

# Boulons injectés

Voilà les corrections pour la fiche. Comme il y avait beaucoup à remanier dans l'intro, je te l'ai réécrite, la voici :

Un boulon «injecté» est un boulon classique mais avec une vis et des rondelles un peu «aménagés», avec une résine injectée pour remplir les interstices entre le boulon et les parois des trous dans les pièces assemblées. Une fois sa polymérisation complète, la résine peut transmettre par pression diamétrale les efforts entre les pièces et le boulon en les assemblant. Aucun glissement relatif entre les pièces assemblées ne devrait se produire, du moins jusqu'à un certain niveau d'efforts appliqués. On peut utiliser soit des boulons non précontraints - type SB ou type HR/HV non précontraint - soit des boulons précontraints type HR ou HV. Lorsque les boulons sont précontraints la résistance de l'assemblage au frottement/glisement est augmentée par la contribution de la résistance en pression diamétrale de la résine pour l'ensemble des boulons injectés. L'utilisation de deux rondelles spécialement usinées est obligatoire, celle sous la tête de la vis étant différente de celle sous l'écrou.

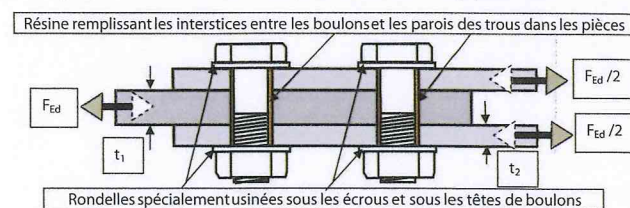
Les boulons «injectés» ont donné de grandes satisfactions lors des travaux de renforcements et/ou réparations des ouvrages d'art anciens et rivetés dans plusieurs pays européens (Danemark, Pays Bas, Allemagne, France,...). Ils peuvent également être une alternative aux boulons «ajustés» ou «pleins trous» dans les constructions neuves.

## Vérification des résistances des assemblages avec boulons injectés

La norme EN 1993-1-8 § 3.6.2 donne les règles de calcul particulières à appliquer pour vérifier les résistances des assemblages avec boulons injectés. Le seul type d'assemblage spécifiquement couvert est celui avec des boulons travaillant en double cisaillement/pression diamétrale à l'état limite ultime. On convient que tous les boulons d'un assemblage sont du même diamètre et de la même classe.

Pour les assemblages avec boulons injectés non précontraints il s'agit d'un assemblage de la catégorie A mais pour lequel on souhaite supprimer les glissements entre les pièces assemblées. Par rapport aux vérifications pour un assemblage de la catégorie A avec boulons usuels non précontraints, la seule différence est qu'au lieu de la résistance à la pression diamétrale pour le boulon/pièce, on utilise une résistance à la pression diamétrale de la résine dans les interstices devant les boulons. Cette dernière résistance est la même quelque soit la position du boulon dans l'assemblage et elle a une valeur qui

est toujours plus faible que celle de la résistance à la pression diamétrale pour le boulon/pièce.



Pour les assemblages avec boulons injectés précontraints on doit choisir entre un assemblage de la Catégorie B pour laquelle on vérifie la résistance au frottement/glisement pour des efforts à l'état limite de service et un assemblage de la Catégorie C pour laquelle on vérifie la résistance au frottement/glisement pour des efforts à l'état limite ultime. Par rapport aux vérifications pour un assemblage avec boulons précontraints usuels la différence est que l'on utilise une résistance au frottement/glisement pour chaque boulon qui est augmentée par la résistance de la résine à la pression diamétrale. Que l'assemblage soit de la Catégorie B ou C, toutes les vérifications usuelles pour un assemblage de la catégorie A sont aussi requises, c'est-à-dire la vérification des résistances diverses des sections des pièces – ruine par cisaillement de bloc incluse – et des boulons au cisaillement et à la pression diamétrale pour le boulon/pièce. Ainsi, si pour une quelconque raison des glissements entre les pièces assemblées ont lieu, la rupture de l'assemblage ne devrait pas se produire.

La vérification de résistance à la pression diamétrale de la résine pour un boulon de diamètre  $d$  est donnée par la formule suivante :

$$F_{b,Rd,resin} = \frac{k_1 k_3 d t_{b,resin} \beta f_{b,resin}}{\gamma_{m4}} \geq F_{b,Ed}$$

où :

- le coefficient  $k_1$  traduit que l'on vérifie à l'état limite de service ( $k_1 = 1,0$ ) ou à l'état limite ultime ( $k_1 = 1,2$ ),
- le coefficient  $k_3$  concerne le type de trou - normal ou surdimensionné,
- le coefficient correcteur  $\beta$  traduit l'influence sur la résistance du rapport  $t_1/t_2$  entre l'épaisseur de la pièce centrale est celle des pièces extérieures.

La valeur prise pour l'épaisseur  $t_{b,resin}$  de la zone de résine en pression diamétrale est égale à la plus faible des trois valeurs  $2 t_2$ ,  $t_1$  et  $1,5d$ . La résistance de la résine à la pression diamétrale  $f_{b,resin}$  est déterminée par essai. Une valeur typique est :  $f_{b,resin} = 150 \text{ N/mm}^2$ .



## Essais pour la détermination de la résistance de la résine

Il convient de déterminer la résistance de calcul de la résine à la pression diamétrale en utilisant une procédure d'essai similaire à celle utilisée pour déterminer le coefficient de frottement pour les assemblages avec boulons précontraints, essai qui est spécifié dans l'Annexe G de la norme NF EN 1090-2. D'avantage d'explications sur la procédure d'essai et sur l'interprétation des résultats expérimentaux sont données dans la publication suivante de la CECM « ECCS No 79: European recommendations for bolted connections with injection bolts; August 1994 », publication qui a servi de base à la rédaction des règles de calcul pour les boulons injectés de la norme NF EN 1993-1-8.

## Usinages préalables et mise en œuvre des boulons injectés

Avant injection de la résine, tous les boulons doivent être posés et serrés définitivement comme pour un assemblage avec des boulons usuels.

L'injection de la résine dans l'espace non occupé par le boulon posé dans le trou est permise par l'usinage d'un orifice à travers l'épaisseur de la tête de la vis et d'un chanfrein élargi côté tête de vis dans la rondelle autour de son trou central la résine liquide peut ainsi obstruer ce dernier complètement. L'orifice dans la tête de la vis est élargi côté extérieur pour recevoir la buse du dispositif d'injection de la résine et est positionné pour permettre à la résine - qui doit être un peu visqueuse - d'atteindre la zone spécialement chanfreinée de la rondelle sous tête et par suite de remplir l'espace laissé vide autour du boulon. Côté écrou est placée une rondelle avec une rainure radiale positionnée côté surface de l'écrou. Lorsque la résine apparaît au bord extérieur de

la rainure dans la rondelle sous l'écrou on peut conclure que la résine a correctement rempli l'espace. Ce dernier raisonnement est valable lorsque l'axe du boulon est vertical et que la tête de la vis est en haut. Lorsque l'axe du boulon est incliné ou horizontal il faut adopter un positionnement convenable des éléments. Normalement le côté tête ne doit pas être plus bas que le côté écrou et l'orifice d'injection dans la tête doit être vers le haut ainsi que l'orientation de la rainure dans la rondelle sous l'écrou.

Les températures des pièces ne doivent être ni trop élevées ni trop basses l'assemblage doit être exempt d'humidité lors de l'injection de la résine. Un temps sec pendant au moins une journée est généralement nécessaire avant de commencer l'injection. La résine une fois préparée, doit être assez visqueuse. La température doit être maintenue entre 15 °C et 25 °C. Dans ces conditions le temps d'utilisation, bien que limité, est d'au moins 15 minutes. Il convient que le temps de polymérisation soit tel que la résine polymérise avant le chargement de la structure. Pour les températures de pose indiquées le temps de polymérisation est d'environ 5 h mais ce temps peut être significativement raccourci à des températures supérieures à 25 °C. Une difficulté peut survenir lorsque les pièces ne sont pas en bon contact aux droits des boulons permettant ainsi à la résine de s'infiltrer entre les surfaces. Afin d'éviter ce problème il est conseillé de n'utiliser que des boulons précontraints et de permettre sa détection éventuelle en faisant une estimation du volume de résine pour remplir des interstices pour un boulon dans les situations idéales de bon contact entre les pièces assemblées.

Actuellement, seule est disponible sur le marché, et chez un unique fournisseur, la version type HV du boulon « injecté ». Une option : usiner les vis et rondelles des boulons usuels du type souhaité.

<p>Boulon à injection après la pose</p>	<p>Rondelle côté tête de la vis avec un chanfrein spécialement élargi par usinage</p>
<p><b>Légende</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Trou d'injection</li> <li>2. Rondelle côté tête de la vis avec un chanfrein spécial usiné</li> <li>3. Résine injectée</li> <li>4. Rondelle côté écrou avec une rainure d'évent usinée pour constater le bon remplissage des espaces par la résine</li> <li>5. Buse du dispositif d'injection de la résine</li> </ol>	<p>Buse insérée dans l'embouchure du trou usiné à travers la tête de la vis pour permettre l'injection de la résine</p>
<p>Cotes du trou et de son embouchure, usinés dans la tête de la vis</p>	<p>Rondelle côté écrou avec une rainure radiale d'évent usinée où doit apparaître la résine une fois les espaces autour du boulon remplis. La rondelle doit être placée avec la rainure vers l'écrou.</p>

Boulon « injecté » et les usinages requis pour permettre l'injection de la résine