

Etude terrain sur la pose des ancrages chimiques

Théorie et pratique

Par PHILIPP GROSSER, WERNER FUCHS et ROLF ELIGEHAUSEN

Pour chaque application de fixation, le point de départ consiste à choisir le bon produit. Cela nécessite de connaître les sollicitations à reprendre et la méthode de calcul à suivre. Il est également nécessaire d'établir l'emplacement exact du point de fixation, en anticipant les conditions environnementales pendant les procédures de pose, la vie en service et également maîtriser la procédure de pose pour la fixation ou la cheville.

Pour les ancrages chimiques, le concepteur doit choisir un produit adapté à l'application et la vie en service, dont la conformité a été évaluée selon les exigences du code.

Une fois que le système adéquat a été choisi et calculé, il est nécessaire de considérer la procédure de pose. Pour garantir une installation en sécurité, le poseur doit suivre les instructions du fabricant. En outre, la procédure de pose doit respecter les exigences du rapport d'évaluation (ESR) (voir barre latérale). Des informations détaillées sur la pose et l'inspection des ancrages chimiques sont données dans le document de Wollmershauser et Mattis¹ et des informations sur des facteurs influençant le comportement des ancrages chimiques peuvent être trouvées en référence 2.

En théorie, l'information est disponible pour assurer des fixations fiables des chevilles chimiques et pour donner aux concepteurs et aux poseurs confiance et flexibilité dans d'innombrables applications. Cependant, après la rupture des chevilles chimiques à Boston, MA, la pose et l'utilisation de ces ancrages chimiques ont été remis en question.

Pour comprendre ce qui peut être amélioré lors de la pose d'ancrages chimiques, la mise en œuvre de systèmes ont été étudiés sur 23 chantiers, répartis sur cinq sites dispersés aux Etats-Unis.

Tous les aspects critiques ont été examinés afin de déterminer les écarts entre la pratique actuelle et celle recommandée, dans le but de faire des propositions d'améliorations sur les pratiques de mise en œuvre.

PROJET DE RECHERCHE SUR LE TERRAIN

La mise en œuvre d'ancrage chimique a été étudiée sur des chantiers en Californie, Floride, Illinois, New York et Pennsylvanie. Au total, 23 sites ont été visités, 26 applications ont été contrôlées et 31 poseurs ont été interrogés (Tableau 1). Treize différents systèmes d'ancrages chimiques (soit des résines époxy soit des résines hybrides) ont été installés. Neuf de ces produits avaient une ESR (évaluation américaine). Les éléments d'ancrage étaient soit des tiges d'ancrage soit des barres d'armature scellées à posteriori. Les ancrages ont été utilisés pour des renforts de structures de ponts, des contreventements sismique, des connexions d'éléments structurels à des murs porteurs, des ancrages d'acier sur des éléments de béton existants, des ancrages au sol, des protections contre les ouragans ou des fixations d'éléments de façade. 13 des applications étaient au sol, 11 applications au mur et 2 applications au plafond.

Toutes les informations pertinentes liées à la pose ont été enregistrées sur site par le premier auteur, et les résultats détaillés ont été enregistrés dans un protocole. Les poseurs ont été interviewés afin de déterminer leurs parcours professionnels, leur formation, leur niveau d'expérience avec la pose d'ancrages chimiques et leur opinion concernant les avantages et inconvénients de la pose d'ancrages chimiques.

TABLEAU 1:
DETAILS DE L'ENQUÊTE

Lieu	Illinois	Floride	Californie	Pennsylvanie	New-York	Total
Chantier	6	7	5	2	3	23
Applications	7	8	5	3	3	26
Questionnaires	8	6	8	5	4	31

Assurer le respect du code

Aux États-Unis, le code international de la construction (IBC) est généralement le code de construction utilisé³. Pour vérifier la conformité avec les exigences de l'IBC, le fournisseur d'un système de fixation breveté doit obtenir un rapport de service d'évaluation (ESR) à partir d'un service d'évaluation indépendant accrédité. L'ESR démontre la conformité avec les critères d'acceptation prédéfinis décrivant les protocoles d'essais et des processus de contrôle qualité. Dans le cas des ancrages chimiques, le respect de l'IBC peut être démontré par une ESR délivrée par le Service d'Évaluation ICC (ICC-ES) suivant les critères d'acceptation spécifiés dans l'ICC-ES AC308⁴.

Le concepteur sélectionne un produit sur la base des informations contenues dans l'ESR correspondant. En outre, le concepteur doit tenir compte de plusieurs facteurs qui influencent la bonne application des systèmes d'ancrages chimiques, tels que la méthode de perçage, la température et de l'état (fissuré ou non) du matériau support, l'état du trou et la direction de l'installation.

La section 1704 de l'IBC prévoit un contrôle spécial des applications avec ancrage chimique pour de nombreuses applications, et des contrôles sont également requis par l'ESR. Le contrôleur évalue le travail pour sa conformité avec les documents de construction et les dispositions du code du bâtiment. Les exigences de l'IBC pour le contrôle spécial ont été définies à l'origine dans le Code Uniforme du Bâtiment (UBC)⁵, qui a été adopté dans la plupart des États de l'Ouest américain.

Observations générales

La figure 1 résume les observations générales sur les chantiers. Les instructions de pose des produits de tous les fabricants ont été analysées pour déterminer si l'information requise est fournie pour assurer une installation correcte. Les instructions de 9 des 13 produits (cinq avec ESR et quatre sans ESR) ne contenaient pas toutes les informations nécessaires pour une installation correcte des ancrages chimiques (Fig. 1 (a)).

Certaines instructions étaient ambiguës, certaines étaient incomplètes et d'autres avaient des pictogrammes qui ne correspondaient pas avec le texte. Pour quelques produits, les instructions étaient uniquement imprimées en tout petit caractère sur la cartouche – ces informations ne pouvaient pas être lues lorsque la cartouche était insérée dans la pince. Tandis que la plupart des systèmes d'ancrage spécifient que les cartouches doivent être stockées dans un endroit sec, relativement sombre et bien ventilé dans une plage de température spécifique, il a été trouvé que certaines instructions de pose ne stipulaient aucune information sur le stockage.

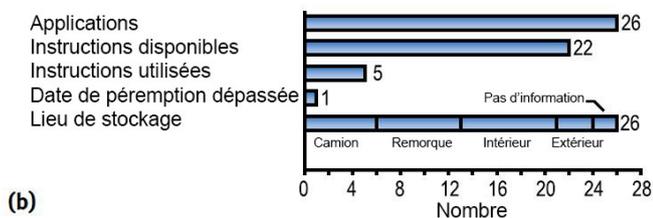
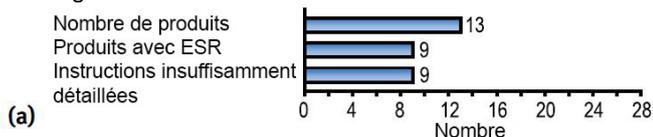


Figure 1: Observations générales faites sur les chantiers: (a) nombre de produits utilisés et informations sur ESR et instructions, (b) Applications suivies et observations sur l'utilisation des instructions et stockage des résines

Certaines instructions ne fournissaient aucune information sur le diamètre de perçage par rapport à la taille de la cheville et aucune instruction d'installation n'indiquait qu'une butée de profondeur était nécessaire. Le tableau 2 résume en quoi les instructions n'étaient pas assez détaillées.

Dans la plupart des cas, les instructions étaient disponibles sur les chantiers mais beaucoup de poseurs ne s'y référaient pas. Dans une application, la date de péremption était dépassée mais la résine était utilisée quand même. Les cartouches étaient stockées dans de divers endroits qui n'étaient pas conformes aux instructions de stockage (fig.1 (b)). La figure 2 donne les observations spécifiques faites pendant la pose de l'ancrage, comprenant le perçage du trou, le nettoyage, l'injection de la résine et le temps de séchage. Ces observations sont décrites en détail dans les chapitres suivants.

Forage

En fonction du produit, la résistance de l'ancrage pourrait être réduite si le trou n'a pas la bonne profondeur ni le bon emplacement (Fig. 3 et 4) ni le bon diamètre (Fig. 5). Les poseurs devraient utiliser une mèche répondant aux tolérances indiquées dans les instructions mais il a été observé qu'une mèche incorrecte a été utilisée dans de nombreuses applications. Dans 23% des applications, le diamètre de la mèche était trop importante (écart maximale de 33%) et dans 15% des applications, la mèche était trop petite. Dans un cas extrême, la mèche était presque de la même la taille que le diamètre nominal de la tige d'ancrage (fig. 5). Comme indiqué précédemment, certaines instructions ne définissaient pas le diamètre approprié, de ce fait l'utilisation de mèche de forage inadéquate n'est pas surprenante.

Dans la plupart des installations, une butée de profondeur (jauge de profondeur) n'a pas été utilisée (Fig. 6). Même si aucune des instructions ne spécifiait l'obligation d'utiliser une butée de profondeur, toutes précisaient que le trou devait être percé au bon diamètre et à la bonne profondeur, ceci n'est uniquement possible qu'avec l'utilisation d'accessoires adéquats.

TABLEAU 2:

INFORMATIONS MANQUANTES DANS LES INSTRUCTIONS. AUCUN DES PRODUITS NE CONTIENT TOUTES LES INFORMATIONS POUR PERMETTRE UNE BONNE INSTALLATION

Produits	1	2*	3	4*	5	6	7*	8*	9
Stockage	x	x	x						x
Température de la cartouche pendant la pose	x	x	x			x			x
Température du matériau de base pendant la pose					x				
Méthode de perçage	x		x	x	x	x	x	x	x
Diamètre de la mèche				x	x	x	x		x
Etat du trou (sec, humide, rempli d'eau)	X		x	x	x	x		x	
Procédure de nettoyage						x			x
Temps de séchage en fonction de la température			x						
Serrage au couple	x		x		x	x		x	x

*Produits avec ESR

Toutes les instructions de pose exigent un nettoyage du trou soit avec une pompe manuelle soit avec de l'air comprimé (Fig. 7). Toutes les instructions exigent également un brossage supplémentaire du trou. En général, les outils nécessaires pour le nettoyage des trous n'étaient pas disponibles sur les chantiers (Fig. 8). Les trous ont été correctement nettoyés uniquement dans un nombre limité d'installations (Fig. 2). La plupart des systèmes d'ancrages exigent que les forages soient exempts d'eau, de poussière, d'huile, de graisse et autres débris. Cependant, dans deux applications, la cheville était installée dans un trou rempli d'eau alors que l'ESR déclarait que le produit ne convient pas pour cette condition de pose.

Injection de la résine et durcissement

Les instructions de pose demandent que le poseur jette les premières pressions du mélange initial entre le durcisseur et la résine (le mélange extrudé doit avoir une couleur uniforme). Cette procédure assure la proportion correcte entre le durcisseur et la résine. Ces exigences ne sont souvent pas respectées (Fig. 2). De nombreux poseurs réutilisent la buse mélangeuse de la cartouche précédente. La résine restante à l'intérieur cette buse a été jetée mais la première partie de la nouvelle cartouche de résine a été injectée dans le trou. On peut supposer que la proportion réelle entre le durcisseur et la résine est différente de celle du mélange requis pour un fonctionnement correct, de sorte que cette pratique est susceptible de réduire la capacité de l'ancrage chimique.

Pour remplir le trou avec de la résine (et éviter les poches d'air), celle-ci doit être injectée à partir du fond du trou et la buse doit être retirée progressivement pour que le remplissage progresse. Cependant dans certaines applications, la résine n'a pas été injectée à partir du fond du trou. Dans ces cas, la paroi du trou et une partie de l'acier peuvent ne pas être entièrement recouverts par la résine et des vides peuvent être présents une fois le mélange durci. Ces deux effets produisent une réduction importante de la capacité et de durabilité. En outre, selon le produit, l'inhibition de l'oxygène peut interrompre le processus de durcissement de la résine et par conséquent avoir un effet négatif sur la capacité d'ancrage.

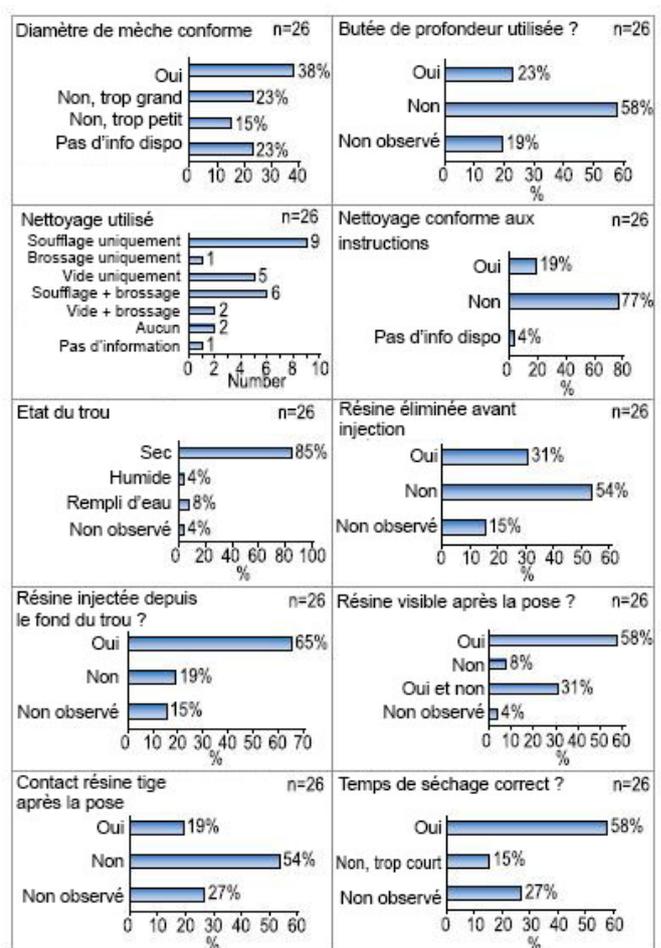


Figure 2: Résultats de l'étude terrain sur la pose d'ancrages chimiques. (n= nombre d'applications observées)

Après l'insertion de la tige d'ancrage ou du fer à béton, il doit y avoir de la résine de scellement visible tout autour du trou, afin de veiller à ce que le trou soit complètement rempli avec le mortier. Dans la plupart des applications le mortier adhésif n'est pas visible.



Figure 3: Pour éviter les problèmes d'interférences, les fers doivent être repérés avant de percer et des précautions doivent être prises avec précision pour permettre le réglage des points de fixation. Sinon, les fers pourraient être transpercés, ce qui affecterait la capacité de la structure. Ici, le poseur a tenté d'éviter les barres non détectées par l'inclinaison des forages. Les deux longueurs des tiges filetées montrent l'échec de la tentative.



Figure 4: Des limites doivent être fixées quant au positionnement de la cheville. Dans cette application, un deuxième trou (ainsi que sur la platine) a dû être percé parce que la mèche a rencontré un fer à l'emplacement d'origine. La capacité de l'ancrage est par conséquent réduite, car l'entraxe résultant est trop petit.



Figure 5: Après avoir rempli le trou avec la résine, les tiges filetées ont été insérées au marteau car le diamètre du trou était trop petit. Le diamètre de perçage nécessaire doit être clairement établi dans les instructions de pose des ancrages chimiques.



Figure 6: Méthode correcte pour le forage. Le poseur réalise le forage à travers un gabarit en utilisant un perforateur avec une butée de profondeur.

En l'absence de résine, la tige d'ancrage n'est pas scellée et n'adhère pas à la paroi du trou sur toute sa longueur et sa capacité sera réduite.

De plus, après l'insertion de l'élément d'ancrage dans la résine de scellement, chaque système nécessite un temps de séchage qui varie en fonction de la température du matériau support. Pendant ce temps, il ne faut pas toucher l'élément d'ancrage ni le mettre en charge. La Figure 9 montre un exemple d'une application correctement réalisée au plafond. Un contact ou une mise en charge prématuré pourrait détruire partiellement le lien entre le béton et la résine. Dans certaines applications, le contact de la tige a été observé et la mise en charge a été réalisée pendant le temps de séchage.

Contrôle sur chantier

Des contrôles sur chantier périodiques pour les poses d'ancrage chimique n'ont été observés que dans cinq applications en Californie et dans une seule des huit applications en Floride (Fig.10). Aucun contrôle n'a été observé dans les sept applications dans l'Illinois, dans les trois applications en Pennsylvanie ou les trois applications à New York. Alors que tous les trous ont été correctement nettoyés et que tous les ancrages correctement posés dans les applications en Californie, ce ne fut pas le cas en Floride. Les auteurs recommandent fortement que l'ingénieur en charge du projet passe en revue la performance des éléments d'ancrages.

Poseurs

Après le contrôle des installations sur les chantiers, 31 installateurs ont répondu à un questionnaire. Les réponses au questionnaire ont donné des informations sur la pose d'ancrages sur d'autres chantiers et sur le niveau de connaissance des poseurs.



Figure 7: Méthode correcte de nettoyage d'un trou. Le poseur enlève la poussière du trou conformément aux instructions en utilisant de l'air comprimé dirigé par une buse.



Figure 8: Les écouvillons sont rarement utilisés sur les chantiers. Dans ce cas un écouvillon a été utilisé mais son efficacité n'est pas optimum vu sa vétusté. Les critères sur la vétusté des accessoires ne sont pas disponibles dans les instructions sur les chantiers.

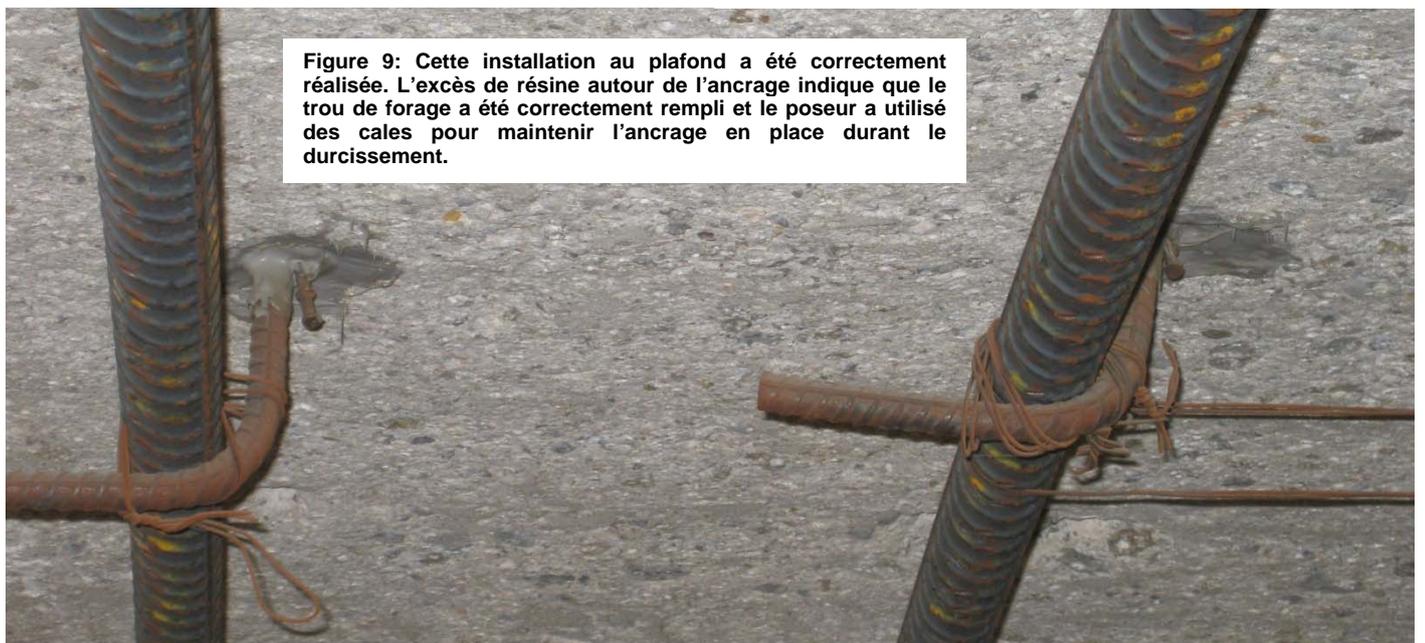


Figure 9: Cette installation au plafond a été correctement réalisée. L'excès de résine autour de l'ancrage indique que le trou de forage a été correctement rempli et le poseur a utilisé des cales pour maintenir l'ancrage en place durant le durcissement.

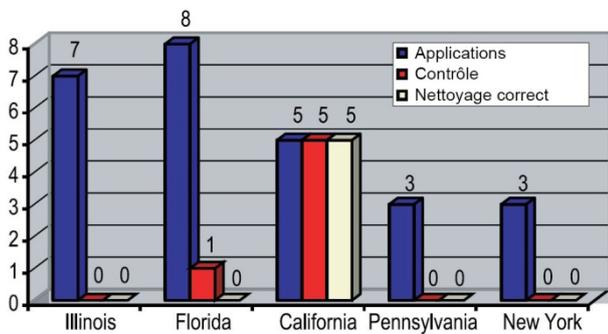


Figure 10: Influence des contrôles sur la pose des ancrages. Le nettoyage correct des trous n'a été observé qu'en Californie, un état avec une longue expérience datant de l'UBC.

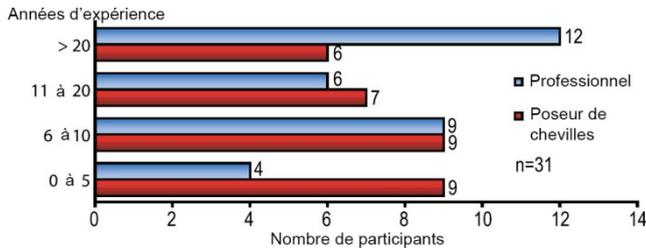


Figure 11: Les poseurs ont une expérience significative dans la construction et dans la pose de chevilles. (n= nombre de poseurs interviewés)

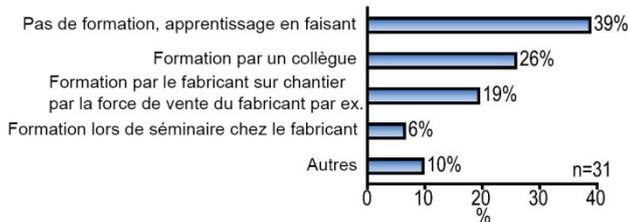


Figure 12: Formation des poseurs. Bien que les poseurs aient voulu faire un bon travail, leur formation n'est pas suffisante. (n= nombre de poseurs interviewés)

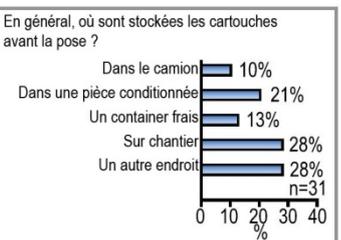
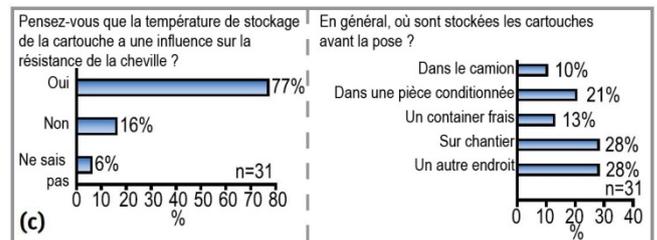
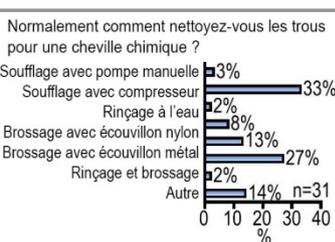
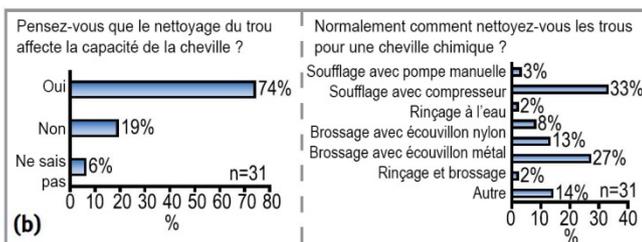
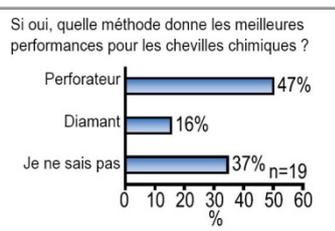
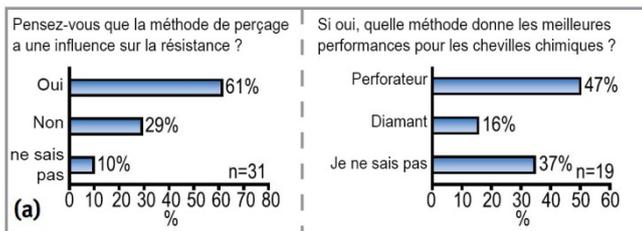


Figure 13: De nombreux poseurs ne sont pas conscients de l'influence des facteurs importants sur la capacité d'ancrage:

(a) Bien que près de 60% des poseurs pensent que la méthode de forage est importante, seule la moitié d'entre eux connaissait la méthode de perçage offrant la plus grande capacité;

(b) Bien que près des trois-quarts des poseurs pensent que la méthode de nettoyage des trous de forage a un effet, moins d'un tiers utilise une pompe soufflante et un écouvillon;

(c) Bien que trois-quarts des poseurs pensent que la température de stockage a une influence, environ un tiers seulement entrepose les cartouches dans un environnement approprié.

Presque tous les poseurs avaient une formation technique, la majorité avait été charpentier, mécanicien, métallurgiste ou travailler en construction générale. La plupart des poseurs avaient déjà installé des ancrages chimiques pendant plusieurs années. La figure 11 résume les années d'expérience dans le métier et dans la pose de chevilles chimiques.

Il est clair que la majorité des poseurs veulent faire un bon travail, en essayant de gérer avec soin le processus de pose, ils sont désireux d'améliorer leurs connaissances en matière de technologie de fixation et sur les procédures de pose. Cependant, en général, ils ne sont pas informés de l'amélioration des connaissances et des procédures. L'évaluation des questions relatives à la formation des installateurs est donnée dans la figure 12. Soixante-cinq pour cent des poseurs ont déclaré avoir obtenu leurs connaissances en matière de pose de cheville soit par la pratique soit par un collègue. Un quart ont répondu qu'ils ont été formés par un fabricant sur place ou dans un séminaire interne, et seulement 10% ont répondu qu'ils ont obtenu leur connaissance d'autres sources telles que les écoles.

Les poseurs ont également été invités à donner leur avis sur l'influence de leur pratique sur la capacité des ancrages chimiques. Les résultats sont montrés dans la Fig. 13. Alors que la plupart des poseurs interviewés savaient que la méthode de perçage a une influence sur la capacité d'ancrage (Fig. 13 (a)), seule la moitié d'entre eux savaient que la paroi rugueuse d'un trou obtenu avec un perçage au perforateur offre une capacité de traction supérieure par rapport au perçage diamant. Certains des poseurs ne connaissent pas l'influence du nettoyage du trou (Fig. 13 (b)) sur les capacités d'ancrage. A noter que le nettoyage correct des trous a été observé principalement en Californie, ce qui pourrait être principalement attribué à la réalisation plus systématique de contrôle sur chantier. La plupart des poseurs ont répondu que la température de stockage a une influence sur la capacité d'ancrage. Cependant, beaucoup ont déclaré qu'ils stockent la résine dans des endroits où la température de stockage ne peut pas être contrôlée (Fig. 13 (c)).

Autres mesures

Les facteurs critiques qui influent sur le comportement de résistance des ancrages chimiques sont bien connus. Cependant les conclusions de cette étude démontrent qu'il y a des améliorations à apporter pour assurer une qualité de pose bien plus élevée.

Formation et certification

Cette étude montre que les poseurs sont généralement très désireux de faire un bon travail mais une grande partie de l'information disponible dans l'ESR n'est pas utilisée. Soit les poseurs ne sont pas correctement formés, soit ils ont reçu des instructions de pose inadéquates. Il y a un besoin urgent d'améliorer le processus de pose des ancrages chimiques sur les chantiers et donc les poseurs ont besoin de plus de formation sur la pose de tels systèmes. Par conséquent, le Comité ACI C601-A sur les chevilles chimiques, travaille conjointement avec l'institut du béton armé (CRSI) sur un nouveau programme de certification. Le développement du programme de certification de l'installation de l'ACI-CRSI des chevilles chimiques a été mis au programme de travail et son déploiement est prévu pour le début 2011.

Autres mesures

En plus de la formation proprement dite, d'autres mesures pourraient aider à améliorer la qualité de pose des chevilles chimiques. Toutes les parties ont intérêt à exiger que les instructions de pose des produits émises par les fabricants soient écrites et illustrées de façon homogène et de manière claire et que ces instructions soient disponibles pour le poseur et le contrôleur. Pour les applications critiques, un contrôle systématique semble être nécessaire pour s'assurer que les ancrages soient installés correctement. La formation des contrôleurs permettrait d'assurer un contrôle efficace.

Des essais de résistance peuvent être réalisés dans le but d'améliorer les installations, car cela permet de détecter des réductions significatives sur la capacité de charge. L'entrepreneur aura une forte motivation pour assurer une pose de chevilles correcte et éviter les problèmes qui risquent de se développer si tous les critères ne sont pas remplis.

Remerciements

Nous voulons remercier tout spécialement Power Fasteners, Inc. pour leur soutien sur ce projet de recherche sur le terrain.

Références

1. Wollmershauser, R., and Mattis, L., "Adhesive Anchor Installation and Inspection," *Concrete International*, V. 30, No. 12, Dec. 2008, pp. 36-40.
2. Eligehausen, R.; Malleé, R.; and Silva, J.F., *Anchorage in Concrete Construction*, Ernst & Sohn, Berlin, Alemania, 2006, pp. 181-210.
3. *International Building Code*, International Code Council, Inc., Country Club Hills, IL, 2009, 676 pp..

4. AC308, *Acceptance Criteria for Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete Elements*, ICC Evaluation Service, Whittier, CA, 2009, 122 pp.
5. *Uniform Building Code*, V. 2, Structural Engineering Design Provisions, 1997 edition, International Council of Building Officials, Whittier, CA, 1997, 492 pp.



Membre de ACI **Philipp Grosser**, est Ingénieur en Recherche et Docteur au Département de Fixation et Renforcements des Méthodes de l'Institut des Matériaux de Construction, à l'Université de Stuttgart, Allemagne. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur structure de l'Université de Karlsruhe. Il est membre du groupe FIB "Fixations béton et maçonnerie".



Membre de ACI **Werner Fuchs**, est le Directeur de Recherche en Technologie à l'Université de Stuttgart. Il a obtenu son diplôme d'ingénieur Structure de l'Université de Karlsruhe et son Doctorat de l'Université de Stuttgart. Il est membre du Comité ACI 349, Structures en béton nucléaires; 355, ancrage béton; et associé en publications Internationales. Il est également membre conjoint du comité 408 ACI-ACSE, Développement de liaison des barres déformées ainsi que plusieurs comités Européens chargé de l'élaboration des codes dans le domaine de la technologie de fixation.



Rolf Eligehausen, FACI, est un Professeur retraité en Technologie de Fixation de l'Université de Stuttgart. Il est membre de nombreux comités nationaux et internationaux dans le domaine de la technique de fixation en béton armé, y compris pour le comité ACI 349, Structures en béton nucléaires; 355 ancrage en béton; et du comité mixte ACI-ACSE 408, Développement de liaison des barres déformées. Il est également le Président du groupe *fib*, « conception de raccord pour béton ». Il a écrit ou co-écrit plus de 300 documents et manuels.