



LIVRE BLANC

**HIT-FP 700 R : la nouvelle
génération de systèmes de mortier
injectable résistant au feu Hilti**

**Version 1.0
Juin 2022**

TABLE DES MATIÈRES

1. RÉSUMÉ	2
2. APPLICATION SCÉLLEMENT D'ARMATURE RAPPORTÉE d'après le DEE 330087	3
2.1 Pourquoi le calcul du comportement au feu est-il si important ?	5
3. COMPORTEMENT AU FEU	6
3.1 Qualification	6
3.2 Calcul de comportement au feu d'une armature rapportée	7
3.3 Comportement au feu du HIT-FP 700 R	9
3.4 Comparaison de performance pour le calcul de comportement à froid et au feu	10
4. LES CARACTÉRISTIQUES DU HIT-FP 700 R	11
4.1 Différences et similitudes entre le HIT-FP 700 R, les coulis de ciment et le mortier à base de résine	12
4.2 Caractéristiques détaillées de l'installation du HIT-FP 700 R	13
4.3 Amendement du DEE : un nouveau modèle pour la qualification des mortiers à base de ciment	14
5. LOGICIEL PROFIS ENGINEERING HILTI : UN MOYEN SIMPLE DE SÉLECTIONNER LE BON PRODUIT POUR LE CALCUL DU COMPORTEMENT AU FEU	15
6. RÉFÉRENCES	17

1. RÉSUMÉ

Après plusieurs années intenses de recherche et de développement, Hilti introduit une nouvelle technologie dans le monde du mortier chimique : le « mortier injectable HIT-FP 700 R Hilti ».

Le HIT-FP 700 R est le premier système de mortier injectable inorganique bi-composant pour le scellement des armatures rapportées détenant une ETE 21-0624 délivrée d'après le DEE 330087-02 [1] modifié pour les mortiers à base de ciment à résistance au feu améliorée.

À 500 °C, les systèmes d'armatures rapportées traditionnels n'ont pas de capacité de charge résiduelle. Au contraire, le HIT-FP 700 R a été testé jusqu'à 500 °C, et conserve au moins 2,3 N/mm² de contrainte d'adhérence $f_{bd,fi}$ sous exposition au feu (Figure 3-5).



Figure 1-1 : Système d'injection Hilti HIT-FP 700 R - pack sous film

2. APPLICATION SCELLEMENT D'ARMATURE RAPPORTÉE D'APRÈS LE DEE 330087

Depuis le milieu des années 1970, les ancrages chimiques sont très souvent utilisés dans le secteur de la construction. Aujourd'hui, la plupart des projets nécessitent des installations de béton sur béton, qui sont souvent sécurisées par des armatures rapportées utilisant du mortier chimique.

L'armature rapportée utilise des barres d'armature déformées qui sont placées dans des trous forés dans le béton remplis de mortier injectable. Les armatures rapportées sont généralement utilisées pour les scellements de béton sur béton, pour lesquels du nouveau béton est placé contre le béton existant. Comme indiqué dans la Figure 2-1, les barres d'armature sont encastrées dans le mortier chimique dans un trou foré dans un élément en béton existant et sont coulées dans le nouveau béton de l'autre côté. Alors que la partie des barres d'armature installées dans le béton existant est droite, la partie intégrée dans le nouveau béton peut être droite ou courbe. Par rapport aux applications d'ancrage d'acier sur béton, le scellement de béton sur béton avec armature rapportée implique des distances relativement petites entre les bords et les angles, et les barres sont généralement encastrées selon les besoins pour développer la limite d'élasticité de l'acier d'armature (par ex. EN 1992-1-1 [2]).

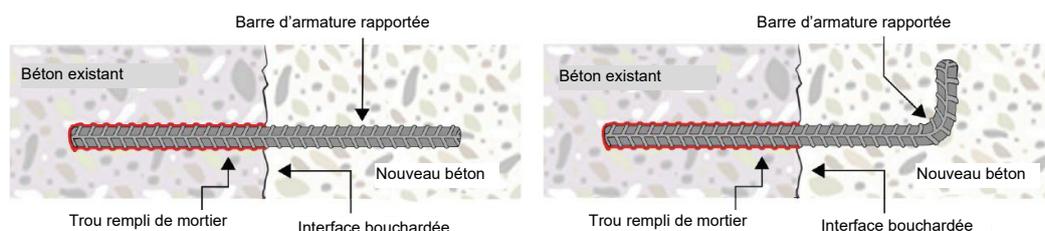


Figure 2-1 : Armature rapportée avec une barre droite et une barre courbée

Les performances des armatures rapportées sont étroitement liées aux performances du mortier et sa solidité dans différentes conditions d'installation (température, humidité). Elles peuvent être très sensibles aux conditions du chantier/de l'installation (par ex. nettoyage du trou foré incorrect ou incomplet et/ou injection incorrecte ou incomplète, environnement corrosif), aux conditions de chargement (cycles de gel-dégel, chargement de longue durée à hautes températures, chargement sismique cyclique), à la méthode de forage du trou, à la quantité et au type d'équipement utilisé pour l'installation, ainsi qu'à la profondeur et au diamètre de l'application. Toutes ces considérations rendent nécessaires la détermination d'exigences appropriées pour la qualification du produit, afin que le comportement et les performances de l'armature rapportée soient similaires à ceux d'une armature coulée.

Actuellement, l'utilisation de systèmes à mortier pour la réalisation des scellements avec des armatures rapportées en Europe est limitée aux produits évalués d'après les dispositions établies par l'Organisation européenne pour l'évaluation technique (EOTA) dans le Document d'Évaluation Européen (DEE) 330087- 02 [1] pour les conditions de chargement statique, sismique et sous exposition au feu, et le DEE 332402-00-0601 [3] pour le scellement d'armatures rapportées, avec résistance améliorée à la rupture par fendage sous chargement statique (voir la Figure 2-2).

	Jonction	Appui simple	Charge de compression uniquement	Scellement rigide
Chargement	Statique	Feu	Sismique	Statique
Qualification du produit	DEE 330087			DEE 332402
Données techniques	ETE I			ETE II
Méthode de conception	EC2		EC8	TR069

Figure 2-2 : Présentation générale du cadre réglementaire européen pour les applications d'armatures rapportées

Hilti dispose d'une large gamme de produits (Fig. 2-3), tels que le HIT-RE500 V4 et le HIT-HY 200-R V3, et introduit à présent son nouveau mortier inorganique injectable HIT-FP700 R pour le scellement des armatures rapportées.

	HIT-RE500 V4	HIT-HY 200-R V3	HIT FP 700 R
Type de scellement	Jonctions, appui simple, charge de compression uniquement, scellements résistants aux moments	Jonctions, appui simple, charge de compression uniquement, scellements résistants aux moments	Jonctions, appui simple, charge de compression uniquement
Principales caractéristiques	Hautes performances même dans les conditions les plus difficiles telles que l'installation par forage au diamant	Fiabilité et productivité élevées pour la plupart des installations d'armatures	Premier mortier inorganique injectable ayant une résistance au feu jusqu'à 504 °C
Homologation	<ul style="list-style-type: none"> ETE pour le scellement d'armature d'après le DEE 330087/EC2 sous chargement statique, sismique et sous exposition au feu, durée de vie de 100 ans ETE pour le scellement d'armature d'après le DEE 332402/TR069 sous chargement statique, durée de vie de 100 ans 	<ul style="list-style-type: none"> ETE pour le scellement d'armature d'après le DEE 330087/EC2 sous chargement statique, sismique et sous exposition au feu, durée de vie de 100 ans ETE pour le scellement d'armature d'après le DEE 332402/TR069 sous chargement statique, durée de vie de 100 ans 	<ul style="list-style-type: none"> ETE pour le scellement d'armature d'après le DEE 330087/EC2 sous chargement statique et sous exposition au feu, durée de vie de 100 ans
Méthode de perçage	<ul style="list-style-type: none"> Perçage à percussion Perçage à percussion avec la technologie SafeSet (foret creux Hilti) Forage au diamant Forage au diamant associé à l'outil de bouchardage Hilti 	<ul style="list-style-type: none"> Perçage à percussion Perçage à percussion avec la technologie SafeSet (foret creux Hilti) Forage au diamant associé à l'outil de bouchardage Hilti 	<ul style="list-style-type: none"> Perçage à percussion Perçage à percussion avec la technologie SafeSet (foret creux Hilti) Forage au diamant associé à l'outil de bouchardage Hilti
Nettoyage du trou percé	<ul style="list-style-type: none"> Nettoyage automatique du trou (SafeSet) Nettoyage manuel Nettoyage à l'air comprimé 	<ul style="list-style-type: none"> Nettoyage automatique du trou (SafeSet) Nettoyage manuel Nettoyage à l'air comprimé 	<ul style="list-style-type: none"> Nettoyage automatique du trou (SafeSet) Nettoyage manuel Nettoyage à l'air comprimé
Diamètre de la barre	8 mm – 40 mm	8 mm – 40 mm	8 mm – 40 mm
Température maximale dans le mortier	305°	268°	504°
À la température d'installation	-5 °C à +40 °C	-10 °C à +40 °C	+5 °C à +40 °C
Plage de température en service	-40 °C à +80 °C	-40 °C à +80 °C	-40 °C à +160 °C
Temps d'utilisation/durcissement (à 20 °C)	30 min/420 min	15 min/90 min	20 min/10 jours
Volume de la cartouche	330 ml, 500 ml, 1 400 ml	330 ml, 500 ml	490 ml

Figure 2-3 : Présentation générale des mortiers Hilti Ultimate pour les applications d'armatures rapportées

Le présent article étudie spécifiquement les scellements d'armatures rapportées d'après la norme EN 1992-1-1, pour lesquels le système détient une ETE délivrée d'après le DEE 330087-02 [1], avec un intérêt particulier pour le calcul du comportement au feu. Parmi les applications possibles, on peut citer les jonctions par recouvrement avec l'armature existante ou l'ancrage d'une armature dans une dalle ou des fondations avec des barres coulées existantes (voir les Figure 2-4 à Figure 2-7).

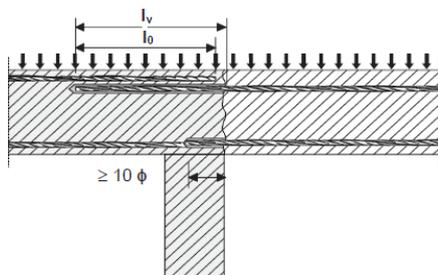


Figure 2-4 : Jonction par recouvrement d'armatures pour la liaison de dalles et de poutres, d'après le DEE 330087-02-0601 [1]

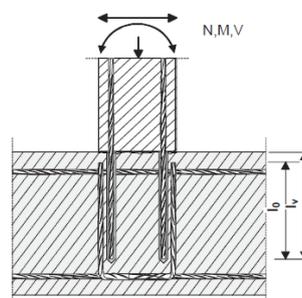


Figure 2-6 : Jonction par recouvrement d'armatures pour la liaison d'un poteau ou d'un mur sur une fondation avec armatures en traction, d'après le DEE 330087-02-0601 [1]

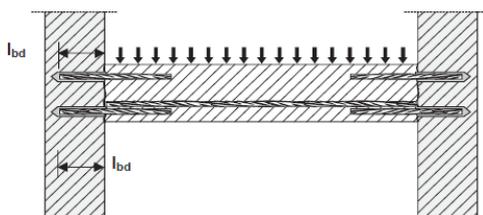


Figure 2-5 : Ancrage d'armatures en extrémité de dalles ou de poutres, conçu en appui simple, d'après le DEE 330087-02-0601 [1]

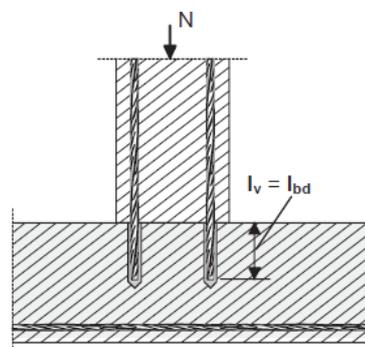


Figure 2-7 : Ancrage direct d'armatures pour éléments principalement en compression, d'après le DEE 330087-02-0601 [1]

2.1 Pourquoi le calcul du comportement au feu est-il si important ?

Le feu est indéniablement un danger évident à prévenir pour toute construction, car un incendie peut survenir partout et à tout moment pendant la durée de vie d'un bâtiment, aussi bien pendant sa construction que pendant son utilisation.

L'assurance peut compenser les dommages matériels causés par un incendie, mais elle ne peut pas protéger des conséquences graves et irréparables telles que la détérioration de l'état de santé, le décès ou les dommages environnementaux.

Pour renforcer la protection contre les incendies et limiter la propagation des incendies, en ménageant des voies et des sorties d'évacuation, le bâtiment doit être divisé en petits compartiments coupe-feu en utilisant des éléments résistants au feu au niveau du sol, des murs, etc. (Figure 2-8).

Lorsque des scellements d'armatures rapportées font partie d'une structure classée feu (sol, plafond, etc.), il est important d'évaluer la résistance au feu du scellement à partir de données de test afin de déterminer la réduction de la contrainte d'adhérence dans le temps associée aux géométries types et aux protocoles de chargement temps-température.

En général, ces éléments sont conçus et construits pour offrir une durée spécifique de résistance (R) sous chargement en cas d'incendie, qui est généralement de 30, 60, 90, 120, 180 ou 240 minutes.

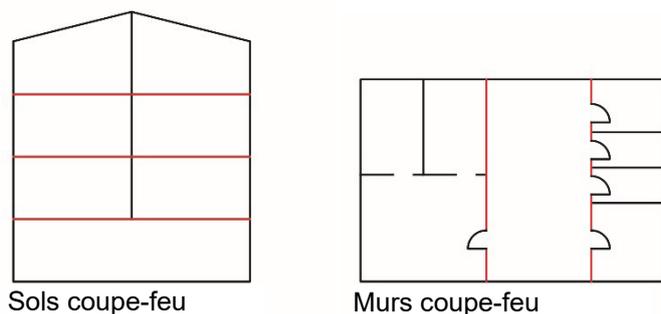


Figure 2-8 : Exemple de compartimentation coupe-feu

Les scellements d'armature rapportée impliqués dans la fonction coupe-feu peuvent être répartis en deux catégories :

1. Jonctions par recouvrement, telles que les scellements de dalle sur dalle, pour lesquelles la surface est exposée au feu et la température sur toute la longueur de l'ancrage est constante et dépend de l'épaisseur d'enrobage de béton et de la durée de l'incendie (Figure 2-9).
2. Intersections, telles que les scellements de dalle sur mur avec appui simple, pour lesquelles la surface de l'élément existant et celle du nouvel élément sont exposées et la température sur toute la longueur de l'ancrage n'est pas constante (Figure 2-10).

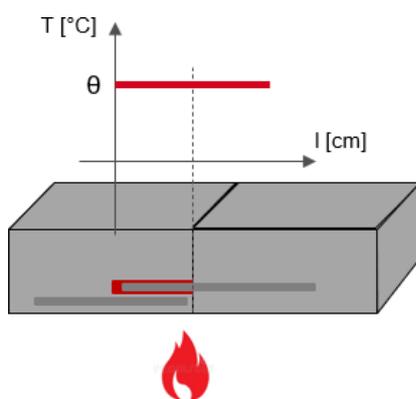


Figure 2-9 : Répartition de la température type pour les jonctions par recouvrement en cas d'incendie

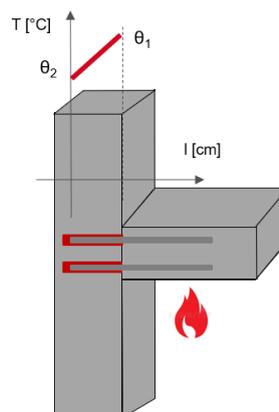


Figure 2-10 : Répartition de la température type pour les intersections en cas d'incendie

Le chapitre suivant fournit une présentation générale de la façon dont le comportement au feu est évalué et décrit les avantages procurés par l'utilisation du HIT-FP 700 R sous exposition au feu.

3. COMPORTEMENT AU FEU

3.1 Qualification

La qualification des scellements d'armatures rapportées en cas d'incendie est couverte par le Document d'Évaluation Européen DEE 330087-02 [1], qui est publié par l'EOTA et permet une conception conforme à l'Eurocode 2 [2]. L'évaluation porte sur l'évolution de la contrainte d'adhérence du mortier par rapport à la température.

Le résultat de l'évaluation reflété dans l'évaluation technique européenne (ETE) est donné en termes de facteur de réduction de température $k_{fi}(\theta)$ et est utilisé pour calculer $f_{bd,fi}$ pour l'équation 3.8 de l'Eurocode 2, partie 1 (EN 1992-1-1) [2].

Le facteur de réduction $k_{fi}(\theta)$ pour l'adhérence est dérivé via des essais réalisés dans des conditions de simulation d'incendie.

Un chargement constant est appliqué à l'armature dans une configuration confinée, tandis que la température de l'échantillon de béton est augmentée à une vitesse d'élévation de température prédéfinie. Les valeurs de température sont mesurées en continu dans le trou foré au moyen de deux thermocouples. La température est augmentée jusqu'à la défaillance de l'échantillon testé. Avec un nombre minimum de $n=20$ échantillons testés, et des points de données répartis selon des intervalles de contrainte de moins de 1 N/mm^2 , une courbe d'ajustement pour l'ensemble de données de contrainte d'adhérence en fonction de la moyenne pondérée des températures mesurées au moment de la défaillance est évaluée. Cette courbe est alors traduite en facteur de réduction $k_{fi}(\theta)$ en calculant le rapport des valeurs de contrainte d'adhérence sur la valeur de référence des armatures coulées pour la classe de béton concernée.

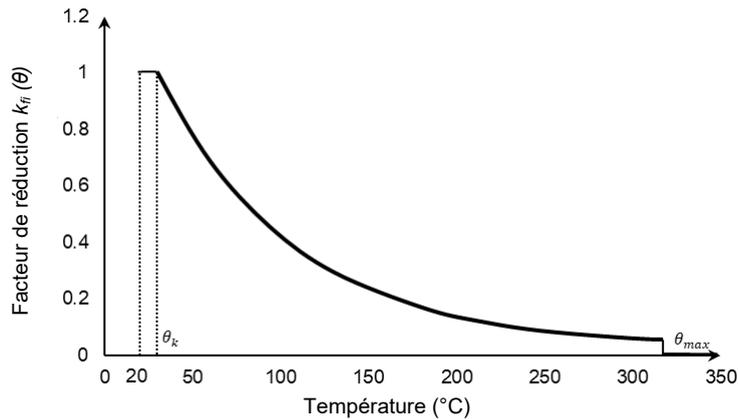


Figure 3-1. Exemple de graphique du facteur de réduction $k_{fi}(\theta)$ pour la classe de résistance de béton C20/25, d'après le DEE 330087-02 [1]

Des exigences supplémentaires sont introduites dans la version la plus récente du DEE 330087-02 [1] pour la série de test décrite ci-dessus. Elles prennent en compte le comportement particulier des mortiers à base de ciment. Pour de tels systèmes, une moindre sensibilité sous exposition au feu est attendue comparé aux systèmes à base de résine.

Par conséquent, la procédure de qualification envisage la possibilité particulière que la défaillance ne survienne pas aux températures d'incendie et sous certains chargements appliqués.

Les exigences relatives au protocole de test sont donc ajustées pour le cas où cette situation surviendrait ou si la défaillance n'était pas observée. Le niveau de chargement provoquant potentiellement un défaut est confirmé par trois répétitions au total et les tests avec un chargement moins élevé peuvent être omis.

Qui plus est, pour les mortiers montrant une réduction limitée de leur résistance avec l'augmentation de la température (par ex. mortiers à base de ciment), il convient de s'assurer que le comportement au feu évalué indiqué dans l'ETE est limité au comportement de l'armature coulée sous exposition au feu, tel qu'indiqué dans l'Eurocode 2 [4].

$$f_{bd,PIR,fi}(\theta) = f_{bd,PIR} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi}(\theta)$$

3.2 Calcul du comportement au feu d'une armature rapportée

La conception d'un scellement d'armature rapportée peut être effectuée conformément à l'Eurocode 2 [4], en se basant sur les caractéristiques de performance du mortier évalué d'après le DEE 330087-02 [1].

Cette méthode de conception permet à la fois une vérification en condition de chargement statique « à froid » et sous exposition au feu. Ce chapitre décrit la façon de réaliser un calcul de comportement au feu pour un scellement d'armature rapportée en situation d'incendie en appliquant les critères de l'Eurocode 2 [4] et conformément au résultat fourni par le logiciel Profis Engineering de Hilti (voir le chapitre 5).

Les dispositions actuelles et les caractéristiques essentielles du produit requises en tant qu'intrants pour la vérification d'un système de scellement sous exposition au feu sont incluses dans l'Évaluation Technique Européenne du mortier en question, dans le Document d'Évaluation Européen DEE 330087-02 [1] et dans l'Eurocode 2 (EN 1992-1-1[2] et EN 1992-1-2 [4]).

L'ETE du produit, en particulier, fournit les valeurs de contrainte d'adhérence par rapport à la température. Un exemple est fourni dans la Figure 3-2.

Caractéristiques essentielles sous exposition au feu

Valeurs de contrainte d'adhérence pour le dimensionnement $f_{bd,fi}$ pour une durée de vie de 50 ans et valeurs de contrainte d'adhérence pour le dimensionnement $f_{bd,fi,100y}$ pour une durée de vie de 100 ans sous exposition au feu pour les classes de béton C12/15 à C50/60 pour toutes les techniques de perçage.

Les valeurs de contrainte d'adhérence de dimensionnement $f_{bd,fi}$ et $f_{bd,fi,100y}$ sous exposition au feu doivent être calculées selon l'équation suivante :

$$f_{bd,fi} = k_{b,fi}(\theta) \cdot f_{bd,PIR} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{pour une durée de vie de 50 ans}$$

$$f_{bd,fi,100y} = k_{b,fi,100y}(\theta) \cdot f_{bd,PIR,100y} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{M,fi}} \quad \text{pour une durée de vie de 100 ans}$$

with

$$k_{b,fi}(\theta) = \frac{-0,0038 \cdot \theta + 8,6867}{f_{bd,PIR} \cdot 4,3} \leq 1,0 \quad \text{pour une durée de vie de 50 ans}$$

$$k_{b,fi,100y}(\theta) = \frac{-0,0038 \cdot \theta + 8,6867}{f_{bd,PIR,100y} \cdot 4,3} \leq 1,0 \quad \text{pour une durée de vie de 100 ans}$$

$$\theta = \theta_{max} \quad k_{b,fi}(\theta) = k_{b,fi,100y}(\theta) = 0,0$$

$$\theta_{max} = 504^\circ C$$

$f_{bd,fi}$ Valeur de dimensionnement de la contrainte d'adhérence en situation d'incendie en N/mm² pour une durée de vie de 50 ans.

$f_{bd,fi,100y}$ Valeur de dimensionnement de la contrainte d'adhérence en situation d'incendie en N/mm² pour une durée de vie de 100 ans.

(θ) Température en °C dans la couche de béton.

θ_{max} Température en °C à laquelle le mortier ne peut plus transférer de contraintes d'adhérence.

$k_{b,fi}(\theta)$ Facteur de réduction en situation d'incendie pour une durée de vie de 50 ans.

$k_{b,fi,100y}(\theta)$ Facteur de réduction en situation d'incendie pour une durée de vie de 100 ans.

$f_{bd,PIR}$ Valeur de dimensionnement de la contrainte d'adhérence en N/mm² à froid selon le Tableau C3 ou C6 considérant la classe de béton, le diamètre de la barre, la méthode de perçage et les conditions d'adhérence selon la norme EN 1992-1-1 pour une durée de vie de 50 ans.

$f_{bd,PIR,100y}$ Valeur de dimensionnement de la contrainte d'adhérence en N/mm² à froid selon le Tableau C3 ou C6 considérant la classe de béton, le diamètre de la barre, la méthode de perçage et les conditions d'adhérence selon la norme EN 1992-1-1 pour une durée de vie de 1000 ans.

γ_c Coefficient partiel de sécurité selon la norme EN 1992-1-1.

$\gamma_{M,fi}$ Coefficient partiel de sécurité selon la norme EN 1992-1-2.

Sous exposition au feu, la profondeur d'ancrage doit être calculée selon la norme EN 1992-1-1:2004+AC:2010 Équation 8.3, en utilisant la contrainte d'adhérence en fonction de la température $f_{bd,fi}$.

Figure 3-2. Exemple de caractéristiques essentielles sous exposition au feu extrait de l'ETE 21-0624 publié, en date du 17/06/2022.

Dans le DEE 330087-02 [1], il est indiqué que la profondeur d'ancrage doit être calculée selon l'équation (8.3), en utilisant la contrainte d'adhérence en fonction de la température. Cette valeur est calculée en considérant le facteur de réduction de la température limité par 1.0 et la température maximale θ_{max} , selon l'équation suivante.

$$f_{bd,PIR,fi}(\theta) = f_{bd,PIR} \cdot \frac{\gamma_c}{\gamma_{M,fi}} \cdot k_{fi}(\theta)$$

où

$f_{bd,PIR}$ = valeur de contrainte d'adhérence à froid

γ_c = coefficient partiel de sécurité selon la norme EN 1992-1-1 [2].

$\gamma_{M,fi}$ = coefficient partiel de sécurité selon la norme EN 1992-1-2 [4]

$k_{fi}(\theta)$ = facteur de réduction de la température évalué selon le DEE 330087-02 [1]

f_{bd} = Valeur de contrainte ultime d'adhérence pour les armatures coulées dans les diverses classes de béton selon la norme EN 1992-1-1 [2] et le DEE 330087-02 [1]

Selon la norme EN 1992-1-2 [4], pour les structures en béton armé sous exposition au feu définies par la norme ISO 834 [5], la température sur toute la profondeur d'ancrage d'une armature rapportée varie dans le temps et selon la distance de la surface de l'élément exposé, ce qui est lié à une configuration géométrique spécifique et aux côtés par lesquels se propage l'incendie.

Des profils de température sont ensuite identifiés pour divers cas d'application, comme indiqué dans la norme EN 1992-1-2 [4], annexe A, pour chaque exigence coupe-feu exprimée en termes de résistance au feu dans le temps (par ex. R30, R60, R90, R120).

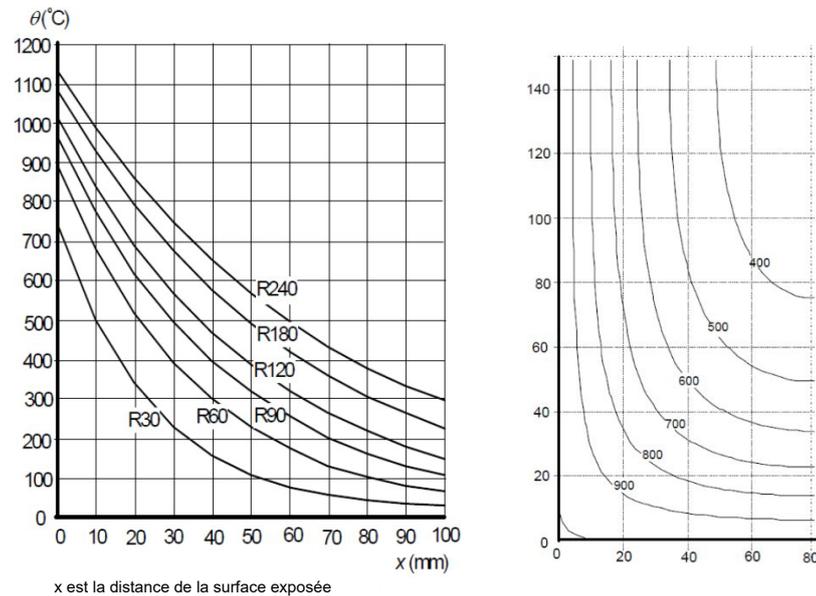


Figure 3-3. Exemple de profils de température pour des salles de hauteur $h = 200$ mm, extrait de la norme EN 1992-1-2, annexe A, figure A.2 (à gauche) [4]. Exemple de profils de température pour une poutre, $h \times b = 300 \times 160$ mm avec une résistance au feu requise R90, extrait de la norme EN 1992-1-2, annexe A, figure A.4 (à droite) [4].

Par conséquent, la bonne pratique et le modèle à suivre pour la détermination de la contrainte d'adhérence globale d'une armature à utiliser dans l'équation (8.3) de la norme EN 1992-1 [2] est d'appliquer la « méthode d'intégration de la résistance » introduite dans la littérature (Lahouar et al., 2018 [6]). Cette méthode requiert une subdivision de la profondeur d'ancrage globale en des segments plus courts, chacun ayant une température différente selon les profils de température susmentionnés et, par conséquent, une contribution différente de la contrainte d'adhérence associée à cette température. La résistance au feu caractéristique équivalente du scellement est considérée comme étant égale à la somme des valeurs de résistance calculées dans chaque segment.

Pour des raisons de représentation, la longueur du segment Δx doit être inférieure à $2 \cdot b$ et est généralement fixée à 10 mm environ. La température moyenne le long du segment est considérée pour calculer la contrainte d'adhérence sur cette longueur.

Par conséquent, en situation d'incendie, l'équation (8.3) de la norme EN 1992-1-1 [2] doit être modifiée de la façon suivante.

$$l_{b,rqd,fi} = (\Phi/4) (\sigma_{sd,fi} / f_{bd,PIR,fi})$$

Qui plus est, la longueur d'ancrage est calculée selon l'équation (8.4) de la norme EN 1992-1-1 [2] ci-après.

$$l_{bd,fi} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_4 \cdot \alpha_5 \cdot l_{b,rqd,fi} \geq l_{b,min}$$

Pour le calcul de la longueur de chevauchement, la section 8.7.3 de la norme EN 1992-1-1 [2] s'applique, et la valeur est calculée de la façon suivante.

$$l_{0,fi} = \alpha_1 \cdot \alpha_2 \cdot \alpha_3 \cdot \alpha_5 \cdot \alpha_6 \cdot l_{b,rqd,fi} \geq l_{0,min}$$

3.3 Comportement au feu du HIT-FP 700 R

Le nouveau système d'injection inorganique peut supporter les hautes températures, comme indiqué dans les classes de température à long terme (100 °C) et à court terme (160 °C) pour les applications standard telles que définies dans l'ETE-21/0624 (voir la Figure 3-4).

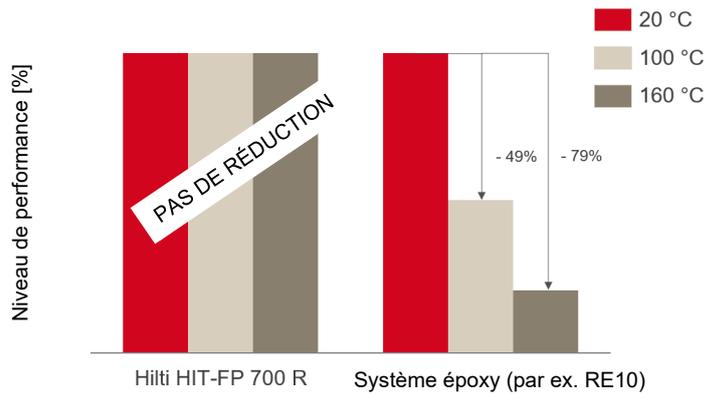


Figure 3-4. Niveau de performance à 100 °C et 160 °C

En situation d'incendie, la nouvelle résistance doit également tenir compte des matériaux utilisés pour l'ancrage. Cela inclut l'allongement et la dilatation de l'acier à haute température ainsi que la capacité du béton spécifique à la chaleur. La Figure 3-5 illustre une comparaison du HIT-FP 700 R de Hilti, des matériaux organiques et de la capacité en compression du béton sous exposition au feu.

Pour la classe de béton C20/25 et un diamètre de barre avec $f_{bd,PIR} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ à 504 °C, le HIT-FP 700 R conserve $2,3 \text{ N/mm}^2$ de contrainte d'adhérence $f_{bd,fi}$ sous exposition au feu (avec $\gamma_c = 1,5$ et $\gamma_{M,fi} = 1$)

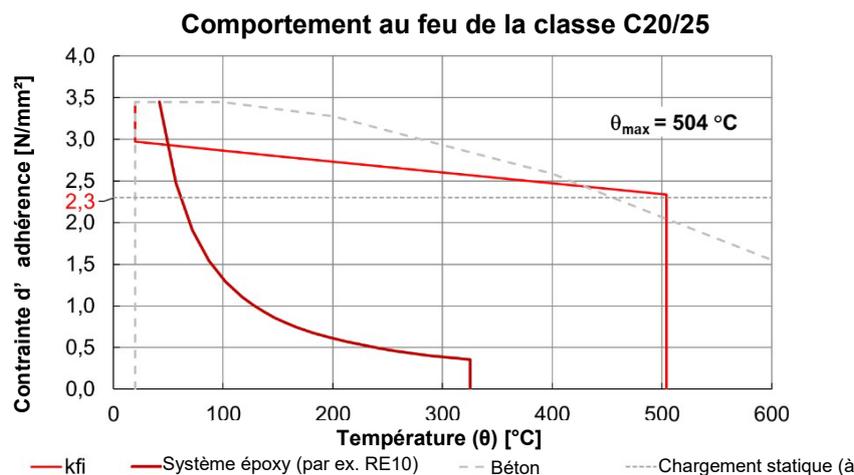


Figure 3-5. Graphique du facteur de réduction $k_{fi}(\theta)$ et contrainte d'adhérence en situation d'incendie du HIT-FP 700 R pour la classe de béton C20/25, comparé à un système époxy et au béton

3.4 Comparaison de performance pour le calcul du comportement à froid et au feu

Cette section compare les performances du nouveau mortier Hilti HIT-FP 700 R dans le calcul du comportement à froid et au feu pour les types de scellements décrits au chapitre 2.1, dans la Figure 2-9 et la Figure 2-10.

Dans les jonctions par recouvrement, telles que les scellements de dalle sur dalle (voir la première colonne de la Figure 3-6), le HIT-FP 700 R est déjà la solution idéale, avec la profondeur d'ancrage requise la plus courte en situation d'incendie, pour l'exigence R30.

Dans les scellements par intersection, tels que les scellements de dalle sur mur (voir la deuxième colonne de la Figure 3-6), la comparaison des mortiers montre une différence moindre. D'un autre côté, pour un scellement du type poutre sur poteau, pour lequel l'incendie se propage sur quatre côtés, le HIT-FP 700 R est également la solution idéale avec la profondeur d'ancrage la plus courte en situation d'incendie telle que R30 (voir la troisième colonne de la Figure 3-6).

C20/25 ; $\Phi 12@200$ mm c = 40 mm pour une barre avec un rendement de $f_{yd} = 435 \text{ N/mm}^2$ $f_{yd,fi} = 0,7 * 435 = 305 \text{ N/mm}$			
	* $f_{yd,fi}$ est considéré en appliquant un facteur de réduction $\eta_{fi} = 0,7$ (EN 1992-1-2 2.4.2 (2) [4]) ; pour une conception plus détaillée, consultez la norme EN 1992-1-2 [4]		
	DALLE SUR DALLE	DALLE SUR MUR	POUTRE SUR POTEAU
Durée de l'incendie	Plage de température	Plage de température	Plage de température
R30	$T \sim 150 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T1 \sim 100 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T2 \sim 20 \text{ } ^\circ\text{C}$	$T1 \sim 200 \text{ } ^\circ\text{C}$ $T2 \sim 230 \text{ } ^\circ\text{C}$
Hilti HIT-RE 500 V4 	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $f_{bd,pi,R30} = 0,85 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 1\ 075 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 290 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 1380 \text{ mm}$
Hilti HIT-HY 200-R V3 	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $f_{bd,pi,R30} = 1,22 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 750 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 270 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 1060 \text{ mm}$
Hilti HIT-FP 700 R 	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $f_{bd,pi,R30} = 2,83 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 323 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 320 \text{ mm}$	$f_{bd,pi} = 2,3 \text{ N/mm}^2$ $l_{bd,rqd,pi} = 567 \text{ mm}$ $l_{bd,rqd,pi,R30} = 330 \text{ mm}$

Figure 3-6 – Comparaison de comportement au feu

4. LES CARACTÉRISTIQUES DU HIT-FP 700 R

Le mortier HIT-FP 700 R n'est pas simplement un système injectable de plus : il s'agit d'une nouvelle technologie. Le HIT-FP 700 R est le seul mortier à base de ciment injectable pouvant être stocké pendant 12 mois déjà reconstitué sous forme de pâte et est également le seul mortier chimique fortement résistant au feu sans comportement de fluage à haute température.

La technologie HIT-FP 700 R ouvre un nouveau chapitre dans la qualification des mortiers chimiques injectables pour lequel le précédent DEE 330087-01 [1] a dû être mis à jour (voir le paragraphe 4.3).

Une autre caractéristique intéressante est sa force de distribution : comparé aux systèmes d'injection à base de résine couramment utilisés, le HIT-FP 700 R a de faibles forces de distribution à toutes les plages de température autorisées ce qui, tout comme son temps d'utilisation plus long, facilite son installation pour les ancrages profonds jusqu'à 2,5 m. (Voir la Figure 4-1, la Figure 4-2 et la Figure 4-3).

Installation du HIT-FP 700 R



Figure 4-1 : Pince d'injection électrique d'armature avec le HIT-FP



Figure 4-2 : Mise en place d'une barre 700 R d'armature



Figure 4-3 : Barre d'armature juste après sa mise en place avec le HIT-FP 700 R

4.1 Différences et similitudes entre le HIT-FP 700 R, les coulis de ciment et le mortier à base de résine

Le HIT-FP 700 R en tant que mortier à base de ciment inorganique possède des propriétés uniques en termes de résistance au feu qui sont supérieures à celles des mortiers à base de résine. En raison de ses caractéristiques inorganiques, le déplacement et le comportement du HIT-FP 700 R sont plus stables à haute température. Cependant, contrairement aux coulis de ciment inorganiques, il se caractérise par ses propriétés d'application plus sûres, plus flexibles et plus conviviales, qui se rapprochent des propriétés d'application des mortiers à base de résine. Le HIT-FP 700 R est appliqué en utilisant notre système d'injection bi-composant standard. Cette technologie élimine les limites du sens d'installation direction [7], typiques des coulis de ciment (uniquement vers le bas ou inclinée). L'utilisation automatique de proportions de mélange prédéfinies pendant l'injection réduit nettement le risque de proportions de mélange incorrectes ou donnant une mauvaise consistance, ce qui est essentiel pour la résistance et la durabilité du mortier [7], de telles erreurs pouvant survenir lorsque des coulis de ciment grand public sont utilisés sur le chantier. Une consistance lisse sur mesure permet d'éviter d'avoir à percer des trous de gros diamètre comparé à la taille de la barre d'armature, ce qui limite la quantité de mortier HIT-FP 700 R requise.

Le mortier d'ancrage qualifié pour les armatures rapportées suit généralement les directives suivantes :

- Déclaration de performance basée sur la norme EN 1504-6 [8]
- ETE (Évaluation Technique Européenne) basée sur l'ETE 330087-02 [1]
- Rapport d'évaluation ESR (« Evaluation Service Report ») basé sur la norme ICC-ES AC308 [9]

La norme EN 1504-6 [8] ne fournit pas une qualification aussi détaillée qu'avec les deux autres méthodes. La norme EN1504-6 est obsolète et ne tient pas compte de paramètres importants dans le processus de qualification des mortiers, avec un risque d'aboutir à des scellements conçus de façon imprudente [7]. Les armatures rapportées ayant une certification ETE ou ESR et conçues conformément à l'ACI 318 [10] ou à l'Eurocode 2 (EN 1992-1-1) [2] garantissent le même niveau de sécurité que les armatures coulées dans le béton. Par conséquent, la Déclaration de performance basée sur la norme EN1504- 6 [8] ne procure pas un niveau de sécurité adéquat pour la qualification des scellements d'armatures rapportées et elle n'est pas compatible avec les méthodes de conception recommandées par les codes du bâtiment [11].

Installation du HIT-FP 700 R par rapport aux coulis de ciment



Figure 4-4 : Installation du HIT-FP 700 R et des coulis de ciment génériques.

Qui plus est, comme pour les autres produits du portefeuille de mortiers injectables Hilti, le HIT-FP 700 R est proposé avec la technologie Hilti SafeSet, avec laquelle la poussière est automatiquement extraite pendant le perçage et le trou foré est nettoyé, conformément à l'ETE. Le mortier est injecté dans le trou avec une pince d'injection automatique avant l'insertion de l'élément dans le trou. Le système Hilti SafeSet est une combinaison de composants de système d'ancrage qui accroît grandement la solidité de l'armature et permet de réduire considérablement le risque d'erreurs des utilisateurs pendant l'insertion.



Figure 4-5 : Installation de la technologie SafeSet

4.2 Caractéristiques détaillées de l'installation du HIT-FP 700 R

Comme pour de nombreux produits à base de ciment, le HIT-FP 700 R a un temps de durcissement bien plus long (plusieurs jours), dépendant de la température d'installation, que les systèmes d'injection « standard » (quelques minutes), des fissures et des vides de petite taille pouvant être visibles dans le HIT-FP 700 R expulsé par le haut du trou. Ils sont dus à l'effet de retrait du béton. La présence de fissures et de vides de petite taille n'est pas critique et ils sont pris en compte dans l'évaluation finale de l'ETE.

Pour accélérer le flux de travail et réduire le temps d'attente, deux temps supplémentaires, t_{assembly} et $t_{\text{pre-loading}}$, entre le temps de mise en place et le temps de durcissement complet, ont été ajoutés dans les instructions d'utilisation (Tableau 1). Cela permet d'appliquer un chargement partiel avant que le chargement complet nominal puisse être appliqué.

Remarque | Le HIT-FP 700 R ne se comporte pas de la même manière que les mortiers à base de résine et il est nécessaire de retirer le film usagé de la cassette une fois l'installation terminée. Autrement, le mortier va durcir dans le sachet et il sera extrêmement difficile de le retirer de la cassette.

Tableau 1 : Tableau des instructions d'utilisation du HIT-FP 700 R – durcissement à différentes températures.

		Rebar					
\varnothing [°C]	\varnothing [°F]	t_{work}	t_{assembly}	$t_{\text{pre-loading}}$	75 %	t_{cure}	100 %
≥ 5 ... 10	≥ 41 ... 50	50 min	36 h	14 jours		50 jours	
> 10 ... 15	> 50 ... 59	40 min	30 h	7 jours		28 jours	
> 15 ... 20	> 59 ... 68	35 min	24 h	6 jours		18 jours	
> 20 ... 30	> 68 ... 85	20 min	12 h	2 jours		4 jours	
> 30 ... 40	> 85 ... 104	15 min	6 h	5 jours		10 jours	
40	104	12 min	3 h	3 jours		7 jours	
				2 days		4 days	

Concept du temps de durcissement du HIT-FP 700 R

- t_{work}** : décrit le temps d'utilisation, c'est-à-dire la période pendant laquelle le mortier n'est pas encore solidifié permettant à l'utilisateur d'insérer la barre d'armature. Le temps d'utilisation maximum est de 50 minutes à 5 °C, et le temps d'utilisation minimum est de 12 minutes à 40 °C. La longue durée du temps d'utilisation facilite la mise en place des barres d'armature pour les ancrages profonds. Une fois que la barre d'armature est insérée, elle ne doit plus être déplacée.
- t_{assembly}** : lorsque le temps t_{work} s'est écoulé, le temps t_{assembly} indique le temps d'attente minimum à respecter avant d'attacher les nouvelles barres d'armature aux barres déjà installées/mises en place ou de couler du nouveau béton.
- $t_{\text{pre-loading}}$** : il s'agit du temps d'attente minimum à respecter avant que 75 % du chargement final puisse être appliqué à la barre d'armature mise en place. Le temps $t_{\text{pre-loading}}$ est fourni en tant qu'indication supplémentaire. Cependant, l'ingénieur en charge du projet doit décider lui-même si rien ne s'oppose à ce que le préchargement soit effectué avant que le temps de durcissement complet soit écoulé.
- t_{cure}** : le temps de durcissement complet est écoulé et le chargement complet nominal peut être appliqué à la barre d'armature.

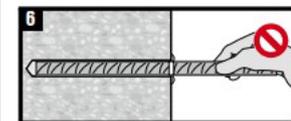
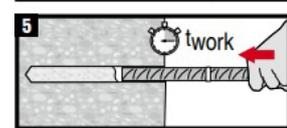


Figure 4-6 : Flux de travail pour le temps t_{work} d'après les instructions d'utilisation

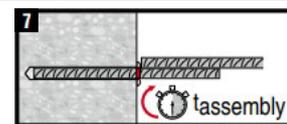


Figure 4-7 : Flux de travail pour le temps t_{assembly} d'après les instructions d'utilisation

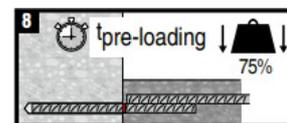


Figure 4-8 : Flux de travail pour le temps $t_{\text{pre-loading}}$ d'après les instructions d'utilisation

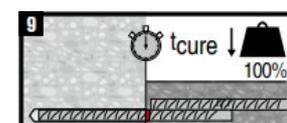


Figure 4-9 : Flux de travail pour le temps t_{cure} d'après les instructions d'utilisation

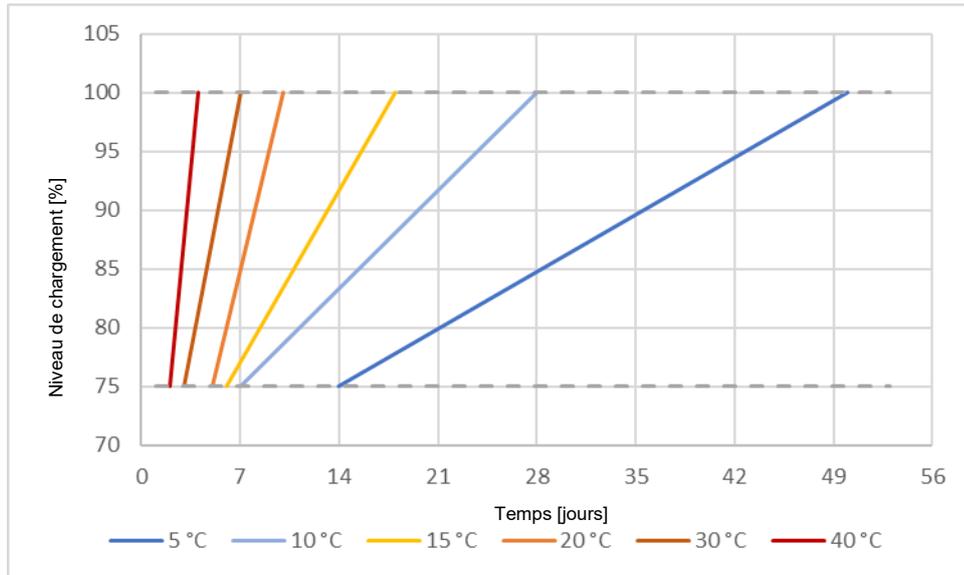


Figure 4-10 : Niveau de chargement en fonction du temps à différentes températures.

4.3 Amendement du DEE : un nouveau modèle pour la qualification des mortiers à base de ciment

La qualification des scellements d'armatures rapportées est réglementée par le Document d'Évaluation Européen DEE 330087 [12]. Ce document, dans ses précédentes versions, s'appliquait, à l'origine, à la fois aux mortiers à base de résine et aux mortiers à base de ciment. Cependant, la procédure de qualification donnée dans le DEE n'a pratiquement été utilisée que pour les produits à base de résine, qui fonctionnent au moyen de liants organiques. Par conséquent, les sensibilités chimiques de ces systèmes organiques ont été majoritairement prises en compte pour développer les protocoles de test et les critères d'évaluation du DEE.

Étant donné que la nouvelle technologie Hilti permet de recourir aux mortiers à base de ciment dans les scellements d'armatures pour un usage fréquent, plusieurs aspects des performances liées aux produits à base de ciment ont été étudiés. Les résultats de la recherche et de l'étude de synthèse ont abouti à la confirmation de la majorité des exigences préexistantes pour les deux types de mortier. En outre, certaines nouvelles exigences ont été introduites afin de tenir compte des caractéristiques spécifiques des liants inorganiques en termes de stabilité de la microstructure, notamment en ce qui concerne le degré de porosité et les effets à long terme, ainsi que la tendance au retrait.

Ces nouvelles exigences de qualification sont regroupées dans la dernière version du document, intitulée DEE 330087-02 [1]. Le nouveau document commence par établir une méthode pour distinguer les types de mortier en mortiers à base de résine et mortiers à base de ciment. Cette distinction n'a pas été clairement décrite dans les versions précédentes, malgré l'existence de quelques exigences spécifiques aux produits à base de ciment. La méthode consiste à réaliser une analyse de la composition du mortier basée sur la perte de masse en fonction de la température pour le produit évalué.

Qui plus est, deux nouveaux protocoles de test s'appliquent spécifiquement aux produits classés parmi les mortiers à base de ciment. Le premier aspect à évaluer est la sensibilité du système d'armature pour les installations dans le béton à faible humidité relative. Ce test vise à vérifier l'influence que les conditions liées aux climats extérieur et intérieur secs et à la maximisation des effets de retrait peuvent avoir sur la contrainte d'adhérence. L'aspiration potentielle de l'eau du béton voisin peut affecter l'hydratation du ciment en modifiant le rapport eau-ciment du mortier.

Le second aspect à évaluer est la stabilité à long terme de la microstructure du mortier. Cette caractéristique de performance est vérifiée au moyen d'une installation accélérée avec une exposition à une haute température et à un taux d'humidité élevé, c'est-à-dire à des conditions d'exposition aux intempéries. Cette vérification est requise pour évaluer la sensibilité d'un produit à base de ciment aux variations de porosité, aux conversions de phase et à la pression de disjonction liées aux phénomènes susmentionnés. Les nouvelles exigences garantissent que les caractéristiques de performance publiées dans le DEE, et notamment les valeurs de contrainte d'adhérence, conservent la même fiabilité que pour les résultats de l'évaluation requise pour les mortiers à base de résine.

Cette nouvelle procédure de qualification, qui comprend des critères spécifiques aux mortiers à base de ciment, est à présent la nouvelle référence en la matière.

5. LOGICIEL PROFIS ENGINEERING HILTI : UN MOYEN SIMPLE DE SÉLECTIONNER LE BON PRODUIT POUR LE CALCUL DU COMPORTEMENT AU FEU

Le logiciel PROFIS Engineering Hilti offre aux ingénieurs une solution rapide et sûre pour la conception des armatures rapportées sous exposition au feu. Le programme détermine les longueurs de jonction et d'ancrage final à haute température pour des combinaisons de chargement accidentel.

Qui plus est, la conception avec le PROFIS Engineering Hilti offre les avantages suivants :

- Flexibilité pour la modélisation des conditions d'incendie :
 - Détermination de la température le long des barres d'armature en saisissant l'exposition à la durée de l'incendie requise
 - Saisie d'une température constante le long des barres d'armature, calculée par les ingénieurs en dehors du logiciel PROFIS Engineering
- Calcul des profondeurs de perçage pour les armatures rapportées en situation d'incendie
- Production d'un rapport de conception clair et compréhensible contenant les résultats du calcul du comportement au feu pour la documentation de votre projet.

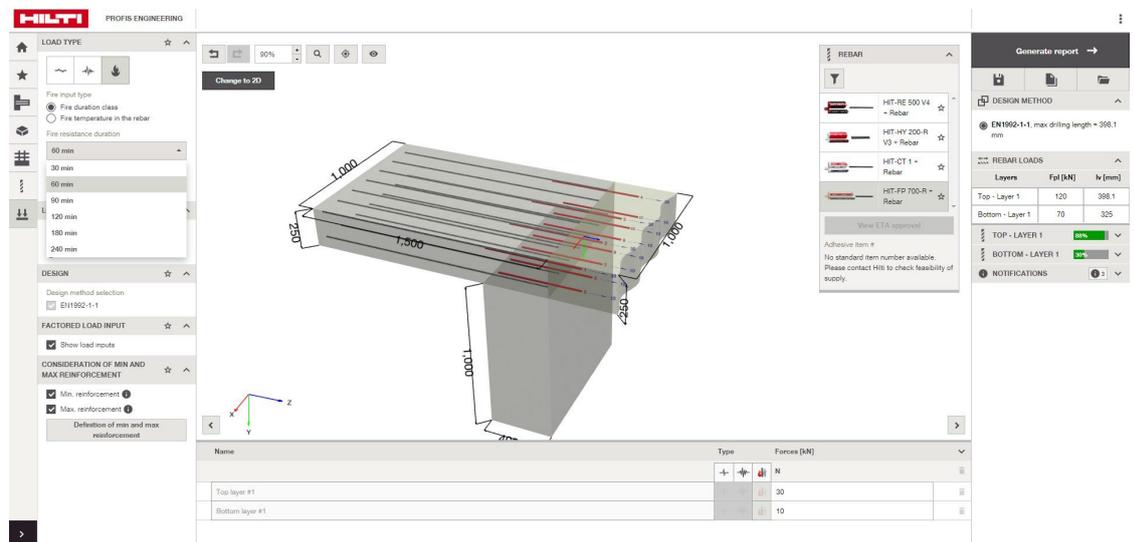


Figure 5-1 : PROFIS Engineering, conception d'armature rapportée

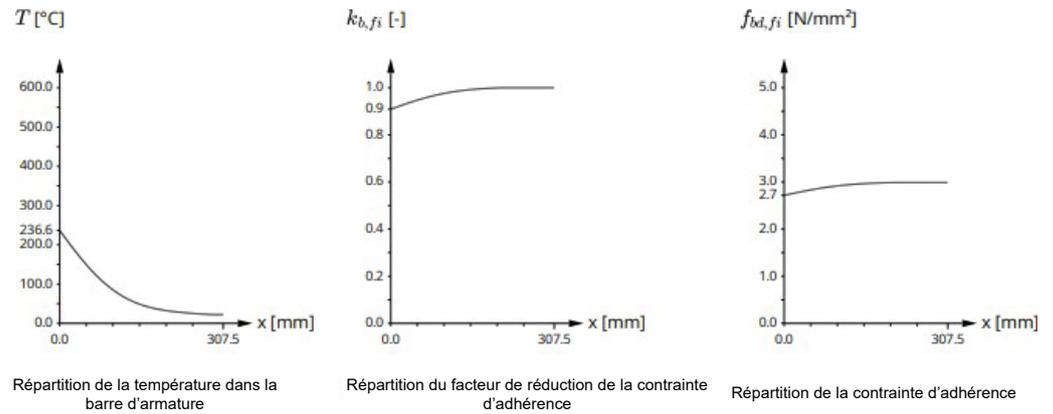


Figure 5-2 : Température, réduction de la contrainte d'adhérence et répartition de la contrainte d'adhérence le long de la profondeur d'ancrage



Entreprise :
 Adresse :
 Tél | Fax :
 Conception :
 Application de barre d'armature :

Page :
 Rédacteur du cahier des charges :
 e-mail :
 Date :

Commentaires du rédacteur du cahier des charges :

1. Données d'entrée

Généralités

Méthode de conception	EN 1992-1-1:2004 + AC:2010, EN 1992-1-2:2004 + AC:2008
Considérer l'effet de ΔF_{td}	oui
Vérification du cisaillement d'interface	non
Envisager une armature de compression pour le CSD	non
Type d'application	Extension de dalle, en appui
Type de chargement	60 min
Durée de résistance au feu	50 ans
Durée de vie nominale	



Produit

Mortier	HIT-FP-700-R
Référence d'article	Non disponible (adhésif)
Évaluation technique européenne	Données techniques Hilti
Publiée	-
Installation	Perçage à percussion ; condition d'installation : béton sec
Direction de perçage	Une aide au perçage est utilisée (ce qui améliore les angles de perçage)

Figure 5-3 : Rapport de conception (extrait)

6. RÉFÉRENCES

- [1] Document d'évaluation européen DEE 330087-02-0601 (en attente de citation dans le JOUE) Systèmes pour scellements de barres d'armature rapportées avec mortier, EOTA (Organisation européenne pour l'évaluation technique).
- [2] EN 1992-1-1:2004: Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-1 : règles générales et règles pour les bâtiments.
- [3] Document d'évaluation européen DEE 332402--00-0601 (en attente de citation dans le JOUE) Connexion par scellement d'armatures rapportées (Rebar), résistance améliorée à la rupture par fendage, EOTA (Organisation européenne pour l'évaluation technique).
- [4] EN 1992-1-2:2004: Eurocode 2 : Calcul des structures en béton - Partie 1-2 : règles générales - Calcul du comportement au feu.
- [5] ISO 834-1:1999: Essai de résistance au feu — Éléments de construction - Partie 1 : Exigences générales.
- [6] Mohamed Amine Lahouar, Nicolas Pinoteau, Jean-François Caron, Gilles Foret, Philippe Rivillon, « Fire design of post-installed bonded rebars: Full-scale validation test on a 2.94x2x0.15m³ concrete slab subjected to ISO 834-1 fire », *Engineering Structures*, vol. 174, pp. 81-94, 2018.
- [7] Werner Fuchs, Jan Hofmann, « Post-installed reinforcing bars – Requirements for their reliable use », *Developments in the Built Environment*, vol. 5, 2021.
- [8] EN 1504-6:2006 Produits et systèmes pour la protection et la réparation des structures en béton - Définitions, exigences, maîtrise de la qualité et évaluation de la conformité - Partie 6 : ancrage de barres d'acier d'armature.
- [9] ICC-ES AC308 : Acceptance Criteria for Post-installed Adhesive Anchors in Concrete Elements (Critères d'acceptation pour les ancrages chimiques d'armatures rapportées dans les éléments en béton).
- [10] ACI 318 : Building code Requirements for structural concrete and commentary, America Concrete Institute (Exigences du code du bâtiment pour le béton structural et commentaire, America Concrete Institute).
- [11] Sara Cattaneo, Andrea Locatelli, Davide Rago, « Reliability of bonded anchors with different installation techniques: experimental assessment » *Asian Journal of Civil Engineering*, 2019.
- [12] Document d'évaluation européen DEE 330087-01-0601 (2020) Systèmes pour scellements de barres d'armature rapportées avec mortier, EOTA (Organisation européenne pour l'évaluation technique), décembre 2020.



Hilti France
126 rue Gallieni
92 100 Boulogne-Billancourt
Tel 0825 01 05 05 (0,15 €/min)

<https://www.facebook.com/HiltiFr>
r www.hilti.fr