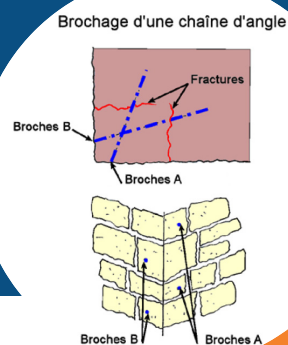
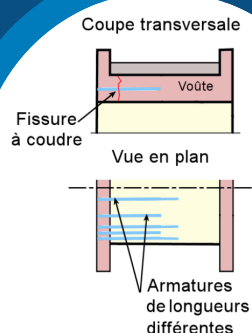


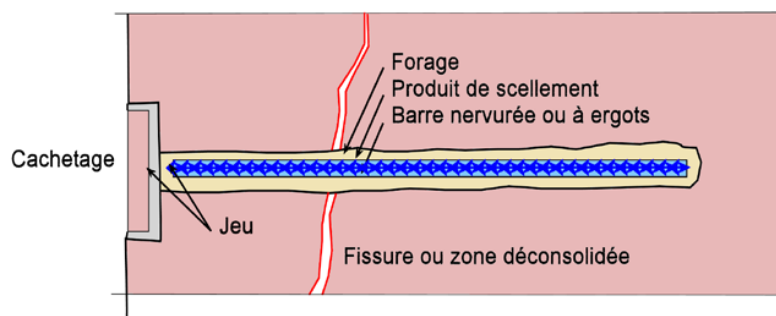
Brochage bandeau douelle et renforcement chaînes d'angle



Présentation

Dans le domaine des ponts en maçonnerie, le brochage, également appelé épinglage, s'applique aux fissures et fractures qui se développent dans les voûtes ou dans les faces perpendiculaires (chaînes d'angles).

Ces désordres se manifestent, le plus souvent, en partie centrale de la voûte à l'intrados ou à la jonction entre les bandeaux et le corps de voûte. Les renforcements et les réparations par broches sont destinés, soit à limiter les déplacements de tout ou partie d'ouvrages en maçonnerie, soit à empêcher l'ouverture de fissures ou encore à solidariser différents éléments d'une structure en maçonnerie. Contrairement au boulon d'ancrage, qui fonctionne de façon ponctuelle et qui doit être mis en tension, une broche ou épingle fonctionne grâce à l'adhérence qui se crée entre la broche et le produit de scellement et entre celui-ci et la maçonnerie. Les tirants passifs sont des boulons munis de deux têtes d'ancrage avec plaques de répartition et les tirants actifs sont des armatures de précontrainte.



Brochage bandeau douelle et renforcement chaînes d'angle

La broche (généralement métallique) ne joue, ici, que le rôle d'armature du cylindre de scellement. Une broche est en fait une sorte d'armature qui sert de harpage à l'intérieur de la maçonnerie.

Cette technique est utilisée lorsque les désordres sont de faible importance (fissures peu ouvertes).

L'opération consiste, après avoir réalisé des forages de faible longueur (2 à 3 mètres), à y sceller des barres à haute adhérence entièrement noyées.

Recommandations

Une broche (ou épingle) se compose :

- d'une barre d'acier (de préférence crénelée) comme une armature de béton armé à haute adhérence ;
- d'un remplissage annulaire sous forme d'un mortier situé entre la paroi du forage et la barre d'acier.

Modes opératoires

⇒ Préparation de l'opération comprenant :

- la mise en place des cintres ou des étalements éventuellement nécessaires ;
- la mise en place d'une plateforme de travail ;
- l'injection éventuelle des maçonneries, qu'il est préférable de consolider avant les forages ;
- l'implantation des forages, qui doivent être disposés au milieu d'un moellon et à mi-épaisseur du bandeau ;
- l'amenée, la préparation et le réglage des matériels de forage, de scellement des broches ;
- la réalisation éventuelle des épreuves de convenance prévues au marché et dans la procédure d'exécution...

⇒ Mise en place d'une broche comprenant :

● le forage du trou

Le principe même de la broche étant sa qualité d'adhérence de part et d'autre de la fissure à reprendre, il est nécessaire d'obtenir une qualité de contact, avec la paroi du forage, la plus « rugueuse » possible. Pour cela, il faut privilégier, pour le forage, les techniques de roto-percussion plutôt que le carottage. Le matériel doit être adapté au diamètre et à la longueur du forage à réaliser mais aussi à la qualité et à la résistance de l'ouvrage.

Ce pourra être un simple marteau perforateur ou un marteau monté sur glissière (marteau fond de trou ou marteau hors de trou) ; en cas de « fragilité » de l'ouvrage, le carottage sera quand même privilégié ;

● la mise en place et le scellement de l'armature

Après soufflage et nettoyage du trou à l'eau ou à l'air comprimé, le trou est rempli par un mortier ou un coulis afin de sceller la broche par la méthode retenue en fonction des résultats de l'épreuve de convenance.

À ce niveau, il existe différentes techniques permettant, à la fois, de positionner la barre parfaitement au centre du forage (c'est une condition absolument nécessaire afin que l'espace annulaire entre la barre et la paroi du trou soit respecté) et de remplir cet espace annulaire avec un maximum de compacité et d'homogénéité.

Une des techniques les plus répandues consiste à remplir d'abord le volume du trou avec le mortier de scellement. On procède ensuite à la mise en œuvre de la barre en la faisant pénétrer en force, à l'aide d'un outil roto-percuteur. Cette méthode a pour avantage de mettre en pression (par effet de compactage) le mortier de scellement contre la paroi du forage.

Recommandations

L'autre technique classique est de positionner au préalable la broche dans l'axe du trou au moyen d'un dispositif de centrage puis d'injecter l'espace annulaire du trou avec un produit de scellement. L'injection doit se faire par le fond du forage par un bergater solidaire de l'armature.

Les broches peuvent devoir être réalisées dans tous les sens. En horizontal ou inclinées vers le haut, voire même carrément verticales en plafond (broches dans les zones de voûtes). Dans ce cas, le remplissage de l'espace annulaire doit être mis en œuvre par injection mécanique sous pression. Il sera nécessaire, pour cela, de prévoir un dispositif d'obturation à la base du forage.

La broche, par son principe de fonctionnement, n'a pas besoin de tête d'ancrage.

⇒ Cachetage de l'orifice du forage et protection de la broche

La longueur de la barre doit être adaptée pour que l'extrémité soit à quelques centimètres du parement ; un ajout de mortier de scellement serré à la truelle en assurera la protection.

Pour des raisons d'aspect, le marché peut imposer d'obturer l'orifice du forage, en parement extérieur, par un mortier de teinte approchant de celle des pierres environnantes.

⇒ Protection contre la corrosion

La barre métallique, qui joue le rôle de broche, est semblable à une armature utilisée dans la construction d'un ouvrage en béton armé, mais, comme elle se trouve dans la maçonnerie, milieu plus poreux et plus perméable que le béton, la protection apportée par le produit de scellement n'est pas forcément suffisante. La protection d'un produit à base de liants hydrauliques de pH élevé est meilleure que celle fournie par un produit à base de résines de pH proche de 7, pour lequel une passivation de l'acier est indispensable.

Les produits à base de ciment doivent être compatibles avec la maçonnerie (quantité d'alcalins) pour éviter la formation d'efflorescences.

Pour améliorer la résistance à la corrosion, les armatures peuvent être en acier galvanisé et en acier inoxydable ; on peut également utiliser des armatures composites passives.

⇒ Choix et dimensionnement d'une broche (FABEM 6.3 Chapitre 4.4.3)

Une broche se compose d'une barre d'acier (de préférence crénelée) comme une armature de béton armé à haute adhérence.

Pour déterminer la nature et la qualité des broches, l'approche est aléatoire. En effet, le principe même du brochage est de relier au minimum deux pierres ensemble. Sa limite de résistance est égale à la force d'adhérence mobilisable entre le mortier de scellement de la broche et la pierre environnante, mais aussi à la résistance de la pierre.

Pour une maçonnerie saine, la contrainte de scellement coulis-pierre peut être considérée identique à celle du coulis-rocher, soit entre 300 à 400 kPa (se reporter au document Clouterre). Ces valeurs permettent un dimensionnement du renfort, mais elles doivent être confirmées par des essais. Quels que soient les efforts qui sont en jeu, la capacité de la broche est donc toujours limitée à la capacité de résistance des pierres composant cette maçonnerie.

La broche se calcule donc en partant de la valeur d'adhérence entre le mortier de scellement et la paroi de la maçonnerie encaissante. Comme cela a été indiqué plus haut, il faut donner à la broche (barre + mortier de scellement) sensiblement la même valeur de traction que celle que peut encaisser la pierre environnante. En effet, il ne sert à rien de prévoir une broche dont la résistance nominale à la traction serait trop largement supérieure à celle des pierres qu'elle est censée consolider.

Recommandations

Points importants

Si le boulonnage et le brochage ont pour but de traiter une fissuration (de faible importance) située dans la partie centrale du corps de voûte, la longueur des forages est à adapter et les forages sont à effectuer alternativement de l'amont vers l'aval et de l'aval vers l'amont.

Dans tous les cas, il faut éviter de positionner les broches parallèlement entre elles et de leur donner à chacune la même longueur. En effet, ceci aurait pour effet de provoquer des plans de fracturation

perpendiculaires dans la zone située près de leur extrémité. Il faut, au contraire, les positionner suivant des axes convergeant (en provoquant des effets de « coins ») et en leur donnant des longueurs différentes.

En fin de travaux (dans le cadre du dossier de recollement et le DIUD), un repérage le plus précis possible des positions des axes des broches, de leur typologie et de leur longueur doit être effectué. De plus, des repères de positionnement non corrodables sont à mettre en place sur l'ouvrage.

Normes

NF EN 10025-1-2- 3 : Produits laminés à chaud en aciers de construction

FD A 35-570 NF EN 10088-1, 2, 3, 4 : Aciers inoxydables

FD P 18-823 : Produits spéciaux destinés aux constructions en béton hydraulique - Produits de scellement à base de liants hydrauliques ou de résines synthétiques
- Recommandations pour le dimensionnement des scellements de barres d'armature dans le béton

Fascicule 56 du CCTG : Protection par galvanisation à chaud

NF EN 1504-6 et 7 : Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton

Brochage bandeau douelle et renforcement chaînes d'angle

Proposition de plan de contrôle

Phases	Points de contrôle	Moyens de contrôle
Préparation	Respect des axes de forage	Essai de convenance du matériel et de l'outillage - Broche d'essai
Préparation	Respect de l'intégrité de la maçonnerie - Validation du type de forage et puissance du matériel compatible avec la résistance de la maçonnerie de l'ouvrage	Surveillance de l'ouvrage pendant l'essai de convenance
Préparation	Contrôle de l'état de la maçonnerie	Examen endoscopique du forage d'essai : propreté, adhérence
Travaux	Implantation des forages	Conformité aux plans d'exécution (en adéquation avec les contraintes in situ)
Travaux	Centrage de la barre dans le forage (positionnement des centreurs)	Visuel avant scellement : absence de déviation du forage rendant impossible le centrage sur toute la longueur. Visuel avant scellement pour les broches injectées : présence de centreurs en nombres suffisant
Travaux	Nature et qualité des aciers	Bons de livraison conformes aux indications des plans d'exécution
Travaux	Qualité de l'injection de scellement	Contrôle des quantités injectées - Contrôle de la mise en place de l'armature en force dans le mortier de scellement - Reflux du mortier à la mise en place de l'armature - Essai de RC sur mortier
Travaux	Qualité du scellement	Contrôle du nettoyage par lavage ou soufflage du forage avant scellement
Travaux	Longueurs des broches	Conformité aux plans d'exécution
Travaux	Position du point d'attaque au centre du bandeau	Contrôle visuel
Travaux	Protection contre la corrosion des têtes d'appui	Contrôle visuel peinture - Injection capots...
Travaux	Conformité des travaux	Contrôle visuel : obturation du forage ; bon enrobage de l'armature