouvrage en service. Ce modèle constitue un outil efficace pour décrire le comportement réel d'un pont mixte et pour déterminer la répartition des forces sur les différents éléments qui le constitue.

3. ESSAIS SUR UN PONT MIXTE

3.1 But et description

Des essais de charge ont été effectués sur un pont mixte dont les caractéristiques sont indiquées à la figure 1. Ces essais avaient pour but d'une part de mesurer le glissement à l'interface acier-béton et d'autre part de comparer les mesures de ce glissement et les mesures des déformations spécifiques, dans plusieurs sections, aux résultats théoriques, afin de pouvoir précéder au contrôle du modèle.

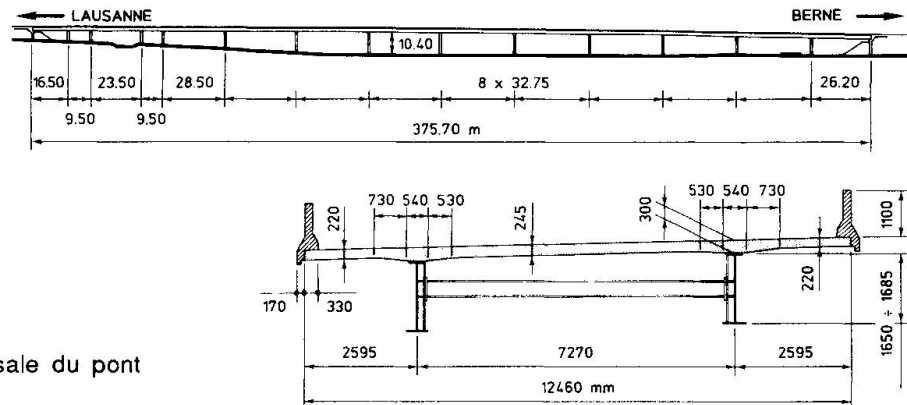


FIGURE 1
Elévation et section transversale du pont mixte utilisé pour les essais.

La liaison acier-béton de l'ouvrage testé est constituée de groupes de goujons espacés de 1,0 m dont le nombre de goujons par groupe varie entre 12 sur appuis et 9 en travée.

3.2 Résultats et valeurs calculées

Le résultat des mesures du glissement entre l'acier et le béton sur une longueur de 12 m et les valeurs calculées correspondantes sont reportées à la figure 2. Les charges sont constituées de 4 camions de 250 kN chacun, placés deux à deux selon le schéma de cette figure et centrés sur la poutre métallique essayée.

La comparaison entre les courbes calculées et mesurées montre d'une part une bonne similitude quant à leur allure et d'autre part une bonne correspondance quant à la valeur maximale du glissement. La figure 2 représente le glissement calculé avec une liaison constituée de groupes de goujons (liaison discontinue) et le glissement calculé avec le même nombre de goujons, mais répartis le long de l'interface acier-béton (liaison continue). On constate que le glissement pour les deux types de liaison est très proche; il n'y a pas d'augmentation significative du glissement lorsque la liaison est réalisée au moyen de goujons groupés.

La figure 3 représente, au droit de l'aile supérieure de la poutre métallique, les contraintes mesurées et calculées pour les deux types de liaison continue et discontinue. On peut constater sur cette figure les points importants suivants :

- Les valeurs calculées avec le modèle pour une liaison discontinue représentent très bien les valeurs mesurées.
- Le calcul avec la liaison continue ne permet pas de représenter la répartition en "dent de scie" des contraintes provoquées par l'introduction des forces concentrées dues aux groupes de goujons.



FIGURE 2
Glissements mesurés et calculés.

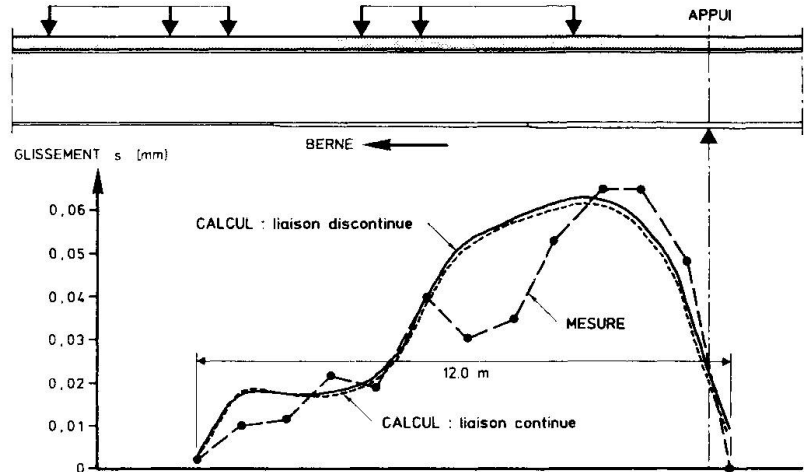
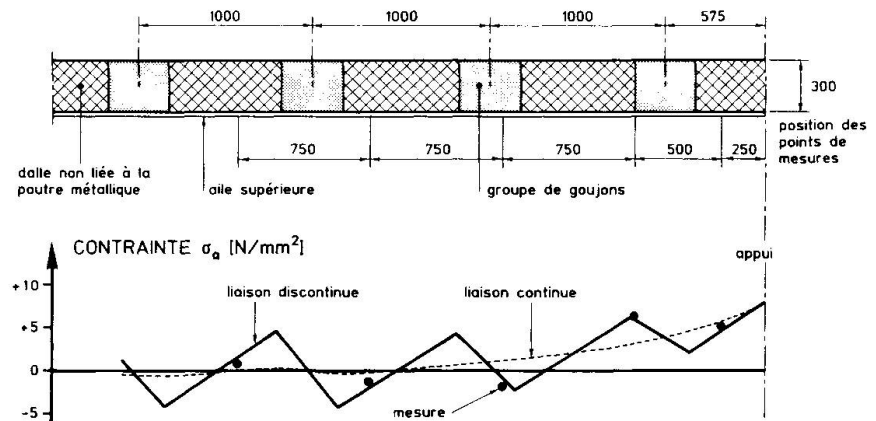


FIGURE 3
Contraintes mesurées et calculées au droit de la semelle supérieure de la poutre métallique.



- La souplesse de la liaison ou l'effet de glissement se concrétise par une augmentation des contraintes dans l'aile supérieure à l'approche des appuis. Théoriquement, en négligeant l'effet du glissement, ces contraintes devraient être nulles, car l'axe neutre de la section mixte se situe précisément dans l'aile supérieure. L'augmentation constatée reste cependant faible et négligeable.

Sur la base des différentes mesures effectuées et de la comparaison des résultats avec le calcul, on peut affirmer que le modèle développé permet de calculer de manière très satisfaisante les sollicitations des ponts mixtes. En conclusion de plusieurs calculs, le fait de grouper les goujons tous les mètres ne provoque pas une augmentation significative du glissement et la modification de l'allure des contraintes dans l'aile supérieure est faible et négligeable. Il faut cependant garder à l'esprit que ces points de contraintes dans l'aile supérieure s'ajoutent aux contraintes dues au poids propre de la dalle dans le cas où l'ouvrage n'est pas étayé au cours du bétonnage de la dalle. Si les calculs montrent que cette superposition reste admissible avec un écartement des groupes de goujons de 1,0 m, elle pourrait devenir déterminante si l'écartement des groupes est augmenté.

4. EFFET DE LA SOUPLESSE DE LA LIAISON ET DE LA FISSURATION DE LA DALLE

La vérification de deux ouvrages mixtes dont la section transversale correspond à celle de la figure 1 a été effectuée avec le modèle de calcul. L'un des ouvrages a une portée moyenne de 33 m, l'autre, une portée moyenne de 50 m. La liaison acier-béton des deux ouvrages est constituée de groupes de goujons. Les goujons ont été dimensionnés élastiquement. Les forces provenant des charges majorées devaient être inférieures à la résistance R_d des goujons qui est de 85 kN pour des goujons de 22 mm de diamètre [3]. Pour l'ouvrage de 33 m de portée, les effets de la souplesse de la liaison et de la fissuration de la dalle sur l'effort normal transmis et sur les forces agissant sur les goujons sont représentés à la figure 4. Le cas de charge de trafic représenté est celui produisant les efforts maximums sur le deuxième appui intermédiaire. Pour illustrer la différence avec le calcul conventionnel, les résultats de ce calcul, qui néglige les effets du glissement et de la fissuration, sont également représentés sur cette figure.

Comme le montre cette figure, l'effet du glissement acier-béton et de la fissuration de la dalle provoquent une réduction importante de l'effort transmis et des efforts agissant sur les goujons. On constate que les goujons les plus sollicités ne se situent pas près de l'appui, mais à une distance correspondant au dixième de la portée. Dans la zone des moments positifs, on note cependant une augmentation de l'effort normal dans la poutre métallique due à la redistribution des moments de flexion des appuis vers les travées. Le glissement maximum calculé est de 0,2 mm. Le tableau 1 résume l'influence du glissement seul et accompagné de la fissuration pour les deux ouvrages étudiés et pour les cas de charge provoquant les sollicitations maximales. Ces influences en pour cent se rapportent aux résultats du calcul conventionnel, lequel ne tient pas compte de la souplesse de la liaison et de la fissuration du béton. En comparant les résultats pour les deux portées, on remarque que les effets de la souplesse de la liaison sont plus petits lorsque la longueur des portées augmente.

TABLEAU 1 Influence par rapport au calcul conventionnel du glissement et du glissement accompagné de la fissuration de la dalle (en pour cent)

	EFFET DU GLISSEMENT		EFFET DU GLISSEMENT ET DE LA FISSURATION	
	PORTEE		PORTEE	
	33 m	50 m	33 m	50 m
Effort normal sur les appuis	- 15	- 10	- 50	- 48
Effort normal à mi-travée	- 2	- 1	+ 9	+ 8
Effort maximal sur les goujons	- 19	- 9	- 36	- 14
Moment de flexion sur appuis	+ 0,4	0	+ 13	+ 8
Flèche	+ 3	+ 2	+ 18	+ 13
Contraintes à l'aile inférieure sur appui	+ 3	+ 2,5	+ 6	+ 6
Contraintes à l'aile inférieure en travée	+ 1	+ 0,5	+ 9	+ 9

L'aspect intéressant qu'il faut retenir est que la souplesse de la liaison provoque une réduction marquée des forces agissant sur les goujons sans qu'il existe une modification notable des contraintes et des flèches calculées de manière conventionnelle. L'autre élément important est la redistribution des moments due à la fissuration de la dalle dans la zone des appuis. Cette redistribution des appuis vers les travées est de l'ordre de 10 % comme le montre la dernière ligne du tableau 1 (augmentation des contraintes en travée).

5. EFFET DE LA RESISTANCE DE CALCUL DES GOUJONS

Les résultats du chapitre précédent concernant la réduction des efforts agissant sur les goujons se rapportent à une liaison réalisée au moyen de groupes de goujons dont la résistance de calcul R_d est de 85 kN. On peut se demander de quelle manière cette réduction des forces évolue si, par exemple, la résistance de calcul des goujons est modifiée. La figure 5 représente cette évolution pour l'ouvrage de 33 m de portée et pour les deux cas où la dalle est fissurée et non fissurée. Les résistances de calcul sont reportées en abscisse et la force maximale F_{max} qui agit sur le goujon le plus sollicité pour le cas de charge le plus défavorable est reporté en ordonnée.

Il est intéressant de constater que F_{max} n'augmente pas proportionnellement avec la résistance R_d ; en d'autres termes, l'effet de la souplesse de la liaison est de plus en plus marqué lorsque les goujons sont de plus en plus sollicités. Cet effet diminue cependant lorsque la longueur des portées augmente. On notera, par exemple pour une portée de 33 m, que si $R_d = 120$ kN, la force qui agira sur le goujon le plus sollicité est seulement de 95 kN, respectivement de 79 kN dans le cas où la dalle est fissurée. Le glissement maximum correspondant est de 0,3 mm et l'influence sur les contraintes et les déformations de la poutre reste suffisamment petite pour être négligée.

On peut donc conclure que la liaison réalisée au moyen de goujons groupés pour les ponts constitue un moyen de liaison qui, de par sa souplesse présente des réserves importantes pouvant, le cas échéant, encore être exploitées.

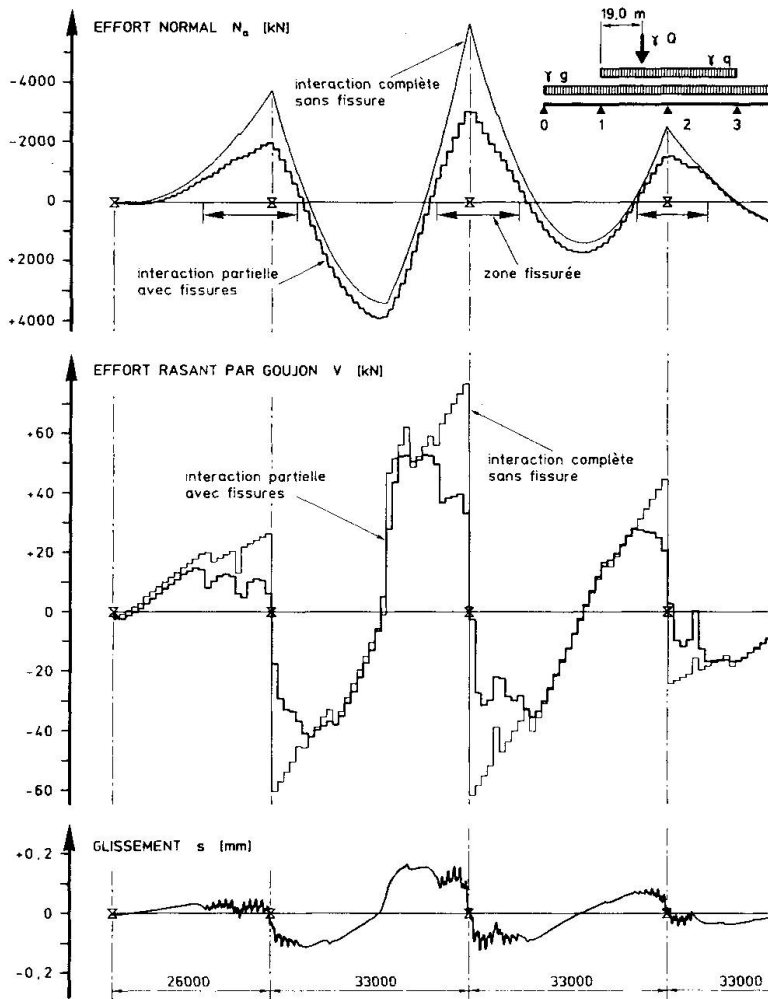


FIGURE 4

Effets du glissement et de la fissuration du béton.

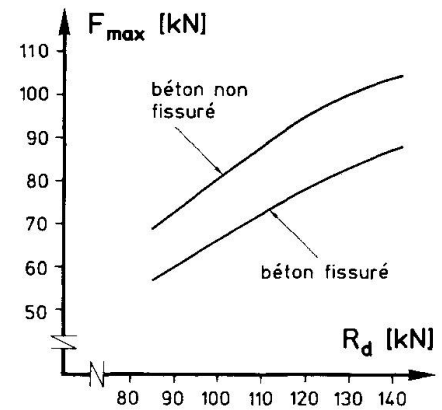


FIGURE 5

Force maximum sur un goujon par rapport à sa résistance de calcul.

6. CONCLUSIONS

Les résultats du modèle de calcul développé pour l'étude des sollicitations de la liaison des ponts mixtes réalisée au moyen de goujons montre que :

- La mise en oeuvre de groupes de goujons séparés de 1,0 m n'a pas de conséquences importantes aussi bien sur les contraintes que sur les déformations des poutres mixtes de sorte que le calcul conventionnel, qui néglige les effets du glissement à l'interface acier-béton, peut toujours être utilisé avec une précision suffisante.
- Bien que faible, le glissement dû à la souplesse des goujons a un effet favorable marqué sur les efforts transmis par la liaison acier-béton. Cet effet favorable est encore augmenté si l'on tient compte de la fissuration de la dalle. Pour une portée de 33 m, il peut atteindre 36 % de l'effort calculé en négligeant le glissement et la fissuration. Cet effet favorable diminue lorsque la portée des ouvrages augmente.
- La fissuration de la dalle provoque une redistribution de 10 % des moments de flexion des appuis vers les travées que l'on doit prendre en considération lors de la détermination des efforts.

REFERENCES

- [1] EUROCODE No 4. Règles unifiées communes pour les constructions mixtes acier-béton. Luxembourg, Commission des Communautés Européennes, 1985 (Rapport EUR 9886 F).
- [2] LEBET, J.-P. Comportement des ponts mixtes acier-béton avec interaction partielle de la connexion et fissuration du béton. Lausanne, Ecole polytechnique fédérale, 1987 (Thèse 661).
- [3] NORME SIA 161. Constructions métalliques, édition 1979. Zurich, Société suisse des ingénieurs et des architectes, 1979.