

Zeitschrift: Ingénieurs et architectes suisses
Band: 113 (1987)
Heft: 24

Artikel: Chevilles chimiques à base d'époxyacrylate
Autor: Mauthe, Peter
DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-76454>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. [Siehe Rechtliche Hinweise.](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. [Voir Informations légales.](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. [See Legal notice.](#)

Download PDF: 04.02.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Chevilles chimiques à base d'époxyacrylate

par Peter Mauthe, Adliswil

1. Introduction

Depuis le lancement des chevilles chimiques, il y a maintenant plus de vingt ans, on ne pourrait plus se passer de ce type de chevilles dans le secteur des fixations – en particulier dans le secteur des fixations lourdes, en matière de projets et de réalisations dans le bâtiment, les travaux publics et génie civil. Compte tenu des avantages d'application qu'offre la cheville chimique, tels des ancrages sans pression d'expansion, des fixations rapprochées et près des bords, on l'utilise de plus en plus pour « résoudre certains problèmes » en technique de fixation.

Cette cheville se compose d'une ampoule de mortier et d'une tige filetée. L'ampoule de mortier de résine réactive est une double ampoule en verre, qui renferme les composants du mortier: la résine de polyester non saturée, la charge (grains de quartz aux bords arrondis), le durcisseur, l'accélérateur et le stabilisateur.

L'ampoule de mortier prête à l'emploi a pour avantage de toujours donner un rapport de mélange optimal des composants. Pour effectuer la pose, on introduit l'ampoule de mortier dans un trou dépoussiéré et on enfonce ensuite la tige filetée jusqu'à la profondeur d'implantation requise, au moyen d'un marteau perforateur mis sur position « rotation-percussion ». Cette rotation-percussion provoque l'écrasement de l'ampoule de verre, la fragmentation du verre et du quartz et le mélange des composants (fig. 1).

Le mortier de résine synthétique ainsi formé est comprimé et remplit l'espace annulaire entre la tige d'ancrage et la paroi du trou. La longueur de l'ampoule et le volume du mortier (en excès) garantissent le remplissage complet de l'espace annulaire à condition que l'utilisateur respecte bien les diamètres de trous liés aux dimensions.

La réaction de durcissement de la résine de polyester non saturée sous l'action du peroxyde (accélérée par amines) se déroule selon le principe de la polymérisation radicalaire.

Le début du durcissement se manifeste après gélification de la résine. A ce moment-là, les températures du mélange réactif augmentent – du fait de la copolymérisation des groupes de polyester non saturée avec le monostyrène (atténuateur de réaction) (fig. 2).

Le monostyrène, qui sert en même temps de solvant et de monomère capable d'abaisser la viscosité, s'incorpore au duromère comme agent réticulant de chaîne. On obtient ainsi un réseau tridimensionnel, contrairement à la réticulation linéaire des thermoplastiques.

La composition des ampoules de mortier a été formulée de manière qu'elles puissent être utilisées dans une large plage de températures d'application (de -5 à $+40^{\circ}\text{C}$).

Pour ce qui est de la première mise en charge de la cheville, comme la vitesse de durcissement est fonction de la température, il suffit de tenir compte du temps, qui varie suivant la température.

2. Possibilités d'amélioration

Une tendance générale, dans la construction, veut que les exigences imposées aux chevilles chimiques soient de plus en plus sévères. Et les domaines d'utilisation de la cheville chimique sont, outre les matériaux supports modifiés, notamment les suivants:

- les restaurations (d'anciens bâtis)
- les domaines du sanitaire
- la construction routière
- les installations maritimes.

Si on impose des exigences plus sévères à des systèmes de résines adhésives de polyester non saturées, à base par exemple d'acide ortho- ou isophtalique,

d'acide maléique ou fumarique comme acide dicarbonique et de dialcools, ils présentent certaines faiblesses. Ces systèmes ont une résistance à la chaleur et une résistance au vieillissement limitées, en particulier lorsqu'ils sont soumis à l'influence de l'humidité, des variations de température et à l'action des bases.

2.1 Nature/état de surface du matériau support

En premier lieu, mentionnons le support d'ancrage. Lors du perçage d'un trou, la zone du bord du béton est soumise à de très fortes sollicitations. L'application de l'énergie de frappe peut entraîner l'apparition de microfissures dans la zone du bord du trou. On peut améliorer la liaison mortier de résine synthétique/béton au moyen d'une jonction qui consolide cette zone fragile.

2.2 Tenue à la pénétration du système de résine

Une des améliorations possibles consiste à améliorer la pénétration du mortier et/ou de la matrice de résine dans le matériau support. La tenue à la pénétration est fonction de la viscosité de base et de la réactivité du système de résine. La réactivité doit être réglée de manière à obtenir un temps de séjour à l'état non gélifié suffisamment long pour humidifier complètement la zone du bord du trou (fig. 3).

2.3 Réduction du retrait

Les résines de polyester non saturées sont caractérisées par un retrait linéaire moyen de 2 à 4%, qui dépend essentiellement de la réactivité et de la teneur en styrène de la résine.

En cours de durcissement, la résine de polyester non saturée, à l'état déjà avancé de polymérisation, devient de plus en plus visqueuse et, au fur et à mesure que le degré de réticulation augmente, elle arrive à un stade de gélification à partir duquel le gradient de retrait augmente brusquement. A partir de ce stade, le volume de résine qui se rétracte, s'il est entravé – du fait, par exemple, de particules de charge du mortier ou de la zone du bord du trou –, ne peut plus couler ultérieurement, ce qui crée des contraintes ou des fissures et des retassures (fig. 3). L'influence du retrait sur les caractéristi-

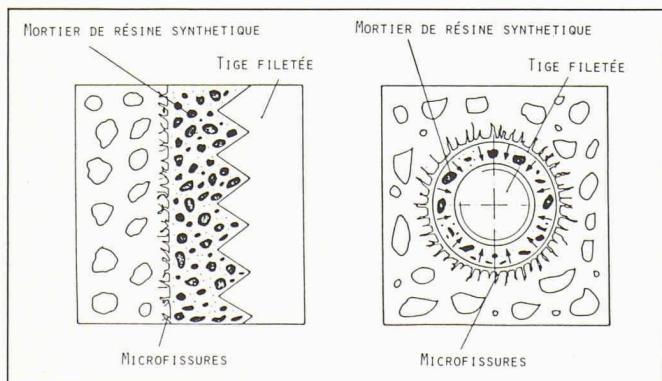


Fig. 1. — Structure du sous-sol.

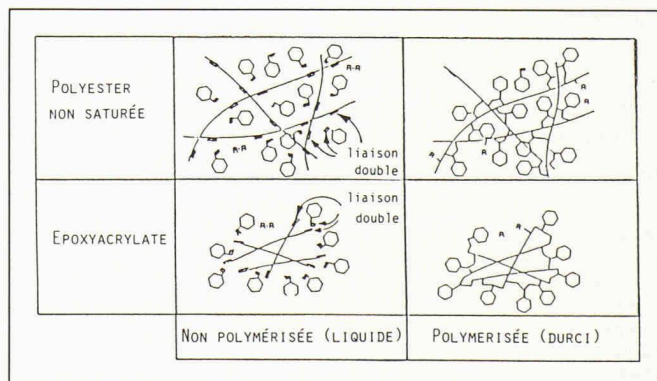


Fig. 2. — Schéma de réticulation.

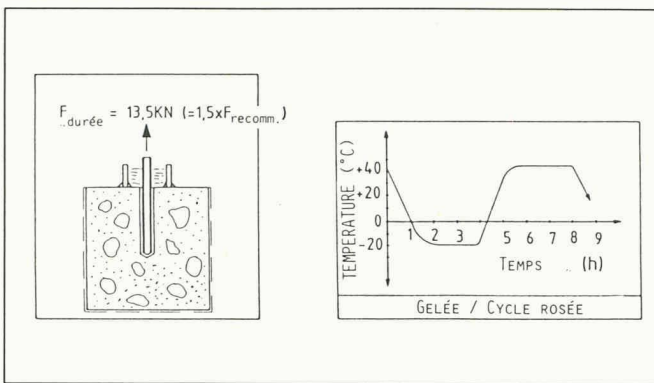


Fig. 3. — Comportement lors d'exposition aux intempéries, structure de l'essai.

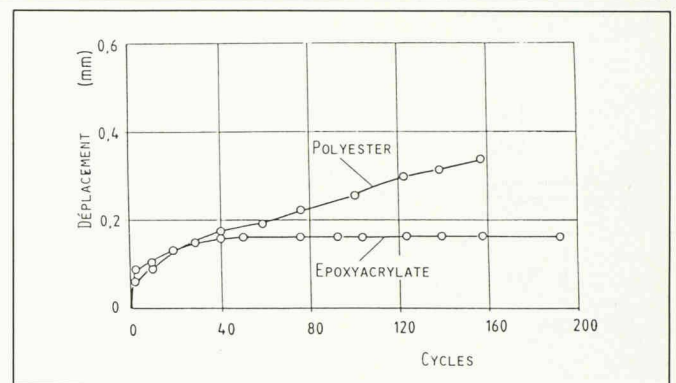


Fig. 4. — Simulation de l'exposition aux intempéries.

ques mécaniques dépend de plusieurs facteurs. Citons entre autres aspects importants la réactivité et le comportement au retrait de la matrice, ou encore le pourcentage en volume et la répartition des particules de la charge dans le mortier de résine synthétique.

L'état de contrainte qui se développe dans le mortier est fonction

- du degré de charge ainsi que du type et des dimensions des particules
- de la matrice (type de résine/pourcentage de monomère)
- de la cinétique du durcissement.

Ajoutons que, dans le dernier cas, il faut tenir tout particulièrement compte de la chaleur de réaction créée et dissipée.

2.4 Tenue dans le temps

S'il est possible d'améliorer les trois points susmentionnés, on obtient une meilleure adhérence et on peut colmater les microfissures apparues éventuellement dans la zone limite.

Ce mode de «réparation du trou de forage» permet d'éviter toute pénétration d'humidité. En effet, toute pénétration d'eau dans les microfissures peut, en cas d'alternances de gel et de dégel, conduire à des dégâts importants dans la zone du bord (érosion de la zone du bord).

On peut améliorer davantage la tenue dans le temps en utilisant une matrice de résine plus résistante aux agents chimiques - en particulier plus résistante aux bases. Par ailleurs, l'utilisation d'une

matrice de résine de meilleure élasticité permet d'améliorer les caractéristiques de tenue dans le temps de la cheville chimique, lorsque celle-ci est soumise à charge dynamique.

3. Choix d'un système de résine aux caractéristiques chimiques et physiques améliorées

L'objectif visé, à savoir les améliorations recherchées, n'a pu être réalisé qu'en adoptant un système de résine aux caractéristiques physiques et chimiques améliorées. C'est un époxyacrylate (ester vinylique) que l'on a choisi comme résine réactive pour la nouvelle ampoule de mortier HEA de cheville chimique (fig. 4).

Cette classe de substance est relativement nouvelle et a été déjà utilisée ces dernières années dans les domaines du chauffage et de l'enduction. Il ne faut pas confondre les époxyacrylates avec les époxydes purs.

Pour la synthèse de ces résines, on choisit les composés époxy qui possèdent au moins deux groupes époxydes par molécule et qui, du fait de leur structure moléculaire, présentent de bonnes caractéristiques d'adhérence et de cohésion. On utilise de préférence les époxydes de bisphénol A. Pour l'introduction de groupes à durcissement et/ou réticulation radicalaire libre, tels que les esters vinyliques, on forme les liaisons époxydes avec de préférence l'acide acrylique et/ou méthacrylique.

L'époxyacrylate, liant des chevilles chimiques, a d'abord pour avantage d'apporter à la matrice de résine les caractéristiques bénéfiques de l'élément constitutif de la résine époxy dans la molécule - à savoir une bonne résistance au vieillissement et aux intempéries. En plus, la teneur en groupes hydroxyles polaires a pour effet d'améliorer les caractéristiques d'adhérence.

On obtient ainsi une bonne humidification du verre, du quartz, du sable, de la roche et donc de bonnes caractéristiques d'adhérence.

Contrairement aux époxydes durcissant à froid, dont les limites d'application se situent, du fait de leur sensibilité à la température, aux environs de 5°C, le durcissement de la résine d'époxyacrylate (ester vinylique) peut être réalisé en présence de peroxydes comme pour les polyesters non saturés. Même à des températures de -5°C par exemple, la résine peut encore durcir rapidement.

La résine d'époxyacrylate offre un autre avantage: elle présente une bien moins grande concentration en volume de groupes esters par rapport aux résines de polyester non saturées; la résine d'époxyacrylate présente donc une résistance élevée à la saponification alcaline.

Mais elle offre aussi un avantage particulier en ce sens que les doubles liaisons, surtout celles en bout de chaîne, sont particulièrement réactives du fait de l'absence d'encombrement stérique.

Contrairement aux doubles liaisons des résines de polyester non saturées qui, du

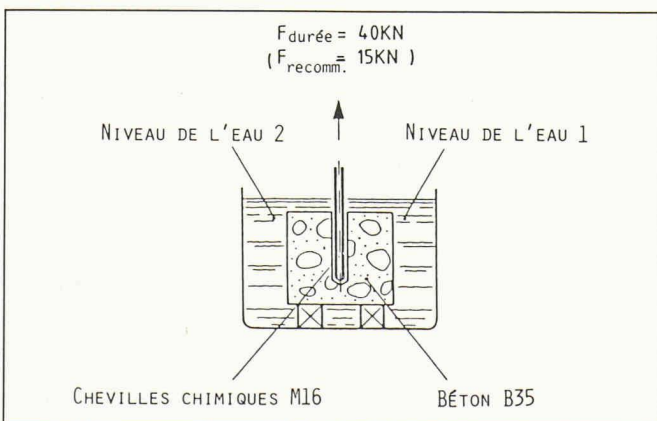


Fig. 5. — Comportement de longue durée sous l'influence d'humidité extrême, structure de l'essai.

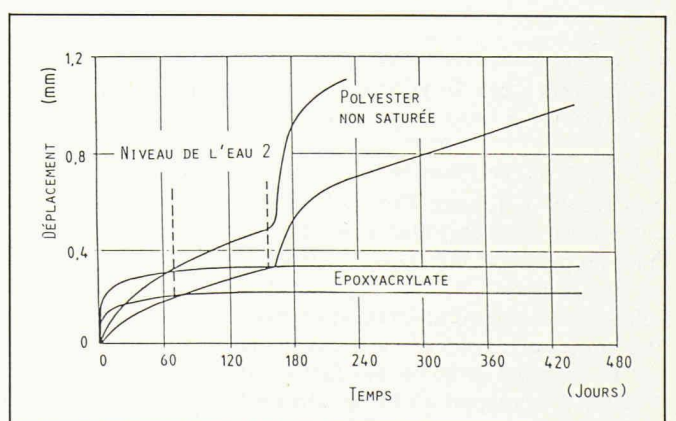


Fig. 6. — Comportement de longue durée sous l'influence d'humidité extrême.

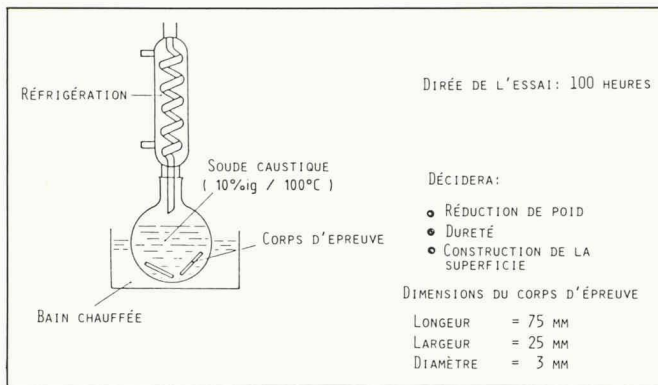


Fig. 7. — Résistance à l'alcali.

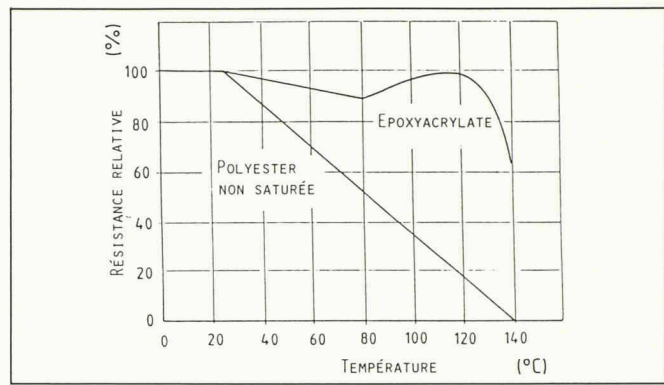


Fig. 8. — Comportement thermique.

fait de leur disposition habituelle à l'intérieur de la chaîne polyester, présentent l'effet d'encombrement stérique, la résine d'époxyacrylate réagit bien, tant rapidement que quantitativement dans la pratique, avec ses doubles liaisons.

Lorsqu'on utilise la résine d'époxyacrylate, on obtient, compte tenu des possibilités offertes de réticulation, un produit durci qui présente une bien meilleure viscoélasticité et une plus grande élongation à la rupture que les résines de polyester non saturées, durcies.

Cette propriété s'explique par le fait qu'avec les époxyacrylates, le produit final n'est pas aussi réticulé mais, en revanche, plus homogène dans l'ensemble de la structure du polymère (fig. 5).

Alors qu'avec la résine de polyester non saturée, la réticulation se fait par l'intermédiaire d'un plus ou moins grand nombre de liaisons doubles par molécule de polyester non saturé, suivant la réactivité de la résine, avec la molécule d'époxyacrylate, seules les deux extrémités de la molécule peuvent réticuler avec le styrène, pour autant que cette molécule est très peu ramifiée. C'est pourquoi, on peut déjà prévoir que les produits durcis doivent être plus viscoélastiques que les matières moulées en résine de polyester non saturée.

Compte tenu de sa grande élongation à la rupture, le système est à même de reprendre, pratiquement sans contrainte, les contractions de volume qui apparaissent au cours du durcissement.

4. Performances de la cheville chimique à base d'époxyacrylate

4.1 Tenue aux intempéries

Les résultats d'essais d'exposition aux intempéries de chevilles chimiques à base de polyester non saturé, montrent un déplacement plus important des chevilles après qu'elles eurent été soumises à des influences extrêmes d'alternances de gel et de dégel et qu'on eut fortement humidifié le support en béton. On peut largement compenser cet effet négatif en utilisant l'ampoule de mortier HEA pour les chevilles chimiques.

Au cours d'un essai de simulation de tenue dans le temps, on a testé diverses chevilles chimiques à base d'époxyacrylate de dimension M12. Les chevilles ont été implantées dans des cubes de béton de classe de résistance B25 (béton résistant au gel, $W = 26 \text{ N/mm}^2$, avec un indice de pourcentage d'air en volume = 3%) de dimensions $20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm}$ (fig. 6).

Après 24 heures, les chevilles ont été mises sous charge permanente $F_{perm.} = 13,5 \text{ kN}$ et immergées ensuite au bout de 72 heures. Les corps d'épreuve étaient enduits de vernis de polyuréthane sur cinq faces. La face supérieure des cubes dans le domaine de l'ancrage est restée en permanence immergée. Au total, les essais ont compris 190 cycles d'une durée de huit heures chacun.

Dans la figure 7 sont représentées les courbes de déplacement en fonction du nombre de cycles. Tandis qu'avec les chevilles à base de polyester, on constate une augmentation constante du déplacement, avec les chevilles à base d'époxyacrylate, la vitesse de déplacement est pratiquement nulle.

4.2 Tenue dans le temps des chevilles soumises en permanence aux effets de l'humidité

La résine d'époxyacrylate utilisée se distingue par sa faible viscosité et donc par son haut pouvoir mouillant. Par ailleurs, son taux d'absorption d'eau à l'état durci est très faible.

L'essai selon DIN 53495 montre qu'au bout de 1000 jours, le taux d'absorption d'eau est de 0,2% avec la résine d'époxyacrylate utilisée (avec la résine de polyester utilisée jusqu'ici, le taux d'absorption d'eau était 10 fois plus grand). Ces caractéristiques améliorent nettement la tenue des chevilles placées dans un milieu constamment humide. Cela est clairement démontré si on utilise la méthode selon la figure 8.

Des chevilles de dimension M16 ont été implantées dans du béton B35 ($W = 40 \text{ N/mm}^2$) et mises sous charge permanente et constante $F_{perm.} = 40 \text{ kN}$ (correspond à $2,3 \times F_{adm.}$). Les corps d'épreuve en béton ont été stockés pendant 71 jours dans l'eau, l'arête supérieure du béton à 3 cm au-dessus du niveau de l'eau. Les corps

d'épreuve en béton ont été ensuite complètement immergés dans l'eau et on a enregistré les déplacements des chevilles pendant une durée totale de séjour de 580 jours.

Contrairement aux chevilles chimiques à base de polyester non saturé dont le glissement, après immersion, augmentait brusquement, avec les chevilles chimiques à base d'époxyacrylate, la vitesse de déplacement n'augmentait pas (fig. 9). La capacité de charge résiduelle des chevilles chimiques à base d'époxyacrylate après 580 jours montre la même valeur de rupture que les échantillons 0; en revanche, avec les chevilles chimiques à base de polyester, elle chute brusquement, de 40% à la limite.

4.3 Tenue dans le temps sous contrainte dynamique

Les chevilles chimiques à base d'époxyacrylate soumises à charge dynamique au cours de l'essai de fatigue par application d'une charge pulsatoire, pour une charge supérieure égale à $1,3 \times F_{adm.}$ et une charge inférieure égale à $0,65 F_{adm.}$ à des fréquences de 10 Hz et avec 2×10^6 cycles de charge appliqués, ne présentent aucune détérioration. Toutes les chevilles testées ont résisté à la charge dynamique prédéfinie, c'est-à-dire que la longévité du scellement est au moins égale ou supérieure à la résistance à la fatigue de la tige d'ancrage (classe de résistance 8.8). Les déplacements résiduels, après l'essai dynamique, étaient de 0,25 mm au maximum. La capacité de charge statique résiduelle, déterminée lors de l'essai d'arrachement, après application de la charge dynamique, correspondait à celle de chevilles non soumises à charge dynamique.

4.4 Résistance aux alcalis

Dans le béton complètement humidifié, si la concentration d'ions hydroxydes ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) est élevée, il peut théoriquement se produire une hydrolyse basique (saponification). Si on utilise des ciments contenant des hydroxydes d'alcalins (NaOH , KOH), avec les résines de polyester standard, la présence d'humidité peut entraîner une cassure des chaînes et donc une diminution de la capacité de charge.

Les résines d'époxyacrylate, elles, compte tenu des effets d'encombrement stérique et de stabilisation interne des groupes terminaux, ne peuvent pas être attaquées. Il n'y a pas destruction de la structure du polymère, ni donc diminution de la capacité de charge.

Les résultats d'un essai de résistance aux alcalis selon JIS K 6919 (Japanese Industrial Standard, fig. 10), au cours duquel on fait bouillir un corps d'épreuve pendant 100 heures dans une solution de soude (NaOH) à 10%, ont montré que ni le poids, ni les cotes en longueur, ni la dureté du corps d'épreuve ne sont modifiés.

4.5 Tenue à la température

A l'état durci, la résine d'époxyacrylate présente une température conventionnelle de déformation à chaud, plus élevée que des résines de polyester non saturées. Sa température conventionnelle de déformation à chaud, selon Martens, (DIN 53458) est de 102°C, alors que celle de la résine de polyester non saturée, des HBP, est de 55°C.

La figure 11 représente la résistance relative pour la plage de température de 0 à 140°C. Sur l'ensemble de cette échelle de température, la cheville présente une bien meilleure capacité de charge et conserve sa résistance jusqu'à 120°C. A partir de cette température, sa capacité de charge diminue, mais à 140°C, elle est encore égale à environ 50% de sa résistance à 20°C.

4.6 Tenue sous charge occasionnelle

Lorsque la cheville chimique à base d'époxyacrylate est mise en charge, la tige d'ancrage subit un allongement fonction de la profondeur du trou. La viscoélasticité du mortier garantit une bien meilleure distribution des charges dans toute la zone de la cheville chimique qu'avec les chevilles chimiques à base de polyester non saturé connues jusqu'ici et élimine en particulier toute contrainte locale (extrême) à la surface du matériau support, du béton par exemple. On obtient des valeurs de rupture comparables à celles obtenues avec les chevilles chimiques à base de résine de polyester. Mais du fait de son excellente tenue dans le temps, on obtient des valeurs admissibles supérieures à celles des chevilles à base de résine de polyester.

5. Résumé

Si on considère le type de résine réactive, le nouveau système de cheville chimique à base d'époxyacrylate offre les bonnes caractéristiques de résines époxy (résistance aux agents chimiques) et de résines de polyester non saturées (mélange, réactivité, plage de températures d'application).

Compte tenu de ses excellentes caractéristiques à l'état lié, elle offre les avantages suivants :

- une résistance élevée à l'hydrolyse
- une faible absorption d'eau, donc une meilleure tenue dans le

temps lorsqu'elle est placée dans un milieu constamment humide (application dans la construction de routes et de ponts, chemins de fer et installations maritimes)

- une faible viscosité
- une adhérence plus élevée
- une meilleure élasticité.

Ces trois facteurs ont des effets bénéfiques sur la tenue de la cheville soumise à des variations de température. Du fait de sa faible viscosité, la résine pénètre bien mieux dans la zone limite du trou, ce qui renforce la zone fragile du bord (« consolidation du trou »). Elle offre une meilleure adhérence, en particulier dans les trous secs ; toute influence ultérieure de l'humidité n'entraîne aucune diminution notable de l'adhérence.

Sa meilleure élasticité a aussi des effets bénéfiques : elle permet de reprendre toutes contraintes dans le système (également celles dues, par exemple, à des différences de dilatation thermique).

Enfin, grâce à une température conventionnelle de déformation à chaud plus élevée, pour les façades ou dans les salles de machines en particulier, cette cheville présente une bien meilleure résistance à la chaleur.

Adresse de l'auteur :

Peter Mauthe, ingénieur chimiste
Hilti (Suisse) SA
Soodstrasse 61
8134 Adliswil

Actualité

Chercheurs suisses et catastrophe du lac Nyos¹

Dans le nord-ouest du Cameroun, une nuit d'août 1986, 1746 personnes et un grand nombre d'animaux ont trouvé la mort dans un nuage toxique provenant d'un lac de cratère volcanique. Le président du Cameroun, M. Bija, demanda alors de l'aide, et notamment au Gouvernement suisse.

Un petit groupe du Corps suisse d'aide en cas de catastrophe, dont faisaient partie un médecin, un géologue et un spécialiste en gaz toxiques, se rendit au Cameroun pour contribuer aux actions internationales de première aide et pour examiner les causes de cet accident.

Pendant quelques jours des analyses bactériologiques, géologiques, hydro- et aérochimiques furent faites. Des études détaillées d'échantillons d'eau et de roches ont été effectuées par l'Institut de minéralogie et pétrographie de l'EPFZ et par Gemag AG à Alberswil.

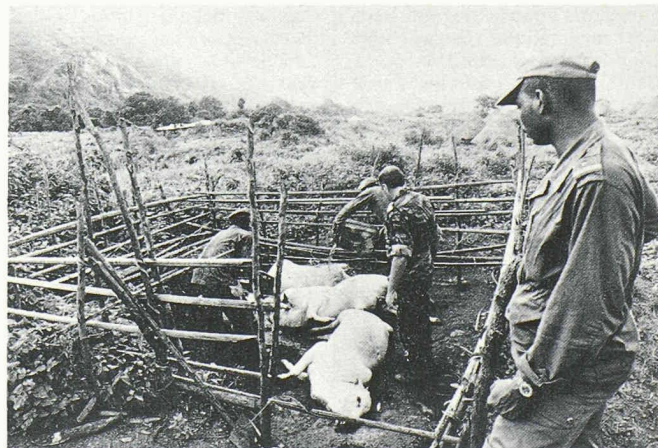
¹ Version légèrement abrégée d'un article paru dans le *Bulletin der ETHZ*, Nr. 207. Traduction de Bernard Grobety et Eric Reusser.

La composition du nuage toxique

Quelques jours après la nuit catastrophique, il était impossible aux différentes organisations de secours de détecter la moindre anomalie de gaz dans l'air, à part une concentration légèrement plus élevée de CO₂ à la surface du lac Nyos. Ainsi la cause de l'émanation du gaz mortel et sa composition ont dû être déterminées à l'aide d'indices. Des autopsies pathologiques ont indiqué que, probablement, un manque d'oxygène a provoqué la mort par asphyxie.

Le nuage mortel, apparemment plus lourd que l'air, a atteint une hauteur de 120 m au-dessus du lac et s'est déplacé rapidement (environ 50 km/h) vers le nord, dans des vallées étroites, situées en aval. Son effet mortel s'est étendu à plus de 25 km du lac Nyos.

Il est exclu que ce soit l'hydrogène sulfuré et le monoxyde de carbone qui aient provoqué la mort, puisque l'on n'en a pas découvert dans le sang des victimes. C'est donc le gaz carbonique, qui apparaît souvent dans des cratères volcaniques, qui a dû former le volume principal du nuage de gaz mortel. Une concentration de 10 à 20% de CO₂ dans l'air peut engendrer la mort par étouffement. En se fondant sur la répartition régionale des morts, on a pu cal-



Cette catastrophe n'a pas seulement coûté la vie à 1746 personnes, mais elle a privé les survivants de l'essentiel de leurs moyens d'existence en détruisant leurs troupeaux. (Keystone.)

culer un volume minimal de gaz toxique de 1 km³, ce qui correspond à environ 0,15 km³ de CO₂ pur.

Les traces de cautérisation sur les parties dévêtues des morts et de quelques survivants indiquent une faible concentration de différents acides.

La provenance du CO₂

Le lac Nyos (environ 1,5 km² de surface et 208 m de profondeur) s'est formé dans le cratère d'une

éruption phréato-magmatique, qui a probablement duré quelques jours et qui s'est produite en période historique. Des lacs de cratère semblables (maars), situés sur des cheminées (diatèmes), sont très bien connus dans le massif de l'Eifel et le Massif central.

Ces cratères circulaires, ne mesurant souvent que quelques centaines de mètres de diamètre, sont le résultat d'éruptions explosives. Celles-ci sont causées