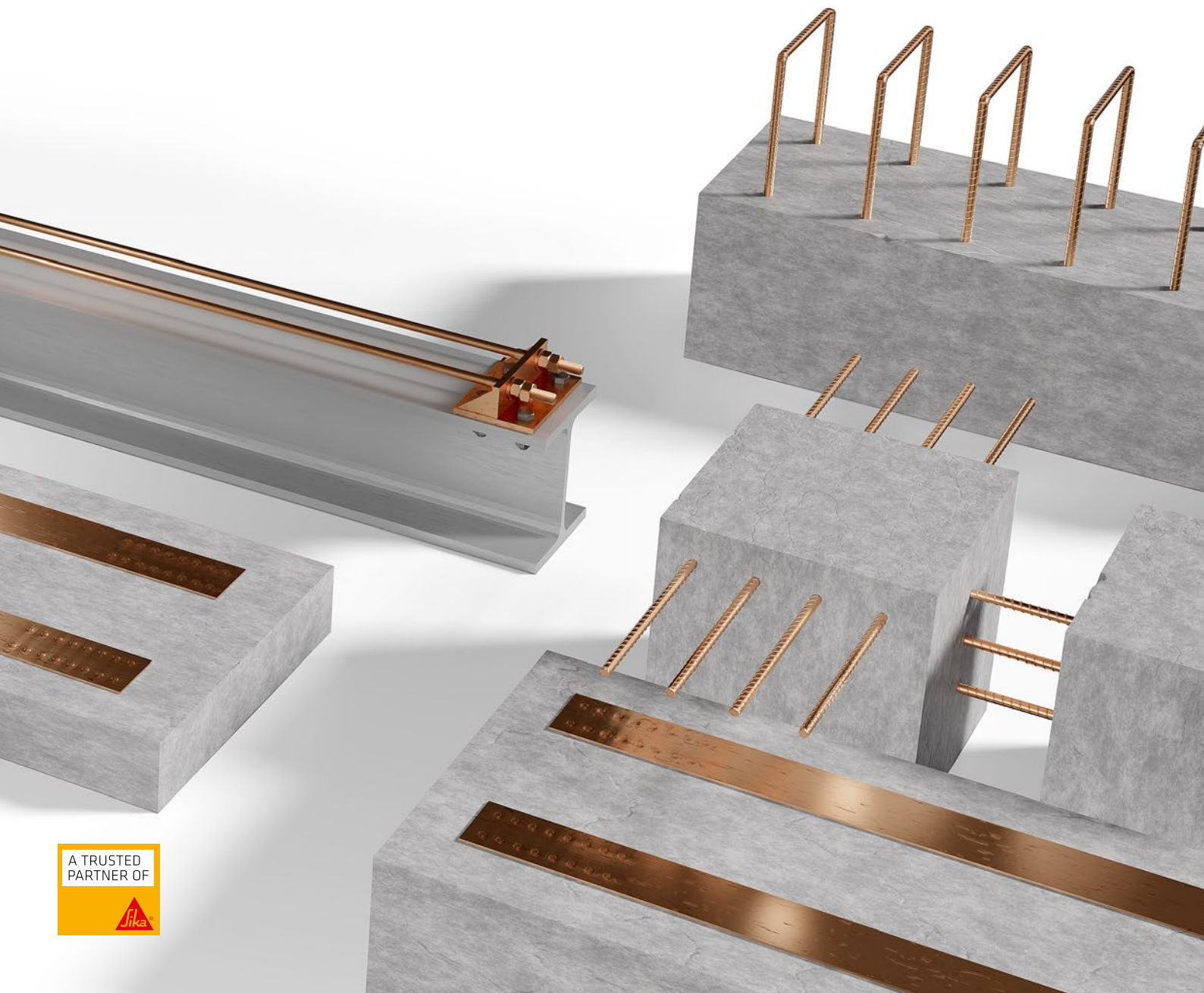


# memory<sup>®</sup>-steel Procédé de précontrainte

pour le renforcement ultérieur et les  
constructions neuves

«chargement statique et dynamique»



## Notre vision

Nous mettons toute notre énergie pour devenir le leader mondial avec les procédés de précontrainte memory<sup>®</sup>-steel. Grâce à notre proximité avec les clients et à notre expérience, nous combinons la recherche et le développement avec la pratique de la construction. L'acier memory<sup>®</sup>-steel est 100% recyclable et répond à des exigences élevées en matière de durabilité. Grâce à un développement continu et à des brevets, nous assurons la compétitivité à long terme de re-fer.

## Notre mission

Nous créons une valeur ajoutée pour nos clients en augmentant la durée de vie et en renforçant les structures existantes. Les réhabilitations et les modifications de structures protègent l'environnement par rapport aux constructions neuves. Grâce à une précontrainte locale dans une nouvelle dalle en béton, l'ingénieur peut renoncer à une poutre en béton. Nous proposons aux constructeurs des solutions pour la construction d'éléments filigranes en béton.



Fonte de l'acier memory<sup>®</sup>-steel

# Table des matières

<b>Procédé de précontrainte innovant memory<sup>®</sup>-steel</b>	<b>2</b>
<b>Alliage à mémoire de forme à base de fer</b>	<b>3</b>
<b>Procédé re-plate pour les ouvrages en béton</b>	<b>4</b>
<b>Procédé re-bar pour les ouvrages en béton</b>	<b>14</b>
<b>Procédé re-bar R18 pour les constructions métalliques</b>	<b>32</b>
<b>Contrôle qualité</b>	<b>37</b>
<b>Aperçu des produits</b>	<b>38</b>
<b>Aide au dimensionnement pour memory<sup>®</sup>-steel</b>	<b>39</b>
Introduction	40
Base théorique du dimensionnement	40
re-plate	40
re-bar	42
Remarques	43
Exemples de dimensionnement	44
Renforcement simple de la flexion avec re-plate	44
Renforcement d'une poutre en T avec re-bar	49
<b>Notre recherche au niveau mondial</b>	<b>55</b>
<b>Téléchargements &amp; brevets</b>	<b>56</b>

Cliquez sur les numéros de page pour revenir à la table des matières.

# Procédé de précontrainte innovant avec memory®-steel

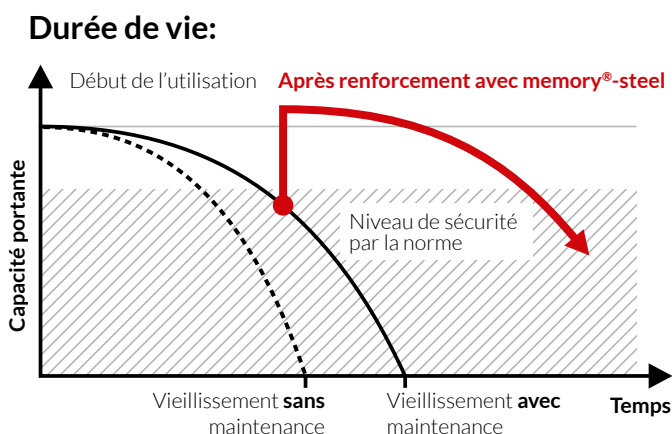
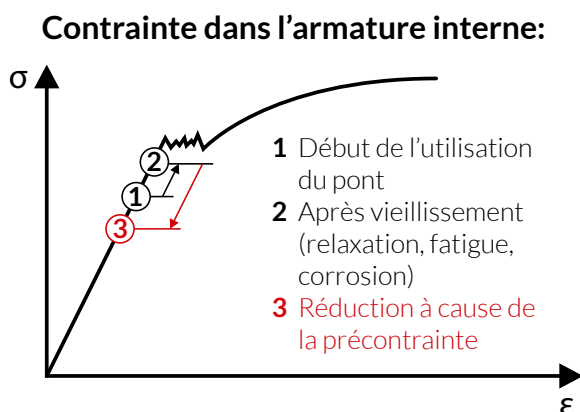
## Renforcements traditionnels

De nos jours, des armatures collées ou des lamelles en PRFC sont souvent utilisées pour le renforcement de la résistance en flexion. La transmission des forces des armatures adhésives dans le support en béton est souvent insuffisante. La principale raison en est que la transmission des forces de la colle est introduite dans l'élément de construction par le biais de l'enrobage en béton. Dans l'enrobage, il y a des fissures de flexion et de traction. En outre, lors des applications à l'extérieur, l'enrobage est fortement sollicité par des facteurs environnementaux tels que le gel, les sels de déverglaçage, la carbonatation, etc. avant d'être réparée. Des études 1) montrent que les ancrages adhésifs peuvent se rompre prématurément sous l'effet du gel, du sel de déverglaçage ou de l'humidité. Les lamelles en PRFC sont approuvées par les autorités de construction pour des éléments de construction soumis à des charges statiques et seulement dans des cas exceptionnels pour charges non statiques.

## Innovation: Renforcement robuste avec memory®-steel

Lors de renforcements avec memory®-steel «re-plate» la force d'adhérence est introduite dans le noyau du béton par un ancrage d'extrémité mécanique. Cette mesure de renforcement très facile à installer peut être appliquée sur la base en béton sans grande préparation et être précontrainte en quelques minutes.

La combinaison de la barre nervurée «re-bar» avec le mortier de remplacement du béton Sika offre une méthode de renforcement pour les structures soumises à des charges permanentes statiques et dynamiques. La force est transférée dans le noyau sain du béton par l'intermédiaire de la nouvelle couche de mortier, qui remplace la couche de béton défectueuse. Les fissures existantes dans la base porteuse sont considérablement réduites par la précontrainte du memory®-steel. Grâce à la ductilité élevée de >20%, la rupture du béton dans la zone de compression est décisive dans le cas de la flexion. Grâce au renforcement, des redistributions de force sont possibles. memory®-steel est prédestiné à un renforcement sismique.



**Après le renforcement, la sollicitation sous charge permanente dynamique et la relaxation de l'armature interne se produisent à un niveau de contrainte plus faible.**

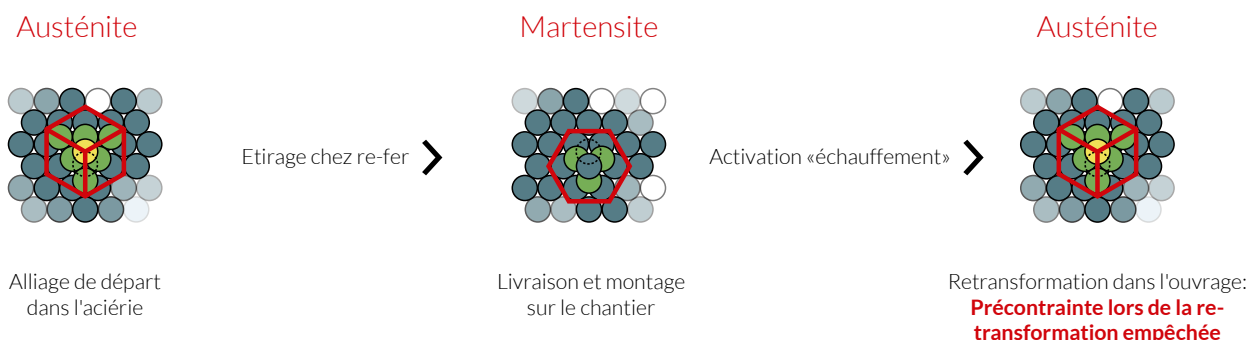
**Les mortiers projetés et de reprofilage Sika protègent l'armature interne et re-bar à long terme contre la corrosion.**

# Alliage à mémoire de forme à base de fer

Les alliages à mémoire de forme «shape memory alloy, SMA» se déforment pour retrouver leur forme initiale après une pré-dilatation due à l'apport de chaleur. memory<sup>®</sup>-steel se souvient de sa forme initiale à la suite d'une transformation du réseau cristallin «martensite à austénite».

**memory<sup>®</sup>-steel est à base de fer et convient pour des applications dans la construction.**

## Structure atomique



**Précontrainte uniforme sans perte de friction.**

**L'armature interne existante est soulagée grâce à la précontrainte, ce qui prolonge la durée de vie de la structure.**

## Trois procédés sont proposés avec memory<sup>®</sup>-steel

### Procédé re-plate pour les ouvrages en béton

Bande en acier ancrée mécaniquement dans le béton

Bande de précontrainte externe sans adhérence

pour les éléments de construction soumis à des charges statiques

### Procédé re-bar pour les ouvrages en béton

Barre nervurée avec haute adhérence pour insertion dans le mortier ou le béton

Renforcement interne en système combiné

pour les éléments de construction soumis à des charges statiques et dynamiques

### Procédé re-bar R18 pour les constructions métalliques

Acier rond fixé à la poutre en acier par un ancrage d'extrémité

Tige de traction externe sans adhérence

# Procédé re-plate pour les ouvrages en béton

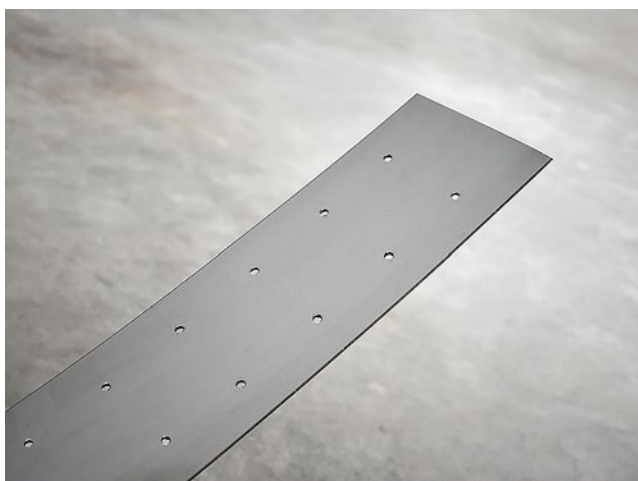
«pour les éléments de construction soumis à des charges statiques»

La bande re-plate «bande en memory®-steel» est utilisée pour la réhabilitation d'ouvrages «pour les éléments de construction soumis à des charges statiques, et exceptionnellement non statiques». Ancrée aux deux extrémités, la re-plate agit comme une bande de précontrainte externe non-adhérente. La re-plate est livrée précontrainte et perforée en usine. L'ancrage d'extrémité mécanique se fait avec une fixation directe Hilti. Pour l'activation de la «précontrainte», la bande est chauffée à l'aide d'un brûleur à gaz ou d'un chauffage à infrarouge.

Produit	Section transversale	Résistance maximale à la traction*	Force de traction maximale*	Allongement à la rupture
re-plate 120/1.5 mm	180 mm <sup>2</sup>	460 N/mm <sup>2</sup>	<b>83.1 kN</b>	25 %

\* Valeur de dimensionnement actuelle pour 12 clous avec une résistance à la compression (cube) > 20 N/mm<sup>2</sup> (avec facteur de résistance 1.3)

Produit	Température de chauffage	Précontrainte	Force de précontrainte	Relaxation
re-plate - Solution standard	Gaz 300 - 350°C	380 N/mm <sup>2</sup>	<b>68.4 kN</b>	15 % t <sub>0</sub>
Couche de corrosion ou risque d'incendie	Infrarouge 165°C	300 N/mm <sup>2</sup>	<b>54.0 kN</b>	15 % t <sub>0</sub>



Bande d'acier comparable avec un matériau 1.4003 selon DIN EN 10088 (résistance à la corrosion classe I)



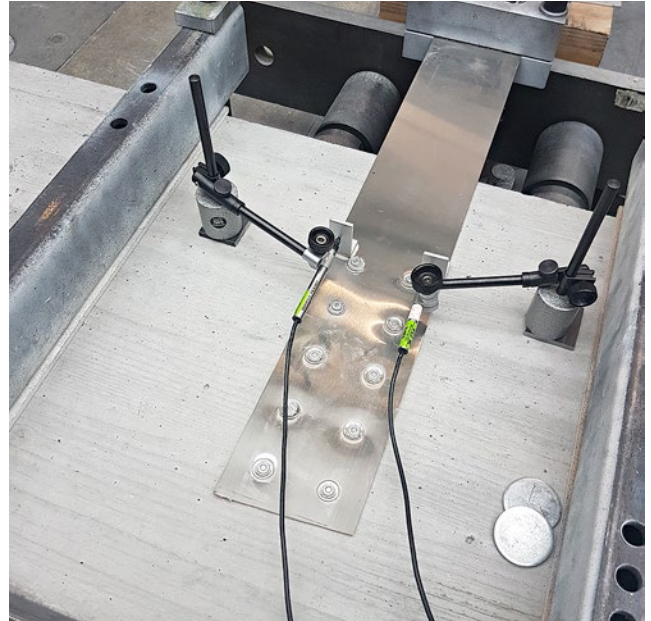
## Tests de base avec re-plate

### Ancrage mécanique

L'ancrage mécanique avec fixation directe Hilti en combinaison avec la re-plate a été testé par des essais d'arrachement.

L'ancrage n'est pas déterminant pour le dimensionnement pour autant que le béton présente une résistance à la compression sur cube de  $>20 \text{ N/mm}^2$ . Pour les qualités de béton inférieures, la résistance de l'ancrage doit être convenue avec l'ingénieur de re-fer.

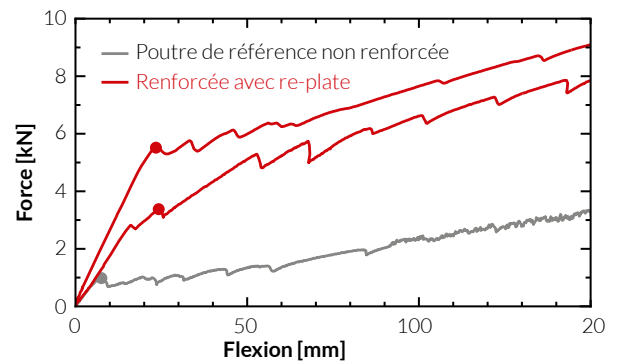
**Rupture de la section réduite au niveau de la première rangée de trous de re-plate ou par cisaillement des fixations directes.**



### Comportement structurel



Le comportement structurel du renforcement a été testé sur des dalles de dimensions  $l = 4 \text{ m}$ ,  $h = 150 \text{ mm}$  et  $b = 500 \text{ mm}$ . Une dalle de référence a été comparée à deux dalles renforcées.



**Pour l'aptitude au service, la charge de fissuration s'est avérée être 3 à 5 fois plus élevée.**

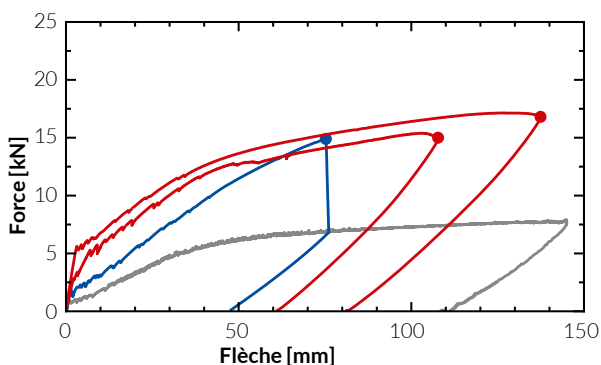
## Essai à grande échelle: Comparaison entre re-plate et lamelles en PRFC

Les essais en flexion de l'Empa montrent que re-plate et les lamelles en PRFC présentent une rigidité axiale EA comparable. Les dalles en béton renforcées (hauteur 150 mm, largeur 500 mm, portée 4 m) ont également été comparées à une poutre de référence non renforcée et ont montré des charges de rupture significativement plus élevées. Pour les renforcements re-plate, la défaillance due à l'écrasement du béton dans la zone de compression a été obtenue à des charges élevées. Le renforcement en PRFC s'est rompu prématurément en raison de la faible déformation de rupture. Grâce à la précontrainte par le procédé re-plate ductile, une charge de fissuration nettement plus élevée a été obtenue.



Dalle en béton, Essai à l'Empa Suisse

**Augmentation de 70 à 170 % de la charge de fissuration par rapport aux lamelles en PRFC**



	re-plate	Lamelles en PRFC
Rigidité axiale EA [kN]	$\sim 10 \cdot 10^3$	$\sim 11 \cdot 10^3$
Charge de fissuration [kN]	3.4 - 5.4	2.0

- Poutre de référence non renforcée
- Écrasement du béton en compression
- Éclatement (rupture en cisaillement) des lamelles



## Souvent utile: Combinaison re-plate et Sika®CarboDur®.

### re-plate

- Contre des flèches et des fissures dans le plafond et dans un élément de paroi sous-jacent
- Pour soulager l'armature interne existante
- Pour couvrir la charge de service et la charge incendie  
«Exemple Fig. 3: La charge de service/charge incendie est couverte par re-plate - l'enduit de protection contre le feu n'est nécessaire que pour re-plate»



Film renforcement après incendie:  
[www.re-fer.eu/fire](http://www.re-fer.eu/fire)

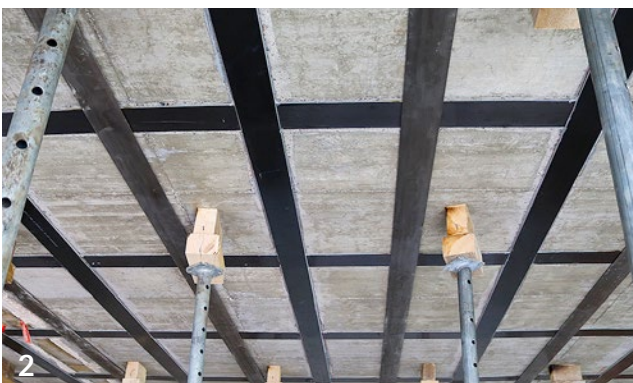
### Lamelles Sika®CarboDur® en PRFC

- Pour couvrir la différence restante pour l'état limite ultime

Après un incendie, la charge de service et la charge d'incendie est reprise par les bandes re-plate. Sika®CarboDur est utilisé pour la charge restante à l'ELU. Le renforcement est protégé par l'enduit projeté anti-feu SikaCem® Pyrocoat (voir p. 12).



1 Renforcement type du moment de flexion positif avec re-plate



2 Combinaison de re-plate avec lamelles en PRFC



3 Protection ignifuge pour re-plate en combinaison avec les lamelles en PRFC

Le re-plate et les lamelles en PRFC portent dans la même direction de traction, les lamelles en PRFC passives sont toujours appliquées après la précontrainte. Si re-plate est appliqué dans le sens longitudinal sur des lamelles en PRFC déjà installées (dans le sens transversal), une feuille d'aluminium doit être insérée comme couche intermédiaire aux points d'intersection entre re-plate et le PRFC. Ceci empêche la liaison adhésive entre re-plate et les lamelles en PRFC.

## Application de re-plate

Renforcement de la résistance en flexion «Augmentation de la charge de service et de la charge maximale»



### Préparation de la construction

- 1 Enlever tous revêtements et ou isolation dans la zone de renforcement
- 2 Fixer re-plate provisoirement avec des étais en T



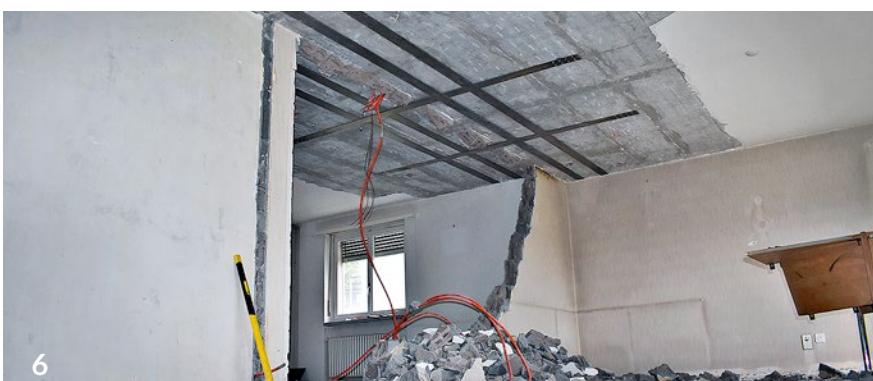
### Ancrage d'extrémité des deux côtés

- 3 Pré-percer le support à travers re-plate pré-percé
- 4 Ancrage mécanique d'extrémité avec appareil de pose declous Hilti et des clous inoxydables testé par le système (X-CR 48 P8 S15)



### Activation de la précontrainte

- 5A/B Chauffage par étapes avec chalumeau à gaz ou radiateur infrarouge re-IR 3000 / contrôle de la température avec thermomètre



### Achèvement

- 6 re-plate montre son effet porteur immédiatement après l'activation et le refroidissement (dans l'image : retrait du mur porteur)

## Utilisations de re-plate

### Suppression de supports ou d'appuis existants

La précontrainte re-plate modifie le système statique d'une dalle. Les poteaux ou supports existants peuvent être retirés. Dans le domaine de la construction résidentielle ou industrielle, ceci offre de nouvelles possibilités de répartition des pièces.

### Renforcement du moment positif en travée

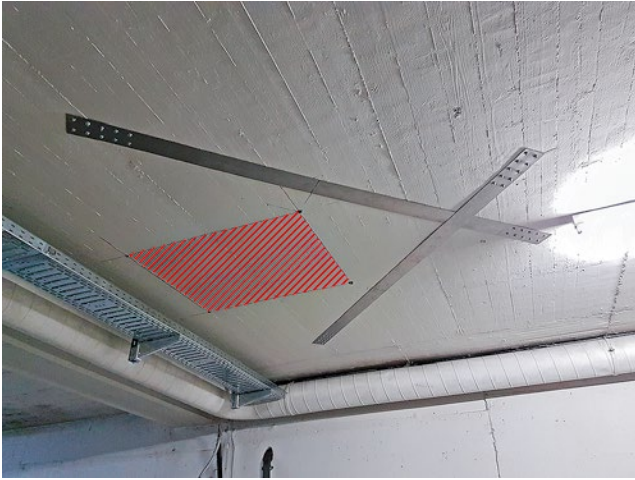


La portée dans la direction de traction principale est prolongée par la suppression d'un joint de dilatation et la suppression du support sous-jacent. Le moment de flexion positif plus élevé ainsi que la suppression du joint sont couverts par re-plate.

### Renforcement du moment négatif sur appui

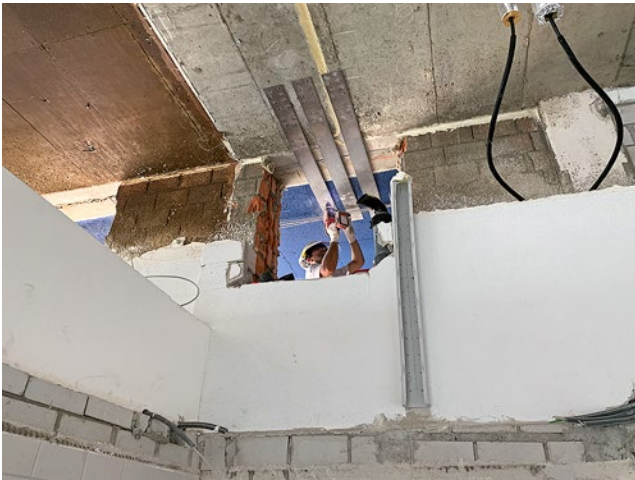


Sur la partie supérieure du balcon située au-dessus d'un appui extérieur existant, le moment négatif est renforcé afin de pouvoir supprimer un appui extérieur situé en dessous.



## Renforcement local près d'une trémie

L'armature insuffisante à la suite d'un évidement (trémie) dans la dalle est compensée avec re-plate. Les forces de précontrainte sont déviées dans la dalle existante. re-plate est appliquée directement sur le béton et est mise en œuvre et précontrainte en quelques minutes. Le renforcement a lieu avant l'excavation de la dalle.



## Suppression des joints de dilatation

Grâce à des bandes re-plate courtes, les joints de dilatation et de transition peuvent être comprimés afin de relier les éléments de construction les uns aux autres de manière durable. L'application est intéressante pour la mise à niveau sismique dans la construction de bâtiments. Des applications dans la construction de ponts sont également intéressantes.



## Renforcement local d'une poutre de pont

Une poutre de pont a été localement endommagée par le trafic routier. Les câbles de précontrainte internes ont été touchés et partiellement détruits. Le renforcement avec re-plate a été effectué dans les deux heures. Le flux de circulation a été dévié vers la deuxième voie pendant un court laps de temps. Cela est possible avec le système re-plate car il peut être appliqué de façon efficace et très rapide. L'épandage de sel sur l'autoroute en hiver pour empêcher la formation de glace entraîne une augmentation de la charge en chlorures. Pour cette raison, une protection contre la corrosion a été appliquée sur re-plate. L'activation a été réalisée avec le chauffage infrarouge. La température de chauffage a été limitée à 165°C.

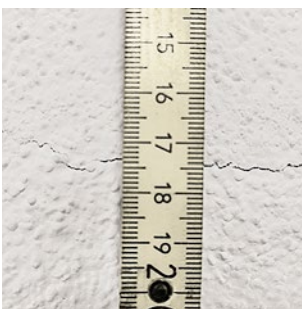


## Renforcement contre le poinçonnement

Avec l'application de re-plate sur le dessus de la dalle, le moment de flexion négatif peut être renforcé ou précontraint contre le poinçonnement. En raison de l'irrégularité de la surface du béton, des zones ouvertes peuvent apparaître sous re-plate. Celle-ci sont remplies latéralement avec du mortier de reprofilage pour éviter la vibration des bandes. Ensuite, re-plate est recouverte d'un mortier de reprofilage ou d'un revêtement. La structure de sol souhaitée est ensuite appliquée sur la mesure de renforcement.

## Réduire les flèches et refermer les fissures

Après des travaux de transformation et une augmentation des charges, il est apparu que la dalle de béton existante était sous-renforcée. La flèche inacceptable qui en résulte (bleu) a entraîné des fissures dans la maçonnerie enduite sous-jacente (rouge). Huit bandes de renforcement re-plate ont été appliquées et activées pour augmenter la charge d'utilisation et la charge ultime. Les fissures visibles dans la maçonnerie enduite ont ainsi pu être refermées.



Fissure visible avant le renforcement



Après le renforcement, la fissure est fermée



Film sur l'activation de re-plate:  
[www.re-fer.eu/mov01](http://www.re-fer.eu/mov01)

## Protection ignifuge pour re-plate

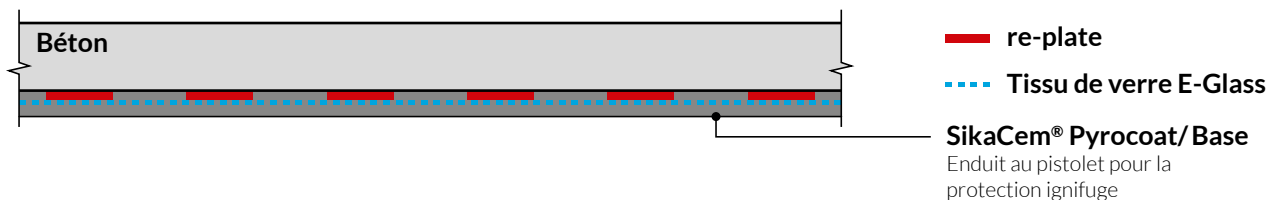
### Comportement au feu de re-plate

re-plate présente un comportement au feu similaire à celui de l'acier conventionnel et perd une partie importante de sa résistance à environ 400°C, respectivement réduit sa précontrainte à zéro à environ 350°C. Il en va de même pour l'ancrage avec les fixations directes Hilti ; des essais de comportement au feu distincts sont disponibles auprès du fabricant pour ces dernières. La protection contre le feu des mesures de renforcement est toujours requise si la charge d'incendie standard et spécifique au pays ne peut être couverte sans renforcement. L'aide au dimensionnement (p. 39) présente un exemple comparatif.



### Mesure de protection contre l'incendie

Des essais au feu avec une dalle en béton armé d'une largeur de 3 m et d'une épaisseur de 140-150 mm avec une portée de 4 m sont réalisés à l'MFPA de Leipzig. Cette dalle standard est renforcée ultérieurement avec re-plate et ensuite entièrement revêtue de SikaCem® Pyrocoat. Pendant l'essai au feu, on mesure la température au niveau de re-plate ainsi que de l'armature intérieure. Cela constitue la base des concepts de dimensionnement pour les mesures de protection contre l'incendie.



#### SikaCem® Pyrocoat «Enduit projeté – protection contre le feu»

Appliqué à la machine

Épaisseur de la couche 25 mm **R120**

Résultats en attente. Les va- **R90**

leurs actuelles peuvent êtres **R60**

consultées sur notre site web. **R30**

Le système de protection a été testée à la MFPA Leipzig, Allemagne. Les rapports d'essai peuvent être consultés dans notre rubrique «téléchargements» sur notre site web ou demandés auprès de re-fer.

Pour les applications extérieures ou la construction de tunnels, d'autres mortiers testés de la gamme Sika MonoTop® sont disponibles. Les mesures de protection contre l'incendie, resp. les épaisseurs de couche indiquées sont des valeurs indicatives et doivent être adaptées aux réglementations officielles locales et aux normes en vigueur.

## Protection anticorrosion de re-plate

### Comportement à la corrosion de memory®-steel

L'alliage de memory®-steel contient environ 10% de chrome en masse et est comparable à un matériau 1.4003 selon la norme DIN EN 10088 (classe de résistance à la corrosion I). Un risque connu pour les aciers de précontrainte est la fissuration par corrosion sous contrainte. Dans l'essai 'fib' adapté pour la fissuration par corrosion sous contrainte, memory®-steel atteint une durée de vie de plus de 250 heures. Dans le cas d'objets fortement exposés à une concentration élevée en chlorures - par exemple dans les piscines couvertes ou dans la zone d'éclaboussures des routes - une protection supplémentaire contre la corrosion doit être appliquée. Le produit SikaCor® EG-1 convient pour les bandes de renforcement re-plate appliquées à l'extérieur.

Remarque: La barre d'armature est placée dans une matrice cimentaire, qui sert de dépôt alcalin pour l'armature interne et de couche de protection contre la pénétration des ions de chlorure.

**Une protection anticorrosion est recommandée pour les éléments de construction exposés aux chlorures.**



re-plate pré-percé



Sablage au corindon en usine



Protection anticorrosion avec SikaCor® EG-1 en usine

### Application de la protection anticorrosion de memory®-steel

La surface de re-plate est légèrement rendue rugueuse par sablage au corindon, puis revêtue avec SikaCor® EG-1. Tout dommage causé au revêtement par le transport est réparé sur place avec SikaCor® EG-1. Étant donné ce revêtement protecteur «résistance thermique à court terme d'environ 180°C», la température de chauffage du processus de précontrainte est limitée à 165°C. En conséquence, une force de précontrainte maximale de 54 kN/re-plate s'applique. Après l'application et l'activation, re-plate est en outre jointoyée des deux côtés avec Sikaflex® PRO-3 pour empêcher la pénétration de l'eau entre la base en béton et la bande de renforcement.

#### **SikaCor® EG-1 «Revêtement»\***

appliqué en atelier

Des revêtements à base de résine époxy sont appliqués sur les deux côtés de re-plate en atelier avant la livraison. Après l'activation de re-plate, jointoyer avec Sikaflex® PRO-3.

\*Attention: Température de chauffage réduite à 165°C «Force de précontrainte de 54 kN/re-plate»

# Procédé re-bar pour les ouvrages en béton

«pour les éléments de construction soumis à des charges statiques et dynamiques»

## Renforcement ultérieur d'ouvrages

L'acier nervuré de Ø10 ou Ø16 mm est ancré à l'extrémité dans le mortier de réparation Sika et activé par le brûleur à gaz. Après le durcissement de l'ancrage d'extrémité, la zone intermédiaire est remplie de mortier. Les profilés re-bar font office de précontrainte interne dans la liaison. Les e-bar 10 en étrier U sont placés dans le mortier de réparation Sika et activés par courant électrique.

Produit	Section transversale	Résistance maximale à la traction*	Force de traction maximale*	Allongement à la rupture
re-bar 10	89.9 mm <sup>2</sup>	520 N/mm <sup>2</sup>	<b>46.7 kN</b>	30%
re-bar 16	211.2 mm <sup>2</sup>	520 N/mm <sup>2</sup>	<b>109.8 kN</b>	30%

\*Valeur de dimensionnement avec facteur de sécurité

Produit	Température de chauffage	Précontrainte	Force de précontrainte	Relaxation
re-bar 10 – barre	Gaz 300 – 350°C	400 N/mm <sup>2</sup>	<b>36.0 kN</b>	15% t <sub>∞</sub>
re-bar 10 – profilés U	avec l'électricité 200°C	350 N/mm <sup>2</sup>	<b>2 x 31.5 kN = 63 kN</b>	15% t <sub>∞</sub>
re-bar 16 – barre	Gaz 300 – 350°C	320 N/mm <sup>2</sup>	<b>67.6 kN</b>	15% t <sub>∞</sub>

## Pour les constructions neuves, intégration dans le béton (bande noyée)

La barre d'armature nervurée re-bar 16 est insérée dans le nouveau béton. L'activation a lieu par courant électrique avant que le béton ne soit décoffré

Produit	Température de chauffage	Précontrainte	Force de précontrainte	Relaxation
re-bar 16 – avec crochet d'extrémité pour le raccordement électrique	avec électricité 200°C	250 N/mm <sup>2</sup>	<b>52.8 kN</b>	15% t <sub>∞</sub>



Acier nervuré comparable à un matériau 1.4003 selon la norme DIN EN 10088 (classe de résistance à la corrosion I)



## Essais de base avec re-bar

### Essais de liaison

Des essais d'arrachement ont été réalisés pour étudier l'adhérence de l'ancrage d'extrémité avec différents mortiers Sika. La longueur d'ancrage avec les mortiers testés sur un béton ayant une résistance à la compression sur cube  $>20 \text{ N/mm}^2$  a été déterminée comme suit:

Dans le mortier de reprofilage respectivement le mortier projeté Sika

Longueur d'ancrage:  $>500 \text{ mm}$  (selon la situation)

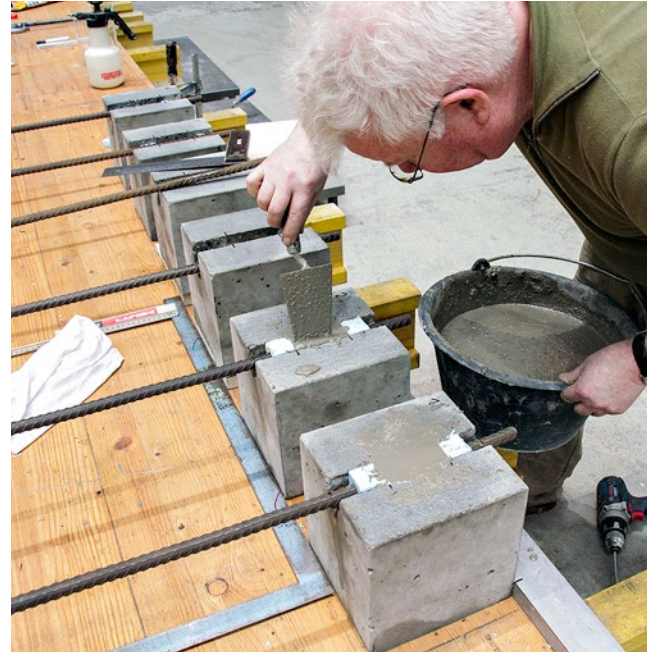
Inséré dans une rainure dans le mortier de jointoiement Sika

Longueur d'ancrage

re-bar 10:  $\geq 400 \text{ mm}$

re-bar 16:  $\geq 600 \text{ mm}$

Distance entre les rainures:  $\geq 100 \text{ mm}$

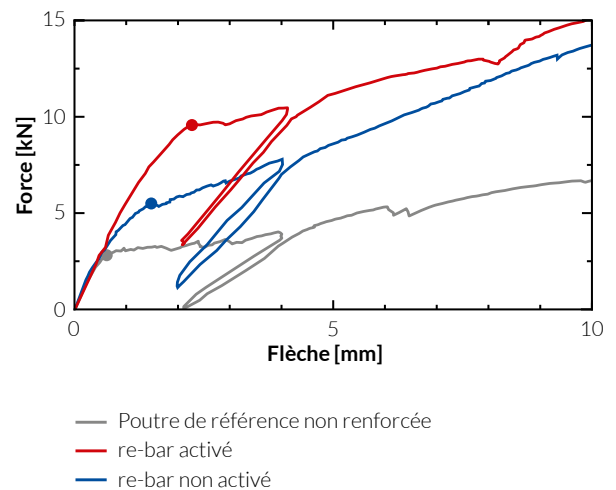


Pour des qualités de béton supérieures, il est possible de réduire les longueurs d'ancrage. Pour d'autres options d'ancrage, voir page 27.

### Comportement structurel



Le comportement structurel du renforcement avec re-bar sur une poutre de 160 mm de hauteur, 250 mm de largeur et 2 m de portée a été testé. re-bar activé et non activé ont été comparés.



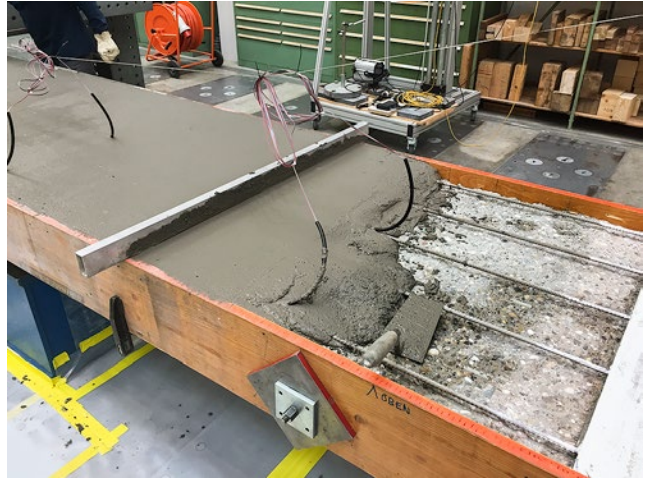
**Grâce à l'activation, la charge de fissuration a pu être doublée.**

## Essai à grande échelle: Renforcement du moment négatif du tablier de pont

Un projet de recherche à l'Empa (Suisse) visait à étudier la résistance en flexion de poutres/dalles de pont renforcées avec des barres 're-bar'. Les barres ont été placées dans une rainure en béton sur la face supérieure de la dalle, la rainure après remplie de SikaGrout®-314 N. Dans une deuxième série, des barres re-bar ont été appliquées à la surface préalablement rendue rugueuse dans un mortier de reprofilage Sika MonoTop®-452 N. Avec cet essai à grande échelle, une dalle de pont a été simulée, laquelle a été renforcée dans la direction transversale avec 5 barres re-bar précontraintes chacune.



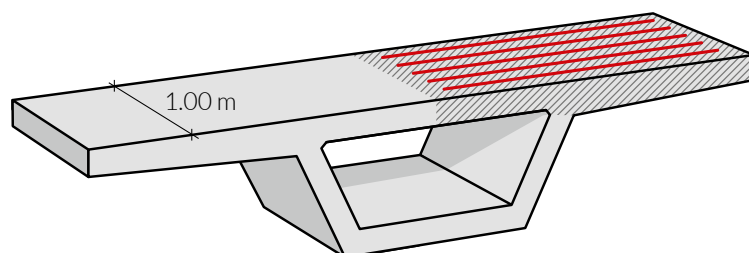
Renforcement dans la rainure



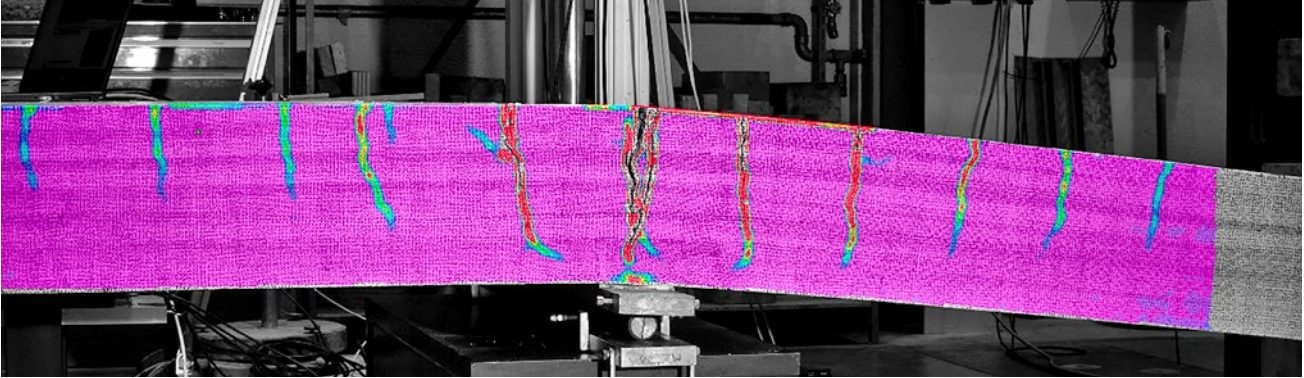
Renforcement dans le mortier de reprofilage



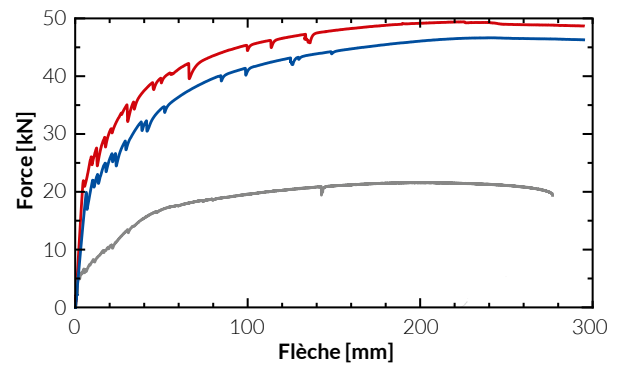
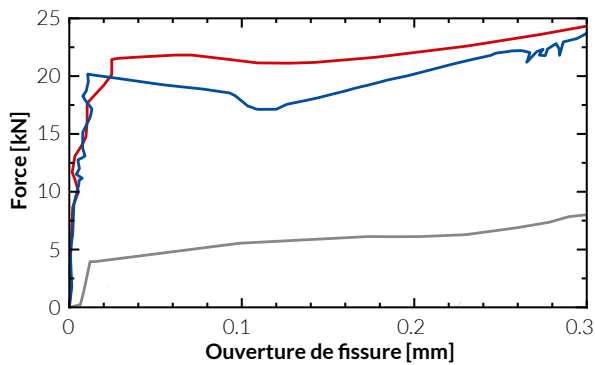
Essai avec dalle en béton à l'Empa



## Résultats des essais: Renforcement du moment négatif sur appui



	Poutre de référence	re-bar dans rainure en béton	re-bar dans mortier de reprofilage
Charge de fissuration [kN]	5.9	20.0	21.9
Charge à la rupture [kN]	21.6	46.6	49.4



- Poutre de référence non renforcée
- re-bar dans mortier de reprofilage
- re-bar dans rainure en béton

**Soulagement de l'armature interne.**

**Augmentation de la durée de vie**

Les largeurs de fissures mesurées ont pu être réduites de manière significative avec le même niveau de charge. La structure reste plus longtemps à l'état non fissuré. Comme l'armature de interne est soulagée par la précontrainte, ceci a également un effet positif sur le comportement en fatigue et donc sur la durée de vie de la structure.

**La charge de fissuration a été multipliée par trois.**

**La charge à la rupture a été doublée.**

# Application de re-bar pour un renforcement ultérieur

## Renforcement ultérieur du moment positif/négatif



### Préparation du support

- 1 Rendre rugueux le support en béton jusqu'à l'obtention de la rugosité requise
- 2 Fixation de re-bar avec des isolateurs électriques **re-clip** sur l'armature interne ou **re-bolt** sur le support



### Ancrage d'extrémité des deux côtés

Au sol

- 3 Insérer sur les deux côtés dans **Sika MonoTop®-452 N** «Mortier de reprofilage» comme ancrage d'extrémité

En plafond et mur

- 4 Insérer sur les deux côtés dans **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** «Mortier projeté» comme ancrage d'extrémité



Activation de re-bar dès que la résistance à la compression  $>35 \text{ N/mm}^2$  est atteinte dans le mortier



### Activation de la précontrainte

- 5 Chauffage de re-bar au chalumeau à gaz et établir un protocole de la température d'activation



### Finition

Au sol

- 6 Appliquer **Sika MonoTop®-452 N** «Mortier de reprofilage» entre les ancrages d'extrémité

En plafond et mur

- 7 Appliquer **Sika MonoTop®-412 Eco/-4012** «Mortier projeté» entre les ancrages d'extrémité

## Renforcement ultérieur du moment de flexion négatif en saignée



### Préparations de la construction

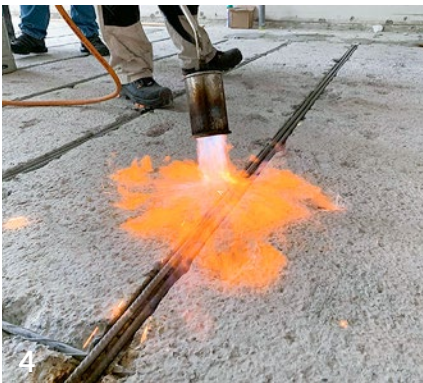
- 1 Découpe de la rainure dans le support en béton  
re-bar 10: Largeur 2.5cm  
Profondeur 3.0cm  
re-bar 16: Largeur 2.5cm  
Profondeur 4.0cm
- 2 Fixer re-bar au centre dans la rainure en béton



Activation de re-bar dès que la résistance à la compression  $>35 \text{ N/mm}^2$  est atteinte dans le mortier

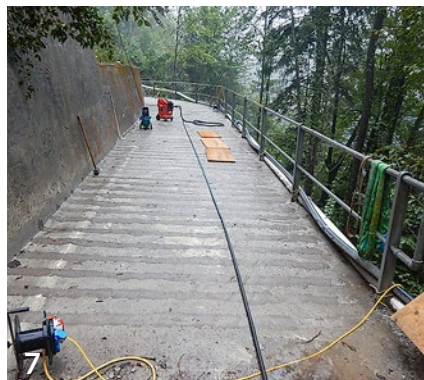
### Ancrage d'extrémité sur les deux côtés

- 3 Insérer sur les deux côtés dans **SikaGrout®-314N** «Mortier de scellement»



### Activation de la précontrainte

- 4 Activation/chauffage de re-bar au chalumeau à gaz
- 5 Établir un protocole de la température d'activation

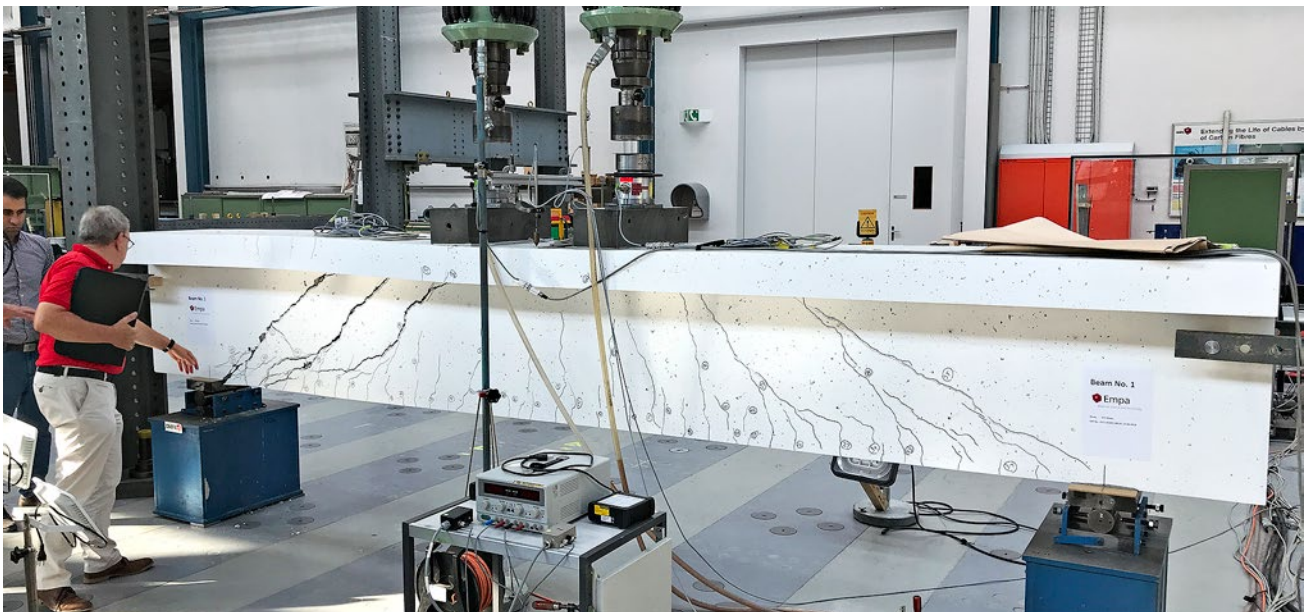


### Finition

- 6 Scellement de re-bar avec **SikaGrout®-314N** entre les deux ancrages d'extrémité
- 7 Appliquer l'étanchéité ainsi que le revêtement d'asphalte

## Essai de chargement: Renforcement à l'effort tranchant sur une poutre en T

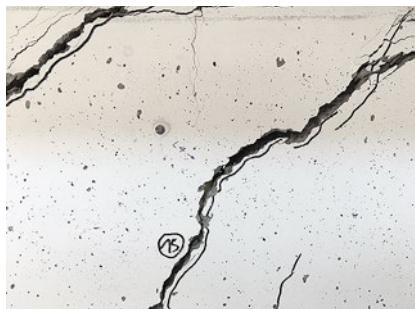
Plusieurs essais de charge ultime ont été réalisés à l'Empa (Suisse) et conçus de manière qu'une rupture par effort tranchant se produise. Une première poutre de référence sans étrier de cisaillement re-bar supplémentaire a été chargée jusqu'à la rupture. Cette poutre fortement endommagée, avec des étriers internes détruits et avec des fissures béantes, a été réinjectée et renforcée avec des produits Sika. En outre, quatre autres poutres en T non endommagées ont été renforcées par des étriers re-bar et après testées.



Poutres d'essai à l'Empa



Collage des jauges de contrainte sur les armatures internes

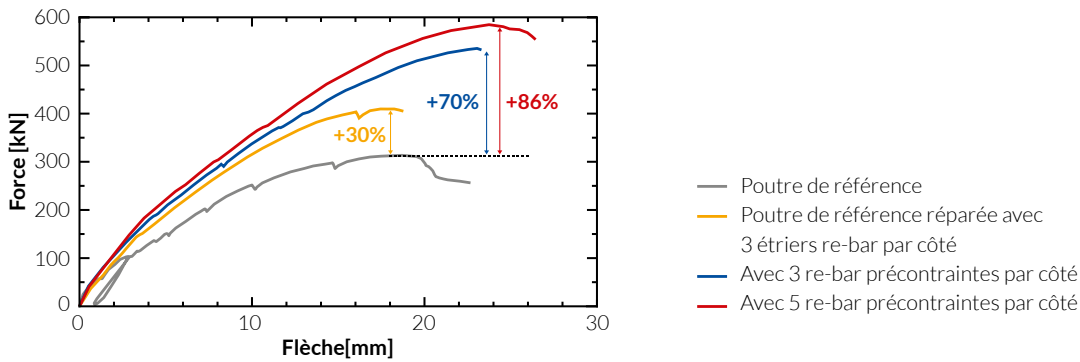


Fissures béantes sur la poutre de référence détruite



Image thermique des étriers re-bar activés/chauffés

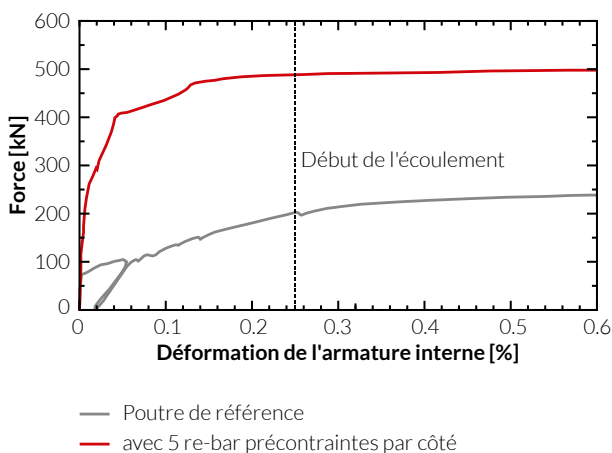
Les essais ont montré des gains significatifs concernant la charge ultime. La précontrainte permet également de maintenir les ouvertures de fissures plus petites que sans précontrainte pour la même charge.



**Le renforcement de bâtiments partiellement détruits après un tremblement de terre est possible.**

Grâce aux étriers re-bar précontraints, une augmentation de 30% par rapport à la capacité portante de la poutre de référence partiellement détruite a pu être réalisée.

Grâce à l'activation/précontrainte des étriers re-bar, l'ouverture des fissures ne se produit qu'à une charge 50 % plus élevée..



Grâce à la précontrainte verticale, la contrainte de traction dans les étriers internes est réduite. Les jauges de déformation sur l'armature interne ont montré que celles-ci commencent à s'écouler dans la poutre de référence à une charge de ~200 kN. Grâce à la précontrainte avec 5 re-bar précontraints, l'écroulement de l'armature interne ne commence l'écoulement qu'à ~500 kN.

**Soulagement des étriers internes.**

**Amélioration du comportement à la fatigue**

# Application de l'étrier re-bar U



## Injection des fissures si nécessaire

- 1 Obturation en surface des fissures avec **Sika® FastFix-121** ainsi qu'injection avec **Sika® InjectoCem-190**

## Préparation du support

- 2 Rendre rugueux de manière hydro-mécanique ou mécanique jusqu'à la rugosité requise (sablage si la rugosité a été réalisée mécaniquement).



- 3 Fixer l'étrier re-bar avec des chevilles en plastique re-bolt (isolation électrique de l'armature intérieure)-

## Appliquer

- 4 Appliquer **Sika MonoTop®-412 Eco-4012** par procédé de projection par voie humide, combler les trous dans la dalle/âme avec **SikaGrout®-314 N** ausgießen.  
Alternative: Dresser un coffrage, Remplissage avec mortier de scellement **SikaGrout®-314 N**



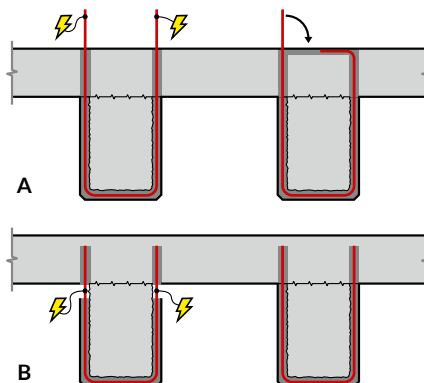
Aktivierung von re-bar sobald eine Druckfestigkeit  $>35 \text{ N/mm}^2$  im Mörtel erreicht ist.

## Activation de la précontrainte

- 5 Activation/chauffage par résistivité électrique, ensuite plier l'étrier et sceller.

Force de précontrainte:  
 $2 \times 31,5 \text{ kN} = 63 \text{ kN}$  par étrier en U à double branche

Raccordement électrique:  
400 V, 2 x 56 A (63 A CEE raccordement par fiche) dans un rayon de 20 m



## Finition

- 6 Vue de l'objet renforcé après l'application du mortier

## Ancrage dans la zone comprimée

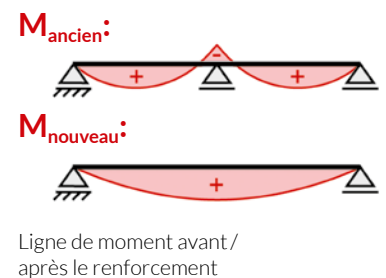
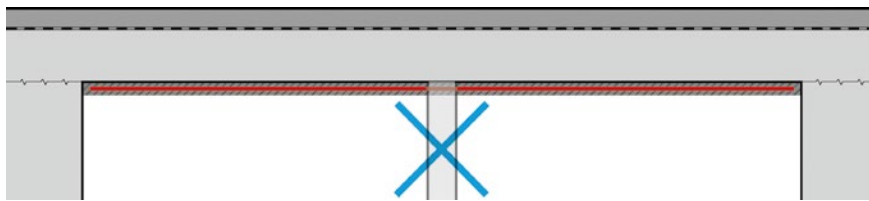
- A** Étrier en U fermé  
**B** Étrier en U ancré dans le béton



## Utilisations de re-bar pour le renforcement ultérieur

### Renforcement d'une dalle de pont

Pour améliorer le profil hydraulique sous un pont, la pile centrale (marquée en bleu sur le croquis de la section transversale) est supprimée. Le canal doit être drainé pour les travaux de construction. Des supports temporaires sont érigés pour sécuriser l'état de la construction. Ensuite, la pile centrale peut être retirée. Le nouveau moment positif  $M_{\text{nouveau}}$  à renforcer avec nouvelle portée est repris par la précontrainte re-bar. re-bar se situe dans le mortier projeté Sika MonoTop®. Afin d'assurer l'adhérence, le support doit être rendu rugueux par hydroscarification.



Après l'enlèvement de la paroi intermédiaire, du support provisoire et de la rugosité réalisée de manière hydromécanique



Fixation de re-bar à l'armature interne (avec re-clip) et au support porteur (avec re-bolt)



Ancrage d'extrémité sur les deux côtés de 600 mm des barres re-bar avec mortier projeté par voie humide Sika MonoTop®

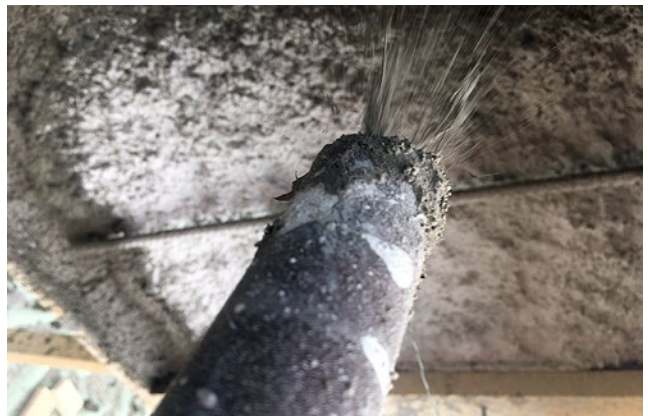


Activation de re-bar au chalumeau à gaz ainsi que contrôle de la température

Des essais d'arrachement ont permis de vérifier à l'Empa l'adhérence de l'ancrage d'extrémité dans le mortier Sika MonoTop®. La longueur d'ancrage >600 mm des deux côtés est basée sur une résistance à la compression sur cube de l'ancien béton >20 N/mm<sup>2</sup>. La résistance à la compression de du support doit toujours être vérifié par un diagnostic structurel précis.



Film sur l'activation de re-bar:  
[www.re-fer.eu/mov02](http://www.re-fer.eu/mov02)



Injection de la section centrale avec Sika MonoTop®



Passage après le renforcement

## Renforcement d'une dalle de pont

Outre la charge maximale, un facteur décisif pour la capacité portante d'un pont est le niveau de contrainte auquel la charge dynamique permanente dynamique a lieu. Selon l'état de la structure, des mesures de remplacement peuvent être nécessaires pour assurer la durabilité.

Le béton près de la surface des poutres et de la dalle du pont est fortement carbonatisé et l'armature interne présente des dommages partiels dus à la corrosion. L'enrobage en béton endommagé est enlevé de façon hydromécanique et les zones à renforcer sont rendues rugueuses.



Béton endommagé avant le renforcement



Renforcement interne corrodé

re-bar peut être utilisé spécifiquement comme renforcement en flexion sous les poutres en béton armé. Grâce à la précontrainte, l'armature existante est également soulagée. Les zones d'ancrage sur les poutres sont en outre renforcées par des étriers en U fabriqués en acier d'armature normal. La force de précontrainte d'un re-bar 16 peut être introduite dans la zone comprimée du béton à l'aide d'un étrier en U Ø12 mm. Si les étriers dans la structure existante sont endommagés ou insuffisants, il est également possible d'utiliser des étriers précontraints en re-bar.



Échafaudages temporaires pour le renforcement

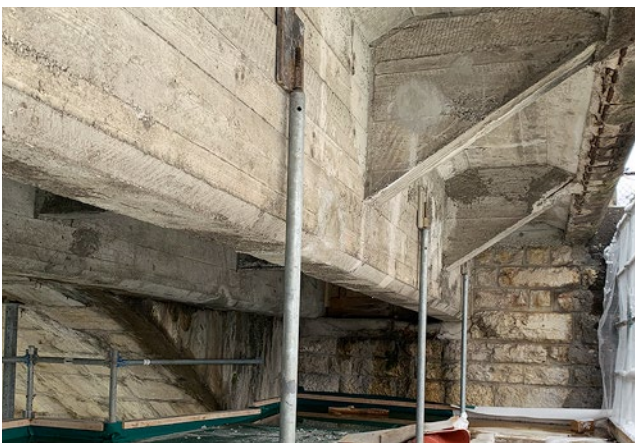


Zone d'ancrage de trois re-bar 16 (précontraints) avec trois étriers en U Ø12 en acier d'armature dans du mortier projeté Sika.

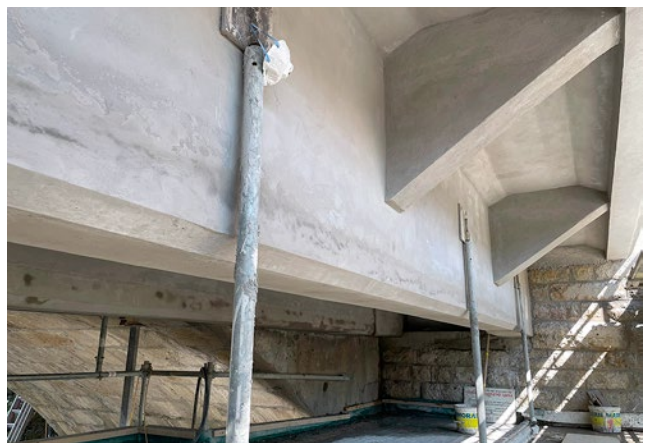


Scellement des re-bar avec du mortier projeté Sika

Grâce à l'enrobage avec le mortier projeté Sika MonoTop®, un nouveau dépôt alcalin est créé et l'armature interne est protégée contre la corrosion. Cette solution de renforcement robuste et durable prolonge la durée vie de la structure.



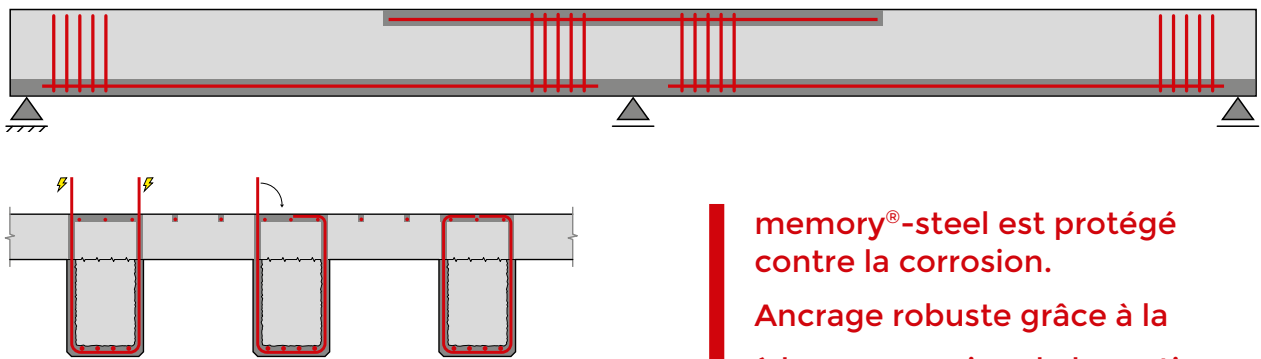
Avant le renforcement:  
Béton carbonatisé et armature corrodée



Après le renforcement :  
Revêtement final sur toute la surface avec un mortier de la gamme Sika MonoTop

## Application combinée de la barre d'armature en flexion/effort tranchant dans la construction de ponts

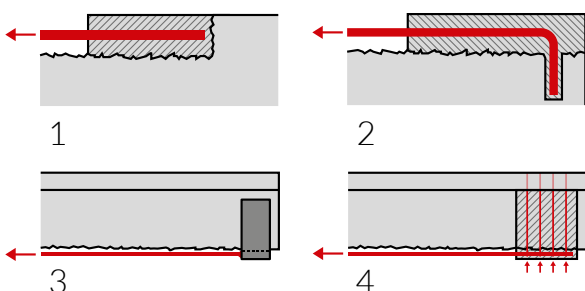
re-bar convient à la rénovation partielle ou complète d'une poutre de pont ou d'une poutre de plancher massive. Lors de la réhabilitation ou de la réparation d'anciennes sections de béton carbonatisé, memory®-steel est inséré dans la nouvelle couche de mortier pour renforcer la flexion ou l'effort tranchant. La couche de mortier de ciment sert de nouveau dépôt alcalin pour l'armature en acier. Les travaux de renforcement créent un système porteur permanent avec une protection contre la corrosion pour memory®-steel et l'armature interne existante.



### Options d'ancrage flexibles

En principe, re-bar est ancrée derrière ou à la ligne de moment nul pour les renforcements en flexion. Pour le renforcement en effort tranchant, re-bar est ancré dans la zone comprimée. L'introduction de la force de précontrainte est normalement réalisée par adhérence au mortier (1). Une autre solution est un ancrage en profondeur avec des crochets (2). Des solutions spéciales telles que des cornières en acier collées ou boulonnées à l'extérieur avec des re-bar soudés sont également possibles (3).

Les étriers re-bar précontraints sont particulièrement adaptés à la compression de la liaison de cisaillement entre le mortier et la base porteuse (4).



**memory®-steel est protégé contre la corrosion.**

**Ancrage robuste grâce à la compression de la section transversale.**

**Contre la fatigue**

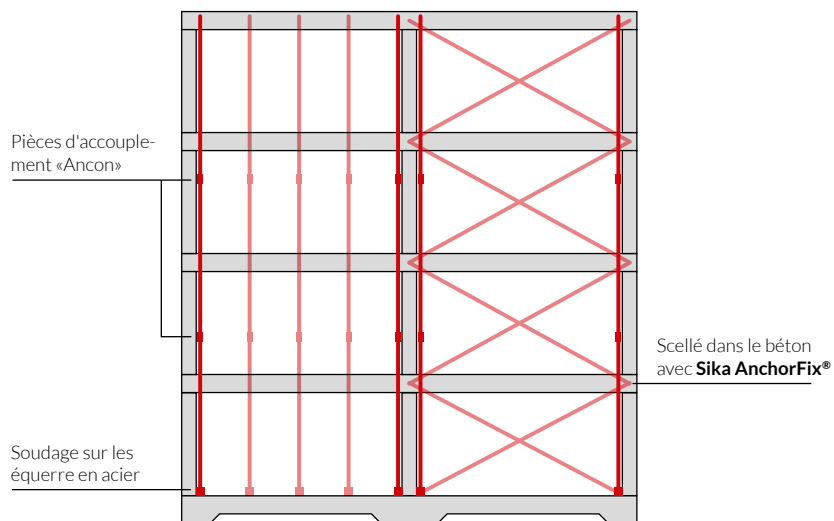
**Soulagement de l'armature interne.**

**Capacité de charge plus élevée / flèche plus faible.**



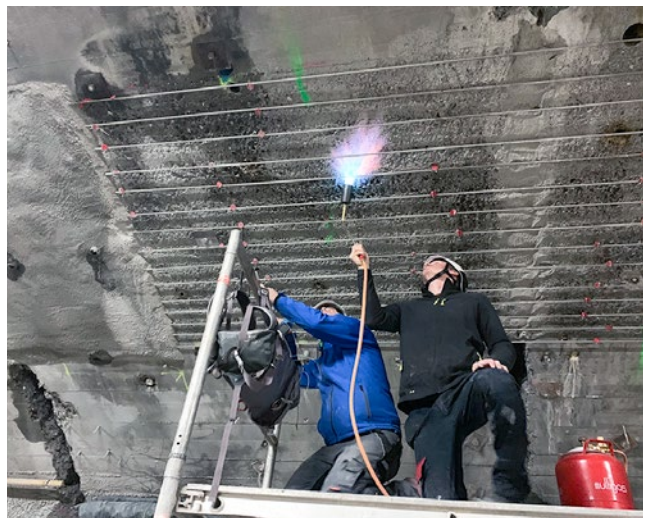
## Réhabilitation antisismique

Grâce à la soudabilité de memory<sup>®</sup>-steel, il est possible de réaliser un ancrage simple pour re-bar. re-bar est soudé par exemple à un profilé en L en acier et ancré dans le plafond ou la dalle de béton. Ensuite, re-bar est noyée dans le mortier projeté Sika MonoTop<sup>®</sup>-412 Eco/-4012. Le soudage doit être effectué par un soudeur agréé en acier inoxydable (pointe en tungstène, gaz inerte, matériau de soudage «Böhler A7 CN-IG» fil de 1,6 mm).



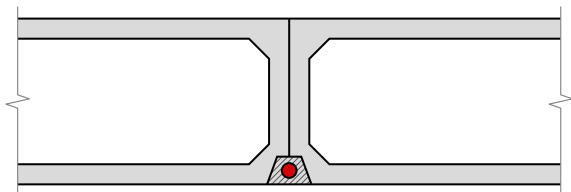
## Renforcement dans le domaine de la construction de tunnels

Pour le renforcement d'une voûte de tunnels ou pour la précontrainte des joints de dilatation/d'accouplement, par exemple dans la construction de canaux, re-bar est injecté dans le mortier de projection à sec Sika<sup>®</sup> Rock Gunit BE-8.



## Renforcement d'une dalle alvéolaire

re-bar est inséré dans une rainure dans le béton entre les dalles creuses, ancré à son extrémité et activé. En fonction de la force de précontrainte souhaitée, la température d'activation est ajustée.



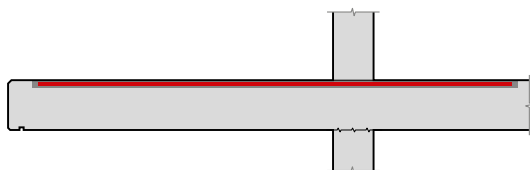
## Renforcement en contre-poussée

Le radier insuffisamment armé présentait des bombements et des fissures sur la face supérieure. Le renforcement contre la poussée des eaux souterraines peut être assuré dans les deux directions d'appui. Une combinaison de re-bar «encastrée dans la rainure» dans une direction et de re-bar «dans le mortier de reprofilage» dans la direction transversale est possible.



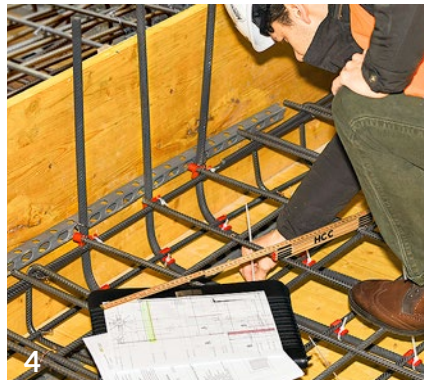
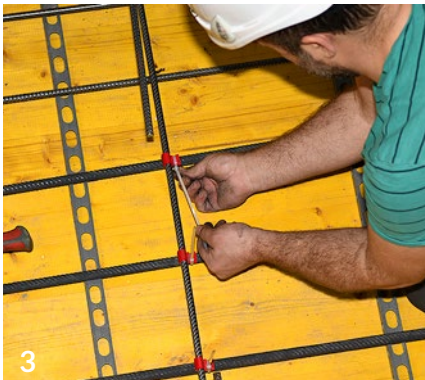
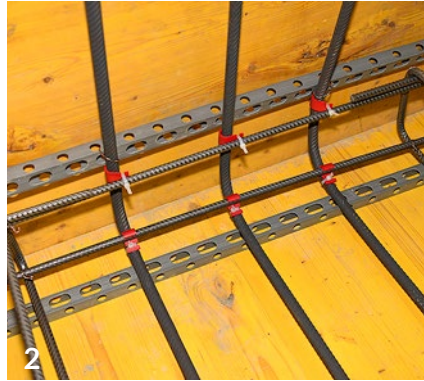
## Renforcement du raccordement d'un balcon

Sur le sujet, la face supérieure de la dalle du plafond et de la dalle du balcon est renforcée avec re-bar «encastrée dans la rainure». La flexion se trouve ainsi réduite et des charges utiles plus élevées peuvent être appliquées au balcon.



# Application de re-bar dans les constructions neuves

## Réalisation de bande noyée précontrainte



### Pose de l'armature

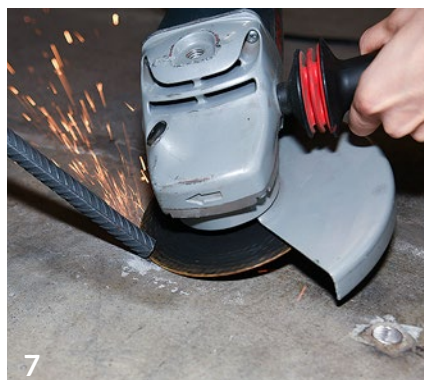
- 1 Monter un coffrage, pose de distanciers
- 2 Pose de re-bar dans la zone de la bande noyée entre l'armature interne
- 3 Pose de l'armature transversale (2ème couche) / contact avec re-bar séparées par des isolateurs électriques re-clip
- 4 Contrôle de re-bar par l'ingénieur civil (contact él., position, points de connexion él.)



Activation de re-bar dès que la résistance à la compression  $> 25 \text{ N/mm}^2$  est atteinte dans le mortier

### Bétonnage

- 5 Bétonnage après approbation de l'ingénieur civil.



### Activation de la précontrainte

- 6 Activation/chauffage électrique (avant le décoffrage). Mesure de la force de précontrainte avec capteur de force possible.  
**Raccordement électrique: 400 V, 2 x 56 A (63 A CEE accordement par fiche) dans un rayon de 20 m**
- 7 Découpe des zones de raccordement de re-bar et finition du plafond

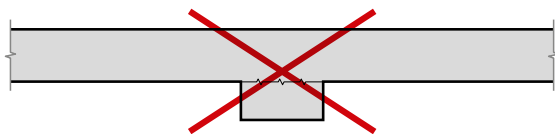


## Utilisations de re-bar dans la construction neuve

### Poutre précontrainte «cachée» dans un immeuble d'habitation

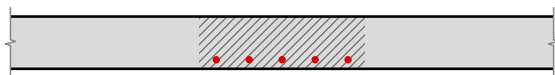
L'utilisation ciblée de memory®-steel dans les constructions neuves permet de réduire l'épaisseur de la dalle et offre ainsi une alternative aux systèmes porteurs conventionnels tels que les chapes/poutres ou les éléments porteurs supplémentaires. re-bar est utilisé notamment pour les traverses en béton ou les dalles en béton avec des portées allant jusqu'à environ 15 m et des épaisseurs de dalle allant jusqu'à environ 30 cm. Grâce à la facilité de manipulation et à l'utilisation optimale du bras de levier intérieur, divers avantages apparaissent par rapport à la précontrainte conventionnelle par torons.

Planifié:



**Non souhaité par l'architecte /  
maître d'ouvrage**

Variante re-bar:



Afin d'éviter une restriction de la hauteur de la pièce, le maître d'ouvrage et l'architecte souhaitent tous deux que la poutre du bas soit cachée. Pour garantir le respect de la déformabilité conformément à la norme dans cette zone, des tiges d'armature re-bar ont été insérées entre la couche d'armature la plus basse. L'activation électrique de re-bar a lieu après le durcissement, mais avant le décoffrage de la dalle. La bande de renforcement créée dans la dalle de béton couvre les mêmes exigences statiques que la variante initialement proposée.



re-bar 16 est fourni en longueurs standard qui conviennent au transport. Les tiges de re-bar peuvent être rallongées sur site avec des coupleurs spéciaux.

## Procédé re-bar R18 pour les constructions métalliques

«pour les éléments de construction soumis aussi bien à des charges statiques qu'à des charges dynamiques permanentes»

La barre ronde R18 de Ø18 mm est ancrée à l'extrémité de l'élément de construction en acier existant par un ancrage à vis. Dans des cas exceptionnels, il est possible de souder localement l'ancrage d'extrémité. L'activation/précontrainte est effectuée conformément à la fiche technique du produit re-fer en utilisant un chalumeau à gaz. Pendant le chauffage, un bouclier thermique est inséré entre re-bar R18 et la structure en acier existante.

Produit	Section transversale	Résistance maximale à la traction*	Force de traction maximale*	Allongement à la rupture
re-bar R18	254.5 mm <sup>2</sup>	750 N/mm <sup>2</sup>	<b>190.8 kN</b>	15%

Produit	Température de chauffage	Précontrainte	Force de précontrainte	Relaxation
re-bar R18	Gaz 300 – 350°C	380 N/mm <sup>2</sup>	<b>96.7 kN</b>	15% t <sub>0</sub>

re-bar R18 est livré sur le site de construction en longueurs maximales de 5.2 mètres. Un filetage spécial M19.5 se situe sur les deux côtés des barres. Avec le coupleur R18 C, des barres préfabriquées pour la dimension correspondante sont raccordées sur le site de construction.

La protection contre la corrosion de la structure en acier ainsi que des mesures de renforcement est réalisé avec SikaCor® EG-1.



Acier rond comparable avec un alliage 1.4003 selon DIN EN 10088 (résistance à la corrosion classe I)



Coupleur R18 C avec filetage intérieur M19.5



## Produits supplémentaires pour le procédé re-bar R18

L'armature avec la barre de renfort R18 peut être exécutée avec une, deux ou quatre barres. Les barres peuvent être appliquées parallèlement à la poutre en acier ou avec une projection centrale

Type de renforcement	«Simple»	«Double»	«Quadruple»
Nombre de re-bar R18	1	2	4
Force de précontrainte	<b>96.7kN</b>	<b>193.4kN</b>	<b>386.8kN</b>
Force de traction	190.8kN	381.6kN	763.2kN

### R18 Ancrage d'extrémité

La plaque de base de l'ancrage d'extrémité est adaptée en fonction de l'objet et vissée au profilé en acier existant. Des applications spéciales ou un assemblage sur des profils spéciaux sont possibles. Pour la fixation re-bar R18, des écrous R18 avec des rondelles spéciales sont fournis. Les rondelles (rondelle sphérique + douille conique) permettent un décalage angulaire jusqu'à 3°.



R18 Ancrages d'extrémité «Simple, double et quadruple» vissés



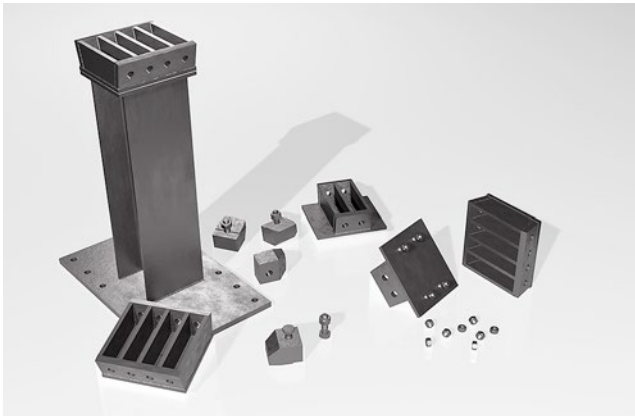
R18 Écrous et rondelles avec un décalage angulaire jusqu'à 3°

Les ancrages d'extrémité standard sont conçus pour les profilés en acier suivants:

Profilé en acier	IPE	PEA	INP	HEA	HEB	HEM
«Simple»	270 – 750	270 – 600	300 – 550	140 – 1000	140 – 1000	140 – 1000
«Double»	350 – 750	300 – 600	360 – 550	140 – 1000	140 – 1000	140 – 1000
«Quadruple»	750			260 – 1000	260 – 1000	260 – 1000

## R18 Supports de déviation

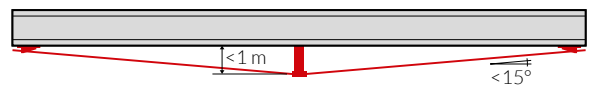
Pour augmenter le moment de précontrainte, un support de déviation peut être installé au centre de la poutre. Pour éviter tout affaiblissement de la section transversale de la poutrelle en acier à cet endroit, les supports de déflexion R18 sont serrés. Les supports de déflexion sont conçus pour une déviation maximale de 1 m. Avec les rondelles et l'angle de base du support, une déviation de 15° est possible.



R18 Support de déviation «Double et Quadruple» serré

Les instructions d'installation se trouvent dans la fiche technique du produit. Pour les applications spéciales (par exemple, re-bar R18 dans la zone de portée, etc.), l'équipe re-fer offre son soutien. L'application de nervures de renforcement aux points d'application de la force doit être vérifiée par l'ingénieur. L'application et la précontrainte doivent être effectuées sur la structure non chargée.

Renforcement surélevé à la poutre en acier:



Support de déviation serré

Renforcement parallèle à la poutre en acier:



Ancrage d'extrémité vissé à la bride de la poutre en acier

## Essais pour une charge dynamique permanente

Les barres précontraintes re-bar R18 ont résisté avec succès à des essais de charge de fatigue dynamique avec 2 millions de cycles de charge avec un cordon de soudure et une amplitude de contrainte de 60 N/mm<sup>2</sup>, ainsi qu'avec un raccord M19.5 et une amplitude de contrainte de 50 N/mm<sup>2</sup>.



**Convient pour les applications avec charge permanente.**

## Applications de re-bar R18

### Renforcement par flexion d'un pont composite acier-béton

L'adaptation des normes de construction entraîne une augmentation des exigences concernant le chargement. Le pont composite acier-béton présente des déficits statiques. Afin d'améliorer la résistance à la flexion et à la fatigue, les poutres principales en acier sont renforcées à l'aide du système re-bar R18.



Pont composite acier-béton avant renforcement

Sur l'objet, les parties en acier existantes sont sablées et protégées avec la protection anticorrosion SikaCor® EG-1. Le système re-bar R18 est appliqué. Les barres rondes sont ancrées des deux côtés. Les ancrages d'extrémité sont connectés à la poutre en acier existante à l'aide d'un fil. Ensuite, l'activation de re-bar R18 est réalisée au chalumeau à gaz sur toute la longueur.



Poutres en acier existantes avec revêtement anticorrosion



Installation des re-bar R18 avec ancrages d'extrémité

re-bar R18 est guidée sur l'objet parallèlement à la direction du chargement. Étant donné que le pont existant présente des déflexions élevées, il est nécessaire de mettre en place des appuis intermédiaires. Grâce à ces soutiens, des forces verticales sont introduites. En raison de l'environnement humide ainsi que d'autres agents nocifs (sel de déglacage comme mesure hivernale), l'ensemble du renforcement est finalement enduit de SikaCor® EG-1.



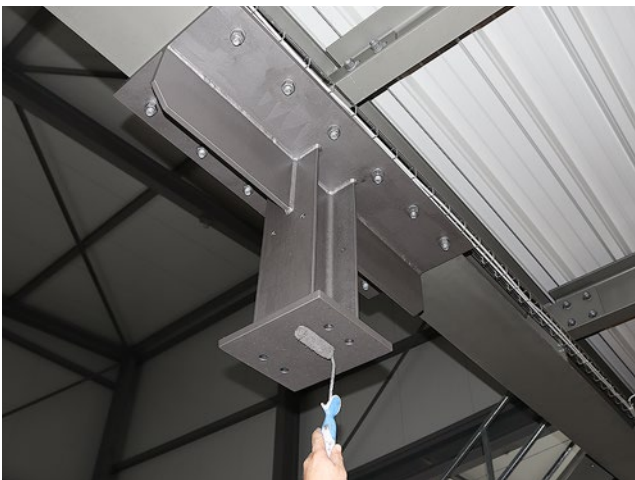
Poutres en acier existantes avec revêtement anticorrosion



Appuis au centre des poutres en acier

## Supporter une charge concentrée sur une poutre en acier

Les charges supplémentaires du toit d'un hall en acier sont absorbées par un nouveau support. La nouvelle charge concentrée sur la poutre en acier existante est absorbée par la méthode avec re-bar R18. Un support de déviation est installé au centre de la poutre. Grâce à la différence en hauteur, un bras de levier plus élevé s'oppose directement au moment de flexion. Le système peut être utilisé partout où les conditions d'espace (franc-bord, distances de sécurité, etc.) le permettent.



Fixer le support du déflecteur R18 et appliquer la protection contre la corrosion



Boulonnage de l'ancrage d'extrémité

# Contrôle qualité

## En usine

Selon le concept d'assurance qualité ISO de refer, la contrainte de récupération (précontrainte) est contrôlée dans la chambre de température (1). En outre, un institut certifié teste la résistance à la traction de chaque lot de livraison. Cela permet de garantir la qualité du produit final.

## Sur le support

La qualité du support est déterminée à l'aide du scléromètre (2). Pour le renforcement avec replate, une résistance à la compression mesurée >35 N/mm<sup>2</sup> est requise. Pour les qualités de béton inférieures, il convient de consulter l'ingénieur chargé de la réfection en ce qui concerne la résistance des ancrages.

## Contrôle de la température lors de l'activation

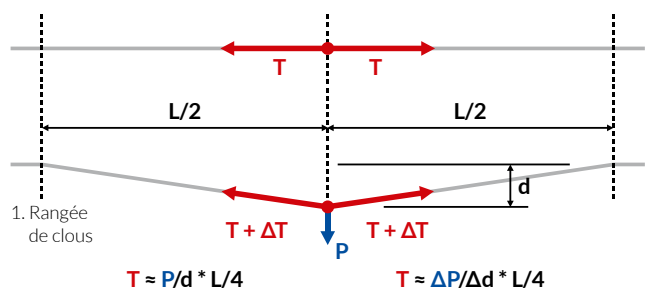
Pendant le processus de chauffage, la température sur memory®-steel est mesurée. Cela se fait à l'aide de capteurs de température intégrés et d'un écran (3) dans le chauffage infrarouge ou à l'aide d'un appareil de mesure manuel séparé lors d'une activation au gaz.

## Contrôle des fissures et des déformations

La fermeture des fissures existantes peut être vérifiée pendant le processus de précontrainte. La largeur de la fissure est mesurée à l'aide d'un capteur de déplacement (4). Le redressement de la dalle peut être contrôlé à l'aide d'un dispositif laser.



La force verticale mesurée **P** et l'allongement **d** sont comparés via les rapports trigonométriques aux forces de traction résultantes dans l'élément de contrainte **T + ΔT**.



# Aperçu des produits

## Catalogue de produits re-fer



### Produits memory®-steel

<b>re-plate 120 /1.5</b>	Bande de renforcement pour la précontrainte
<b>re-bar 10</b>	Acier nervuré de précontrainte, section transversale 89.9 mm <sup>2</sup>
<b>re-bar 16</b>	Acier nervuré de précontrainte, section transversale 211.2 mm <sup>2</sup>
<b>re-bar R18</b>	Acier rond de précontrainte, section transversale 254.2 mm <sup>2</sup>

### Équipement d'application et composants

<b>re-bolt</b>	Cheville en plastique pour la fixation de re-bar dans la base en béton
<b>re-clip</b>	Clip en plastique pour la fixation de re-bar à l'armature interne
<b>re-IR 3000</b>	Appareil infrarouge avec module de commande et capteur de température
<b>re-EL</b>	Chauffage électrique avec module de commande pour le chauffage par résistivité électrique
<b>Appuis en T</b>	Appui amovible en forme de T pour la fixation provisoire de re-plate

### Ancrage d'extrémité de re-plate

<b>Clou universel X-CR 48 P8 S15</b>	Clou universel Hilti pour les ancrages d'extrémité
<b>DX Cartouche 6.8 / 11M10 STD (rouge)</b>	Cartouche
<b>DX 5 ou DX 6</b>	Appareil de pose pour fixation directe Hilti

## Produits Sika-testés



### En combinaison avec re-plate

<b>SikaCem® Pyrocoat</b>	Enduit au pistolet pour la protection ignifuge
<b>SikaCem® Pyrocoat Base</b>	Enduit d'adhérence pour l'enduit au pistolet pour la protection ignifuge
<b>SikaCor® EG-1</b>	Revêtement anticorrosion: Revêtement intermédiaire contenant du micacé, à base de résine époxy
<b>Sikaflex® PRO-3</b>	Mastic de jointoiement pour le remplissage des deux côtés de re-plate

### En combinaison avec re-bar

<b>Sika® FastFix-121</b>	Mortier lié au ciment pour l'obturation de fissures dans la surface
<b>SikaGrout®-314 N</b>	Mortier de scellement très fin R4, sans retrait, dans le coffrage ou la rainure
<b>Sika® InjectoCem-190</b>	Injection de ciment fin pour les fissures
<b>Sika MonoTop®-412 N/DE, Eco, -4012</b>	Mortier projeté par voie humide R4, à retrait compensé
<b>Sika MonoTop®-422 PCC</b>	Mortier de reprofilage R4, à retrait compensé
<b>Sika MonoTop®-452 N</b>	Mortier de reprofilage R4, à retrait compensé, pour les surfaces horizontales
<b>Sika MonoTop®-910 N/ECO, -1010</b>	Protection anticorrosion pour les armatures et pont d'adhérence
<b>Sika® Rock Gunit BE-8</b>	Mortier projeté par voie sèche (lié au ciment, sans alcali)
<b>Sika® AnchorFix®-3030</b>	Colle à base de résine époxy pour les ancrages «cartouche»

**memory®-steel a été testé avec les mortiers de projection, de réparation et de jointoiement Sika, ainsi qu'avec le système de protection anticorrosion et de protection ignifuge. En cas d'utilisation d'autres produits de mortier en combinaison avec l'acier memory®-steel, re-fer se dégage de toute garantie.**



# Aide au dimensionnement pour memory®-steel

## Répertoire alphabétique

### Lettres latines

$A_f$	Section transversale de re-plate ou re-bar
$A_s$	Section transversale totale de l'armature
$a_s$	Teneur en armature par mètre linéaire
$b$	Largeur de la section transversale du béton
$d$	Hauteur statique
$d_f$	Hauteur statique de re-plate ou re-bar
$E_c$	Module d'élasticité du béton
$E_{SMA}$	Module d'élasticité simplifié de re-plate après activation
$F_c$	Force de compression pression du béton
$f_{cd}$	Valeur de dimensionnement de la résistance en compression du béton
$F_{ms,u}$	Force de traction ultime de re-plate pour l'analyse de la section transversale
$F_{p,i}$	Force de précontrainte memory®-steel, immédiatement après activation, $t=0$
$F_{p,\infty}$	Force de précontrainte memory®-steel, après relaxation, $t = \infty$
$F_s$	Force dans la section transversale de l'armature
$f$	Estimation de la déflexion maximale d'une dalle/poutre en béton selon Kordina et Hegger
$h_c$	Épaisseur de la dalle en béton
$I$	Moment d'inertie
$l$	Spannweite Betonplatte / -träger
$l_b$	Portée de la dalle/poutre en béton
$L$	Longueur libre de re-plate entre les ancrages
$\Delta L$	Changement de longueur à la rupture de re-plate selon Kordina et Hegger
$M_{Ed}$	Valeur de dimensionnement du moment de flexion
$M_{p,BZ}$	Moment de flexion de re-plate à l'état de construction
$M_{p,GZ}$	Moment de flexion de re-plate après relaxation (pour calculer l'état limite ultime)
$M_{Rd}$	Moment de résistance à la flexion ultime
$m_{Rd}$	Résistance à la flexion d'une dalle en béton
$P_0$	Force de précontrainte d'un élément de précontrainte à $t=0$
$P_\infty$	Force de précontrainte d'un élément de précontrainte à $t=\infty$
$V_{Ed}$	Valeur de dimensionnement de l'effort tranchant
$V_{Rd}$	Valeur de dimensionnement de la résistance à l'effort tranchant
$V_{Rd,s}$	Résistance de l'ancrage (valeur de dimensionnement) de re-plate avec clous Hilti X-CR
$w_{eff}$	Flèche existante
$w_{zul}$	Flèche permise
$x$	Hauteur de la zone de pression de flexion
$z$	Bras de levier

### Lettres grecques

$\varepsilon_0$	Pré-déformation d'un élément de précontrainte
$\varepsilon_c$	Déformation du béton
$\varepsilon_s$	Déformation de l'armature
$\varepsilon_f$	Déformation de re-plate ou re-bar
$\Delta\varepsilon_f$	Augmentation de la déformation de re-plate à partir du changement de longueur
$\Delta\sigma_f$	Différence de contrainte de traction dans re-plate
$\Delta\sigma_{p,r}$	Perte de précontrainte après relaxation (après 50 ans)
$\sigma_c$	Contrainte dans le béton
$\sigma_{p,i}$	Précontrainte initiale de re-plate, immédiatement après l'activation
$\sigma_{p,\infty}$	Précontrainte de re-plate après relaxation

## Introduction

Le dimensionnement avec les produits memory®-steel est réalisé selon l'état de l'art pour le dimensionnement des structures en béton armé et précontraint. La bande de renforcement «re-plate» est considérée comme une bande de précontrainte externe non adhérente. Dans le système «re-bar», on peut supposer une liaison rigide entre l'acier nervuré inséré et le mortier/béton projeté environnant. Dans ce qui suit, les propositions de dimensionnement pour les renforcements de flexion à l'état de construction, à l'état de service et à l'état limite ultime sont expliquées. Des exemples de dimensionnement sont présentés pour une meilleure compréhension.

## Base théorique du dimensionnement

### re-plate

#### Stade de construction

Pour l'état de construction, il est nécessaire de vérifier l'existence d'éventuelles fissures sur le dessus de la dalle dues à la précontrainte. Pour ce faire, la précontrainte initiale  $\sigma_{p,i}$  doit être appliquée. La précontrainte peut être définie comme un moment de flexion constant  $M_{p,BZ}$  entre les ancrages afin de le comparer au moment de fissuration.

$$M_{p,BZ} = F_{p,i} * z = \sigma_{p,i} * A_f * z \quad (1)$$

( $A_f$  = Surface re-plate,  $z$  = Bras de levier)

#### État de service

Pour l'état de service sur une période plus longue, la précontrainte initiale  $\sigma_{p,i}$  doit être réduite en raison de la relaxation. Sur une période de 50 ans, on peut l'estimer à 15 %. En conséquence, les dispositions suivantes s'appliquent:

$$\sigma_{p,\infty} = \sigma_{p,i} * \left( 1 - \frac{\Delta\sigma_{p,r}}{\sigma_{p,i}} \right) \approx \sigma_{p,i} * 0.85 \quad (2)$$

Le moment de flexion constant  $M_{p,GZ}$  entre les ancrages peut donc être décrit comme suit:

$$M_{p,GZ} = F_{p,\infty} * z = \sigma_{p,\infty} * A_f * z \quad (3)$$

#### État limite ultime

Dans le système re-plate, les forces sont introduites dans la structure par les deux ancrages d'extrémité; il n'y a pas de liaison avec le support en béton sur la longueur libre. Par conséquent, une analyse conventionnelle de la section transversale avec une compatibilité de déformation entre la fibre extérieure du béton et re-plate n'est pas possible. En principe, deux variantes sont possibles:

##### a) Calcul sans augmentation de la contrainte dans re-plate

Avec cette méthode de calcul simplifiée, on suppose que la force de traction  $F_{ms,u}$  dans re-plate est constante avec déformation structurelle croissante. Cette hypothèse conduit au fait que l'équilibre des forces dans la section transversale peut être réalisé au moyen de l'analyse conventionnelle de la section transversale et que la capacité portante peut ainsi être déduite. Un tel calcul peut être effectué manuellement, à l'aide d'un système de traitement des données tel qu'Excel, ou à l'aide d'un logiciel de calcul statique. Les logiciels de conception courants avec analyse des sections transversales font également appel à cette simplification.

$$F_{ms,u} = \sigma_{p,\infty} * A_f \quad (4)$$

Cette hypothèse conservatrice conduit à une sous-estimation de la charge ultime réelle. Ce concept est utile dans les cas où l'aptitude au service est déterminante pour la conception de la structure.

### b) Calcul avec augmentation de la contrainte dans re-plate

Une deuxième approche est basée sur l'estimation de la variation de la longueur additionnelle de re-plate en fonction de l'augmentation de la charge et par la suite de la flèche de la dalle. Des approches empiriques de conception, qui ont été dérivées d'essais de charge sur des poutres en béton avec une précontrainte par torons successifs sans liaison, sont utilisées comme base [1]. En résumé, sur la base des dimensions de la section transversale, une déviation maximale supplémentaire  $f$  est estimée, ce qui entraîne une modification de la longueur  $\Delta L$  dans re-plate. L'approche est basée sur l'hypothèse que toutes les déformations dans la section transversale d'une fissure sont concentrées au centre de la poutre pour une poutre à une travée. Ce changement de longueur peut être converti en une déformation supplémentaire  $\Delta \epsilon_f$ , ce qui donne alors l'état de contrainte  $\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma$  dans la section transversale de la plaque sur la base de la courbe contrainte-déformation connue après activation. De manière simplifiée, un module d'élasticité réduit  $E_{SMA}$  de 70 GPa peut être appliqué ici pour calculer la contrainte définitive via la variation de la déformation.

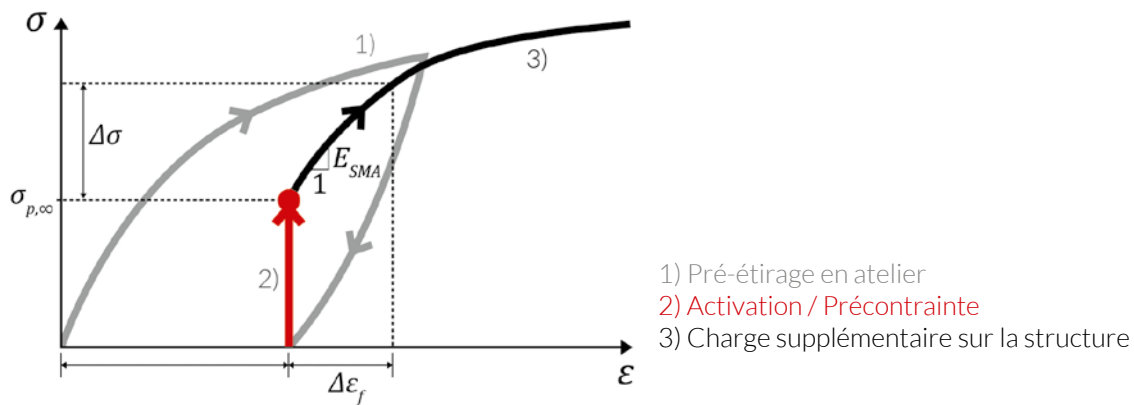


Figure 1: Diagramme contrainte/déformation re-plate avec Pré-étirage, activation et chargement ultérieur

Il s'applique:

$$f = 0.9 * d - e_v < 0.02 * L \quad (5)$$

( $d$  = hauteur statique,  $e_v = 0$  dans le cas de lamelles droites,  $L$  = longueur libre de re-plate entre les ancrages)

$$\Delta L = \frac{4 * f * z}{L} \quad (6)$$

$$\Delta \epsilon_f = \frac{\Delta L}{L} \quad (7)$$

Sur la base de la déformation supplémentaire connue et donc de la contrainte supplémentaire, la force de traction dans re-plate peut être calculée et une force équivalente dans la section transversale peut être dérivée et la capacité portante maximale de la section déterminée à partir de celle-ci. Les principes de conception spécifiques au pays pour les structures en béton (écrasement du béton et rupture en traction de l'armature ou des armatures) avec des propriétés de matériaux adaptées s'appliquent.

## Ancrage

En outre, il peut être nécessaire de vérifier la résistance à l'ancrage de la force de traction supplémentaire dans la re-plate afin de concevoir la sécurité structurale:

$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta\sigma_f) * A_f \leq V_{Rd,s} = \frac{108kN}{1.3} = 83.1kN \quad (8)$$

**Remarque:** pour les géométries structurelles courantes, la résistance de l'ancrage devient le critère décisif pour l'état limite ultime. Une vérification explicite peut être négligée dans la plupart des cas.

La résistance à l'ancrage de 108 kN s'applique à un nombre de 12 clous Hilti X-CR en supposant une rupture par traction re-plate dans la section affaiblie au niveau de la rangée de clous la plus avancée. Les données s'appliquent aux bétons dont la résistance à la compression mesurée est >25 N/mm<sup>2</sup>. Pour les bétons de plus faible résistance, veuillez contacter le département ingénieur de re-fer.

## re-bar

### Stade de construction

De manière standard, re-bar est ancré des deux côtés dans les zones d'ancrage par une couche de mortier sur le support portant et les zones intermédiaires sont précontraintes. L'effet de charge est le même qu'avec re-plate, puisque la zone exposée agit comme une bande de tension externe. La formule (1) peut être appliquée de manière analogue à la section transversale correspondante pour les re-bar.

### État de service

Après l'activation initiale / la précontrainte des re-bar, les zones entre les ancrages sont remplies et une liaison rigide avec la structure porteuse est créée. Pour le calcul, une analyse conventionnelle de la section transversale avec compatibilité des déformations et équilibre des forces dérivées peut être effectuée. Pour l'état limite d'utilisation, la précontrainte initiale  $\sigma_{p,i}$  doit être réduite en raison de la relaxation selon la formule (2).

Pour les calculs de la réduction de la déflexion due à la précontrainte, on peut à nouveau supposer un moment de flexion uniforme (voir formule (3)) afin de résoudre le problème en utilisant l'équation du travail, par exemple.

### État limite ultime

Les mêmes principes d'analyse des sections transversales s'appliquent également au calcul de l'état limite ultime. Selon la situation, re-bar subit maintenant une déformation ou une contrainte supplémentaire, qui s'ajoute à la précontrainte initiale. La variation de la contrainte dans la re-bar est donc composée de la déformation supplémentaire entre le moment de l'application/précontrainte et l'état de rupture ( $\Delta\epsilon_f$ ).

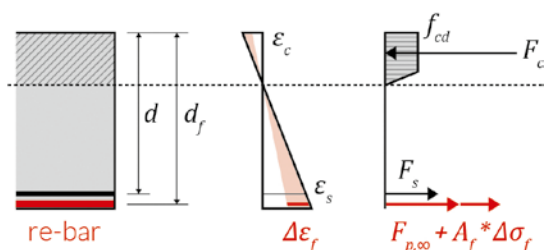


Figure 2: Représentation schématique pour l'analyse des sections transversales de l'état limite de la capacité de charge

L'équilibre des forces est maintenant effectué avec une force équivalente dans re-bar laquelle est composée comme ci-après. Pour simplifier, on peut à nouveau supposer un module d'élasticité réduit  $E_{SMA}$  de 70 GPa.

$$F_{ms,u} = F_{p,\infty} + A_f * \Delta\sigma_f = A_f * (\sigma_{p,\infty} + \Delta\epsilon_f * E_{SMA}) \quad (9)$$

## Ancrage

Les directives de mise en œuvre de re-fer fournissent des valeurs indicatives pour la longueur d'ancrage de re-bar. Les zones d'ancrage dépendent des forces de traction attendues, du diamètre des barres et du type d'application (dans la rainure, comme recouvrement ou dans le béton projeté). En outre, les spécifications standard concernant les valeurs de résistance en traction du matériau cimentaire, de la rugosité, etc. doivent être respectées. Pour une base en béton existante, les mortiers R3 et R4 sont utilisés conformément aux règles d'exécution pour la réparation du béton en Europe. Une résistance à la traction du matériau cimentaire de 1,5 N/mm<sup>2</sup> est recommandée.

En principe, les renforcements à la flexion doivent être ancrés derrière ou au niveau de la ligne des moments nuls. L'introduction de la force de précontrainte dans la base en béton se fait normalement par le biais de la liaison avec le mortier pur. Il est également possible d'utiliser des systèmes de goujons homologués ou des solutions spéciales, comme indiqué à la page 25.

## Remarques

Les caractéristiques des matériaux peuvent être trouvées dans les fiches techniques valides et spécifiques au pays des produits respectifs. Les valeurs utilisées dans les exemples de dimensionnement peuvent s'écarter des paramètres des matériaux valides en raison de l'optimisation des matériaux et doivent être vérifiées en conséquence. En cas d'ambiguïtés ou de situations de dimensionnement particulières, le service technique de re-fer vous aidera avec plaisir. Pour de plus amples informations, veuillez consulter le site [www.re-fer.eu](http://www.re-fer.eu) (références, fiches techniques, règlements d'application et de sécurité, textes pour appels d'offres, rapports d'essais et publications) ou contacter directement notre service technique par téléphone.

## Corrosion

Malgré la bonne résistance à la corrosion de memory<sup>®</sup>-steel, des mesures appropriées doivent être prises pour les applications dans des endroits chargés en chlorures (risque de fissuration par corrosion sous contrainte). Les revêtements en mortier pour re-bar doivent être réévalués et ajustés si nécessaire. Lors de l'utilisation de re-plate, un revêtement spécial est appliqué en usine (SikaCor<sup>®</sup> EG-1). Cela limite la température de chauffage maximale admissible à 165°C et donc la force de précontrainte.

## Protection contre l'incendie

Une protection contre l'incendie pour les mesures de renforcement est toujours nécessaire lorsque la charge d'incendie standard et spécifique au pays ne peut être couverte sans renforcement. A titre d'exemple simple, le tableau ci-dessous montre la comparaison de la sécurité résiduelle pour une structure porteuse avec des niveaux de renforcement «faibles» et «élevés».

Détails de la charge [kN/m <sup>2</sup> ]	Avant le renforcement	Après le renforcement	
		Degré de renforcement «bas» +3.0	Degré de renforcement «élevé» +5.0
Poids propre / charge supplémentaire	5.0	5.0	5.0
Charge utile	3.0	3.0 + 3.0 = 6.0	3.0 + 5.0 = 8.0
Charge de service	<b>8.0</b>	<b>11.0</b>	<b>13.0</b>
Exemple avec facteur de sécurité global	8.0 * 1.5 = 12.0	11.0 * 1.5 = 16.5	13.0 * 1.5 = 19.5
Charge à couvrir	<b>12.0</b>	16.5	19.5
Protection ignifuge Critère : La nouvelle charge utile doit être < 12,0 (charge admissible existante)	-	<b>11.0 &lt; 12.0</b> Non requis	<b>13.0 &gt; 12.0</b> Requis

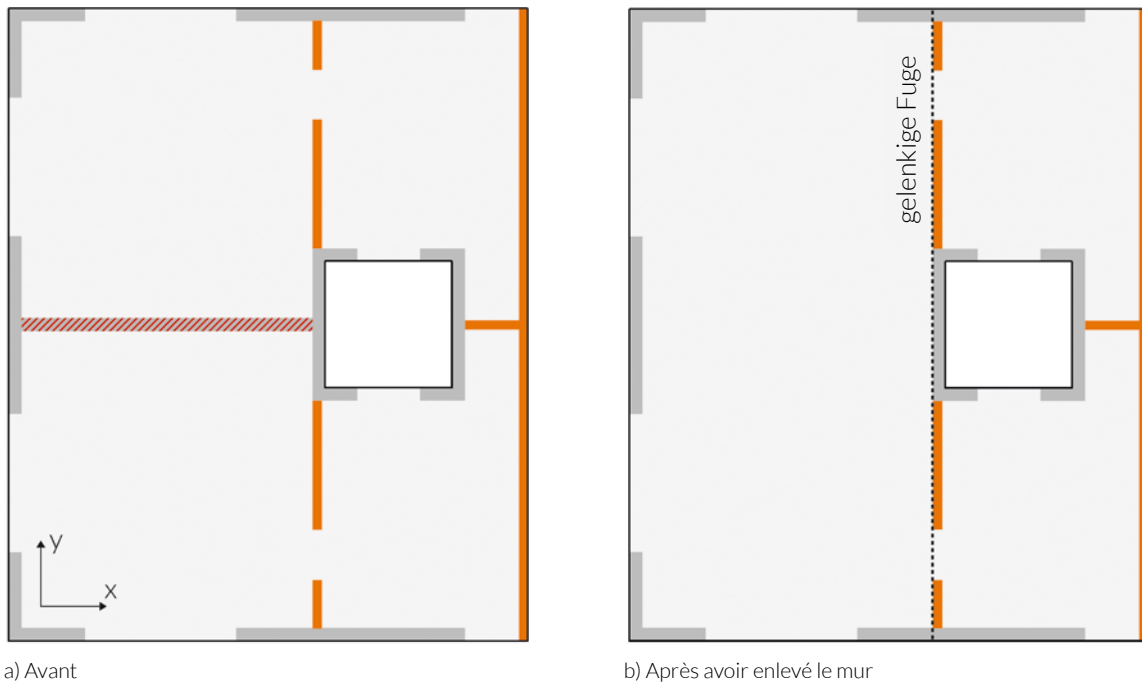
Si un degré de renforcement «élevé» doit être atteint, la mesure de renforcement doit également porter en cas d'incendie ; pour re-plate et /ou re-bar, une mesure de protection contre l'incendie est nécessaire. Pour re-bar placées dans du béton ou du mortier, les mêmes réglementations et normes s'appliquent que pour les armatures en acier traditionnelles. Pour re-plate, on utilise normalement un enduit de protection contre le feu à base de ciment (SikaCem® Pyrocoat).

## Exemples de dimensionnement

### Renforcement simple en flexion avec re-plate

À la demande du maître de l'ouvrage, les murs porteurs (marqués en rouge) doivent être supprimés afin de réunir deux pièces en un grand salon. Cette modification de la structure porteuse crée inévitablement un problème de flexion dans la dalle du plafond. L'exemple ci-dessous montre le renforcement en flexion de la dalle de béton. D'autres vérifications telles que le transfert de la charge aux murs et aux étages inférieurs, les vérifications de la force latérale, le poinçonnement, etc. ne sont pas abordées. De même, le stade de construction n'est pas examiné.

Figure 3: Plan Cubus-Modell



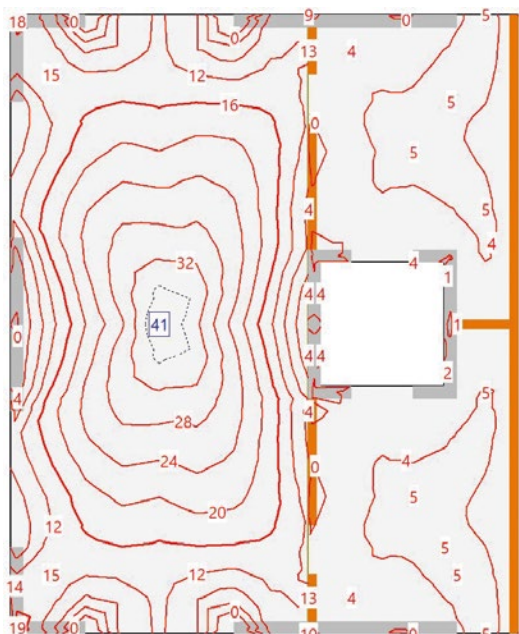
Dans la structure existante, une armature de  $\text{Ø}10@150$  ( $a_s = 524 \text{ mm}^2/\text{m}^1$ ) est placée dans toutes les couches dans les deux directions. La dalle de béton a une épaisseur de  $h_c = 200 \text{ mm}$ , une qualité de béton de C30 / 37 et un enrobage d'armature de 3,0 cm. Une résistance au feu de R30 est requise pour les éléments porteurs.

Avec ces données de dimensionnement, une résistance en flexion de  $m_{Rd} = 36 \text{ kNm}/\text{m}^1$  est atteinte dans la 1ère / 4ème couche (direction x). Dans la 2ème / 3ème couche, la valeur est de  $32 \text{ kNm}/\text{m}^1$ . Avec le nouveau plan d'étage, l'armature existante (4ème couche) commencerait déjà à s'écrouler sous une charge quasi-permanente. Par conséquent, un joint articulé est modélisé dans ces zones pour transférer ce moment en travée (voir la figure 3 b)).

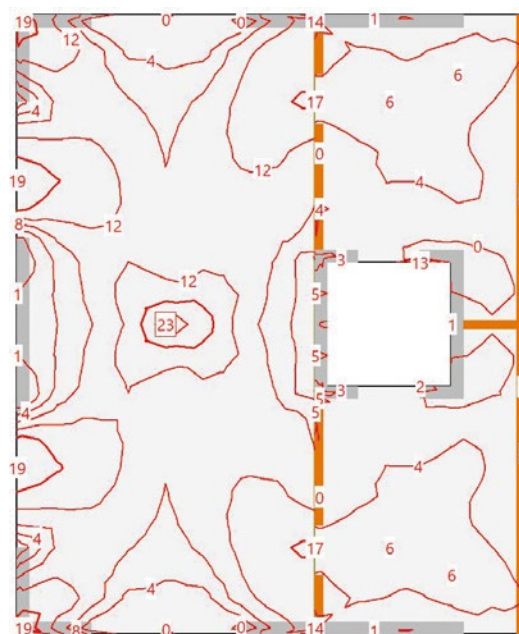
## Preuves au niveau de l'aptitude au service

Sous charges de service, la dalle présente les moments de flexion suivants dans les directions x et y. Au centre du champ, dans la direction principale de la charge, la résistance en flexion de l'armature existante est légèrement dépassée. Ainsi, la mesure de renforcement doit être protégée en cas d'incendie. La procédure est décrite dans la section «Protection contre l'incendie».

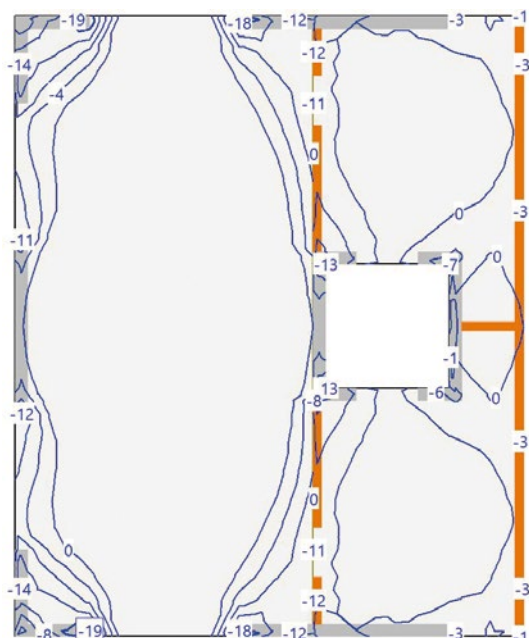
Figure 4: Tracés cubiques des moments de flexion sous charge de service («quasi-permanent»)



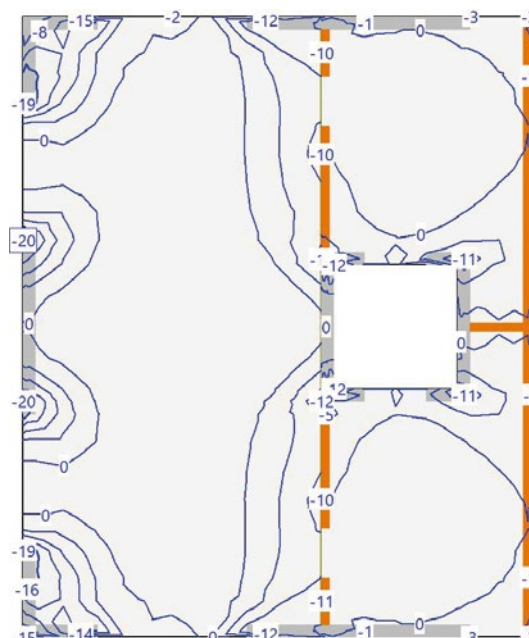
a) direction x vers le bas (1ère couche)



b) direction y vers le bas (2ème couche)



c) direction x vers le haut (4ème couche)



d) direction y vers le haut (3ème couche)

Un autre aspect de l'aptitude au service est la flèche. Dans cet exemple, la section de béton fissurée sous charge de service a une flèche effective de 16,6 mm. La valeur standard est utilisée comme valeur admissible:

$$w_{zul} \leq l/300 = 4'600\text{mm}/300 = 15.3\text{mm}$$

Grâce à la précontrainte, un moment constant peut être appliqué sur la bande d'environ 3,0 m de longueur au milieu du champ. Ici, la formule courante dans la littérature pour un moment constant sur une poutre simple est appliquée. Pour des cas plus particuliers (par exemple, des poutres continues), le dimensionnement peut être effectué en utilisant l'équation de travail.

$$w = \frac{M * l^2}{8 * E_c I}$$

En outre, l'hypothèse simplifiée que toute la section transversale du béton est fissurée peut être appliquée. Cela réduit la valeur  $E_c I$  zu  $E_c I/3$ . La formule effective donne maintenant:

$$w = w_{eff} - w_{zul} = 16.6\text{mm} - 15.3\text{mm} = 1.3\text{mm} \leq \frac{M_{p,GZ} * l^2}{8 * \left(\frac{E_c I}{3}\right)}$$

Cette formule peut être décomposée en fonction de  $n$  (nombre de bandes de re-plate par mètre):

$$w = \frac{M_{p,GZ} * l^2}{8 * \left(\frac{E_c I}{3}\right)} = \frac{(\sigma_{p,i} * 0.85 * A_f * z * n) * l^2}{8 * \left(\frac{E_c * h_c^3 * b}{12 * 3}\right)}$$

$$\rightarrow n = \frac{w * 8 * E_c * h_c^3 * b}{12 * 3 * \sigma_{p,i} * 0.85 * A_f * z * l^2} = \frac{1.3\text{mm} * 8 * 33.6\text{GPa} * (200\text{mm})^3 * 1.0\text{m}}{12 * 3 * 380 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0.85 * 120\text{mm} * 1.5\text{mm} * \frac{200\text{mm}}{2} * (4.6\text{m})^2} = 0.63$$

Il est démontré qu'il faut au moins 0,63 re-plate par mètre linéaire au milieu du champ. Si la vérification de la sécurité structurale n'indique pas une valeur supérieure, des bandes de renforcement doivent être installées à des intervalles d'environ 1,6 m.

### Preuve de la sécurité structurale

La vérification de la sécurité structurale est effectuée à l'aide de la méthode «Calcul avec augmentation de la contrainte dans la re-plate». Les moments de flexion à couvrir sont indiqués ci-dessous:

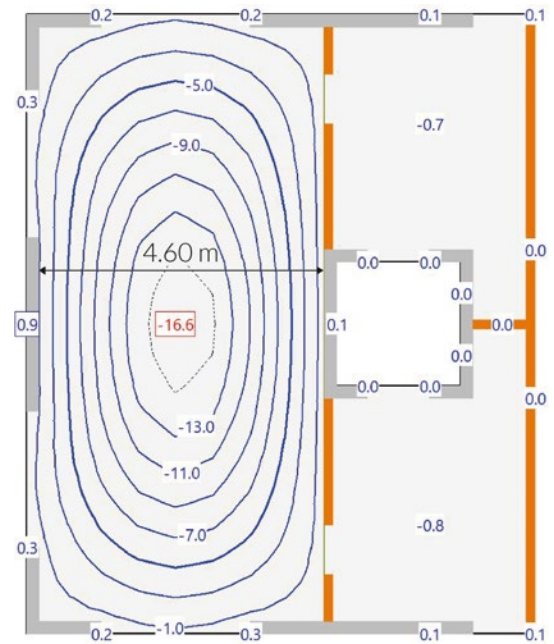
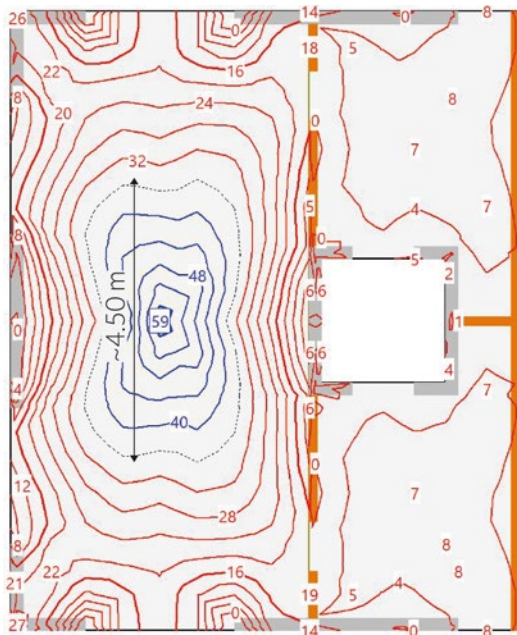


Figure 5: Flèches due aux charges quasi-permanentes



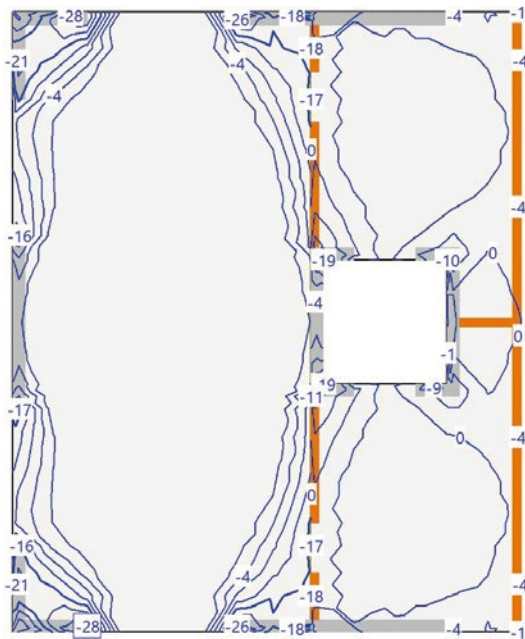
Figure 6: Moments de flexion à l'état limite ultime avec logiciel 'Cubus'



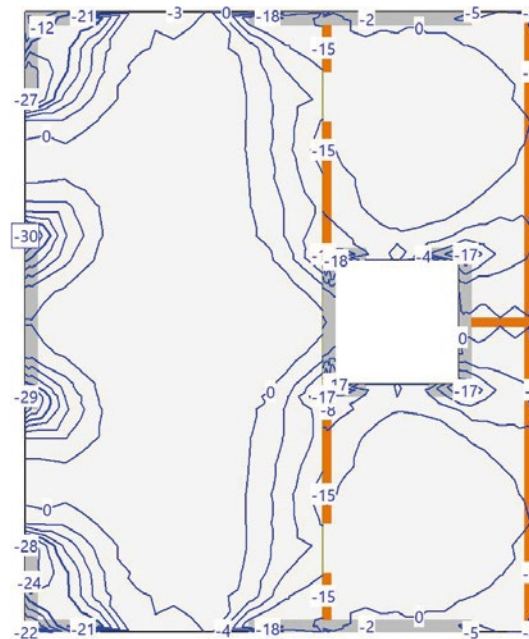
a) direction x en bas (1ère couche)



b) direction y en bas (2ème couche)



c) direction x en haut (4ème couche)



d) direction y en haut (3ème couche)

Pour ce faire, on calcule d'abord l'augmentation de la déformation dans re-plaque. La valeur de  $L$  (longueur libre de re-plaque entre les ancrages) est obtenue en réduisant la longueur des ancrages des deux côtés (40 cm) et une distance de sécurité (10 cm):

$$L = 4.6m - 2 * (40cm + 10cm) = 3.6m$$

$$f = 0.9 * d - e_v = 0.9 * (0.9 * 200mm) - 0 = 162mm < 0.02 * L = 72mm$$

$$\Delta \varepsilon_f = \frac{\Delta L}{L} = \frac{4 * f * z}{L^2} = \frac{4 * 72 \text{ mm} * (0.9 * 200 \text{ mm})}{(3.6 \text{ m})^2} = \mathbf{0.4\%}$$

Le moment de flexion à renforcer est donc absorbé avec la force finale  $F_{ms,u}$  dans  $n$  re-plate re-plate sur un bras de levier intérieur  $z$  d'environ  $0.9 * h_c$ :

$$F_{ms,u} = (\sigma_{p,\infty} + \Delta \sigma) * A_f = (\sigma_{p,i} * 0.85 + \Delta \varepsilon_f * E_{SMA}) * A_f =$$

$$\left( 380 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} * 0.85 + 0.004 * 70 \text{ GPa} \right) * 120 \text{ mm} * 1.5 = 108.5 \text{ kN} < \mathbf{83.1 \text{ kN}}$$

$$M_{p,GZ} = n * F_{ms,u} * z = n * 83.1 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm} \geq 58.6 \text{ kNm} - 36.0 \text{ kNm} = 22.6 \text{ kNm}$$

$$\rightarrow n = \frac{M_{p,GZ}}{F_{ms,u} * z} = \frac{22.6 \text{ kNm}}{83.1 \text{ kN} * 0.9 * 200 \text{ mm}} = \mathbf{1.5}$$

Pour couvrir la sécurité portante, il faut 1,2 bande de re-plate par mètre linéaire dans les zones de surcharge (environ 4,5 m), soit une bande tous les 80 cm (6 bandes au total).

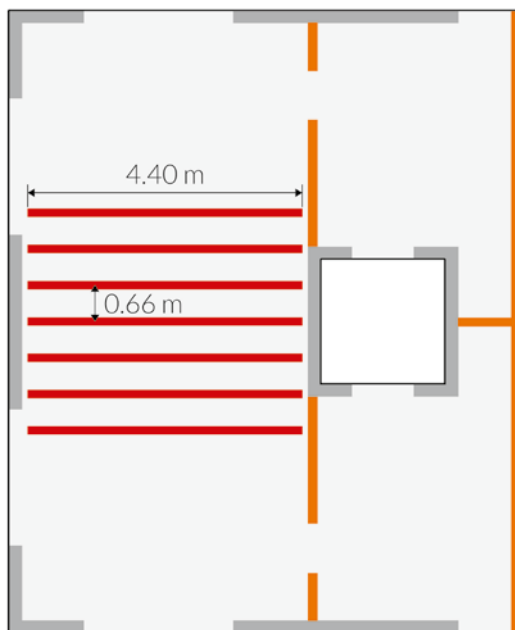


Figure 7: Position des bandes de renforcement re-plate

### Protection contre l'incendie

En cas d'incendie, les effets quasi-permanents doivent être couverts. Comme la capacité de charge en flexion du bâtiment existant n'est pas suffisante pour cela, les mesures de renforcement doivent être protégées pour R30. Pour cette application intérieure, on utilise un enduit au pistolet pour une protection ignifuge à base de ciment. Une couche de 1,5 cm d'épaisseur de SikaCem® Pyrocoat avec un treillis en verre E-Glas incorporé est appliquée sur l'apprêt d'adhérence SikaCem® Pyrocoat Base.

## Renforcement d'une poutre en T avec re-bar

En raison d'un changement d'utilisation et de charges supplémentaires superposées, plusieurs poutres en T d'un hall d'usine doivent être renforcées statiquement. L'exemple de calcul montre comment traiter une flexion inadmissible dans le champ et les renforcements des problèmes de flexion ainsi que d'effort tranchant d'une telle poutre. Les autres vérifications sont omises dans le contexte de cet exemple. Les poutres couvrent deux travées de 12,00 et 8,00 m et sont simplement appuyées.

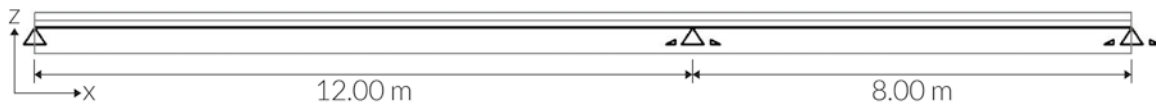
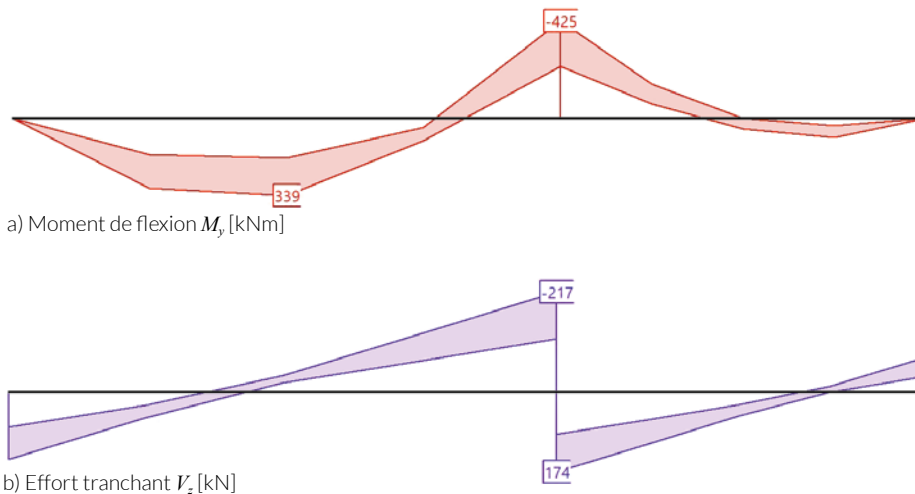


Figure 8: Poutre à deux travées du hall d'usine, modèle Statik-8

Les efforts internes (moments de flexion et efforts tranchants) sont indiqués ci-dessous; Efforts normaux et de torsion ne sont pas présents.

Figure 9: Efforts internes à l'état limite ultime



Les anciennes poutres étaient dimensionnées et renforcées comme le montre la figure 10. Les flèches résultantes de la section transversale en béton fissurée correspondent aux spécifications standard autorisées ( $w_{eff} = 32 \text{ mm} / w_{zul} = 34 \text{ mm}$ ).

En raison des souhaits du maître d'ouvrage, les charges permanentes et utiles doivent maintenant être augmentées. La couche de mortier supplémentaire entraîne également un poids propre plus important. Les efforts internes résultantes pour l'état limite ultime sont les suivantes:

	Efforts internes actuels		Résistances actuelles		Efforts internes nouveaux	
<b>Moments de flexion [kNm]</b>	$M_{Ed}$	+339 -425	$M_{Rd}$	+355 -440	$M_{Ed}$	+449 -550
<b>Efforts tranchants [kN]</b>	$V_{Ed}$	217	$V_{Rd}$	230	$V_{Ed}$	285

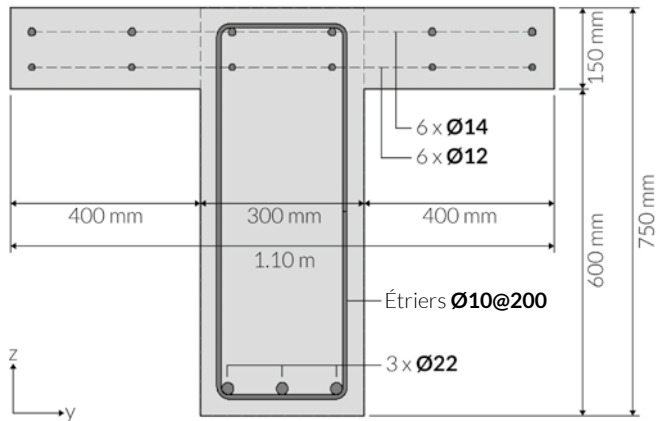
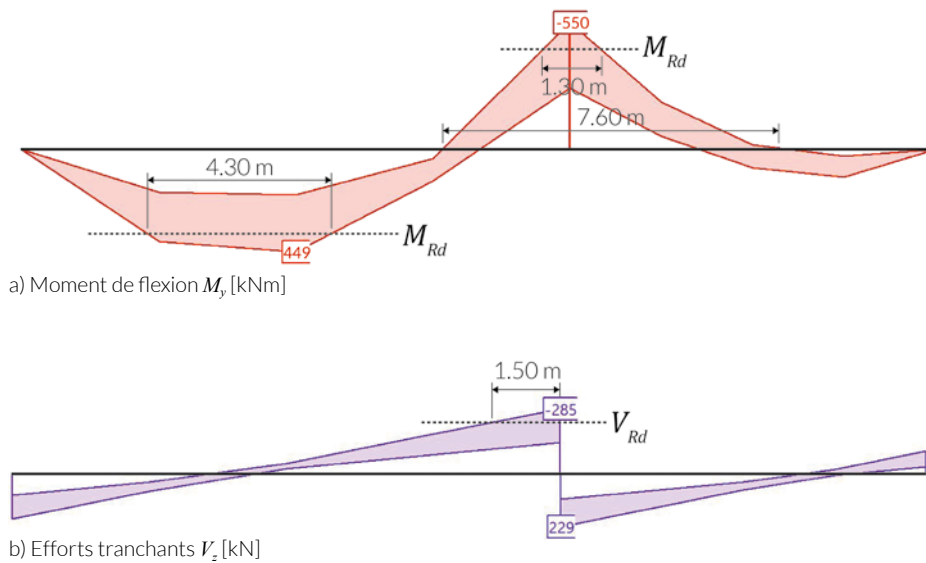


Figure 10: Section transversale des poutres en T

### Preuve de la sécurité structurale

Dans un premier temps, l'état limite ultime est étudié. Les nouveaux efforts internes sont présentés en détail ci-dessous.

Figure 11: Nouveaux efforts internes pour l'état limite



a) Moment de flexion  $M_y$ , [kNm]

b) Efforts tranchants  $V_z$  [kN]

Avec les charges supplémentaires, un problème d'efforts tranchants apparaît dans une zone d'environ 1,5 m de large à côté du support central. La résistance à efforts tranchants insuffisante d'environ 55 kN / est absorbée par des étriers en U de type re-bar 10. Pour simplifier, on suppose que la force de précontrainte pure (aucune augmentation de la contrainte jusqu'à la rupture en efforts tranchants) s'exerce sur les étriers à double section.

$$V_{Rd,s} = \frac{2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{s} * z * \cot(45^\circ) = \frac{2 * 350 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 89.9 mm^2}{0.5 m} * \sim 0.7 m * \cot(45^\circ) = 75 kN / m'$$

Par conséquent, un total de trois étriers en U re-bar 10 à une distance de 50 cm est nécessaire pour renforcer la zone en question. Les étriers sont installés autour de l'âme existante, rendue rugueuse, et sur les renforcements longitudinaux supplémentaires avec re-bar. Ils sont ensuite encastrés dans le mortier projeté et coulés dans la bride (ancrage au-dessus de la ligne zéro). Les étriers re-bar sont

chauffés/activés électriquement par le haut. Les distanceurs sont utilisés pour garantir qu'il n'y a pas de contact avec le reste de l'armature (perte de tension électrique pendant le processus de chauffage).

Dans la travée la plus grande, le nouveau moment de flexion dépasse la résistance précédente d'environ 94 kNm. Sur toute la portée, trois re-bar 16 sont fixées à la face inférieure de l'âme et noyées dans le mortier projeté. Au-dessus du support central, le moment de flexion négatif dépasse la charge admissible d'environ 117 kNm sur une longueur d'environ 1,3m. Dans cette zone, un total de quatre re-bar 10 sont insérées dans le béton frais superposé (attention: ancrage du renforcement derrière la ligne de moment zéro). Les barres de renforcement sont enrobées de mortier dans la zone d'ancrage et chauffées après durcissement, par exemple au chalumeau à gaz. Pour terminer, les zones restantes sont également remplies de mortier.

La vérification en flexion de la nouvelle section transversale a été effectuée à l'aide d'un logiciel de dimensionnement standard. Les nouvelles résistances sont listées dans le tableau ci-dessous.

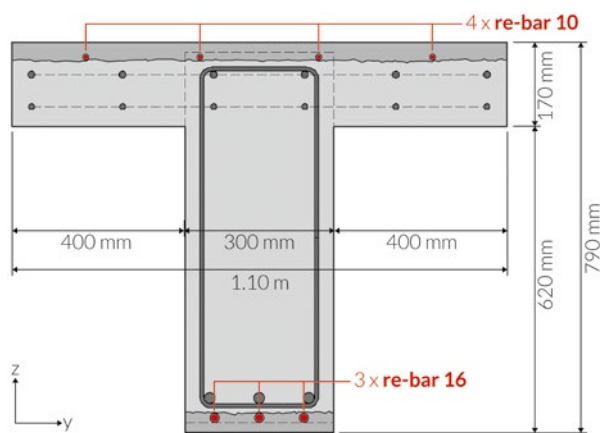


Figure 12: Nouvelle section transversale des poutres en T avec renforcement à la flexion au moyen de re-bar

	Forces de coupe jusqu'ici		Résistances jusqu'ici		Nouvelles forces de coupe		Nouvelles résistances	
<b>Moment de flexion [kNm]</b>	$M_{Ed}$	+339 -425	$M_{Rd}$	+355 -440	$M_{Ed}$	+449 -550	$M_{Rd}$	+569 -553
<b>Forces transversales [kN]</b>	$V_{Ed}$	217	$V_{Rd}$	230	$V_{Ed}$	285	$V_{Rd}$	315

Les paramètres suivants, entre autres, ont été utilisés pour la modélisation.

#### Attributs de l'élément de précontrainte:

- Précontrainte  $\epsilon_0 = 0.57\%$  pour re-bar 10 et  $0.46\%$  pour re-bar 16 (donne une précontrainte calculée de  $E\text{-Modul} \cdot \epsilon_0 = 400 \text{ N/mm}^2$ , respectivement  $320 \text{ N/mm}^2$ )
- Précontrainte avec adhérence
- Perte  $P_\infty/P_0 = 0.85$  (relaxation)

#### Propriétés des matériaux:

- $E\text{-Modul} = 70 \text{ kN/mm}^2$  ( $E\text{-Modul}$  re-bar après activation)
- $f_{p0.1k} = 520 \text{ N/mm}^2$  (Valeur de dimensionnement avec un facteur de sécurité.)
- $\epsilon_{ud} = 30\%$

## Preuves au niveau de l'aptitude au service

En insérant des éléments de renforcement précontraints noyés dans le mortier, les ouvertures de fissures sont limitées et le renforcement existant soulagé. Outre l'amélioration de la durabilité, la flèche est également étudiée dans cet exemple. En raison des nouvelles charges, le déplacement vertical dans la portée principale est calculé à environ 39 mm. Le renforcement en flexion avec trois re-bar 16 implique un moment de flexion constant, qui s'oppose à cette flèche. Le dépassement de 5 mm ( $w_{eff} = 39 \text{ mm} / w_{zul} = 34 \text{ mm}$ ) est à compenser de cette manière.

La déformation impliquée par la précontrainte du système statiquement indéterminé peut être calculée de différentes manières. Ici, l'équation de travail pour le système statiquement indéterminé est appliquée. Une articulation est introduite comme système de base (SF) au niveau du support intermédiaire. Pour des raisons de simplicité, la précontrainte dans la zone de flexion négative n'est pas prise en compte ; elle aurait un effet positif supplémentaire.

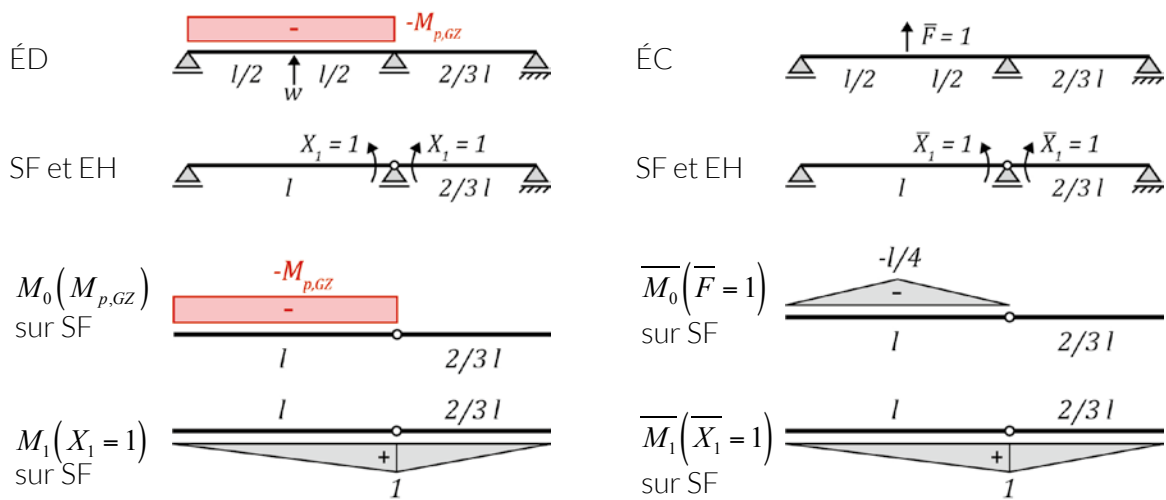


Figure 13: Simplification et réduction du système statiquement indéterminé et de l'équation de travail

$$\delta_{10} = \int M_1 * \frac{M_0}{E_c I} dx = \frac{1}{2} * (+1) * (-M_{p,GZ}) * \frac{l}{E_c I} + 0 = -\frac{M_{p,GZ} * l}{2 * E_c I}$$

$$\delta_{11} = \int M_1 * \frac{M_1}{E_c I} dx = \frac{1}{3} * (+1)^2 * \left(1 + \frac{2}{3}\right) l = \frac{5 * l}{9 * E_c I}$$

$$\delta_{10} + X_1 * \delta_{11} = 0 \rightarrow X_1 = -\frac{\delta_{10}}{\delta_{11}} = \frac{9}{10} M_{p,GZ}$$

A partir de là, la déformation  $w$  peut être dérivée comme suit:

$$w = \int \overline{M}_0 * \frac{M_0}{E_c I} dx + X_1 * \int \overline{M}_0 * \frac{M_1}{E_c I} dx = \frac{1}{2} * \left(-\frac{l}{4}\right) * (-M_{p,GZ}) * \frac{l}{E_c I} + \left(\frac{9}{10} M_{p,GZ}\right) * \frac{1}{4} * \left(-\frac{l}{4}\right) * (+1) * \frac{l}{E_c I} =$$

$$\frac{M_{p,GZ} * l^2}{E_c I} * \left(\frac{1}{8} - \frac{9}{160}\right) = \frac{11 * M_{p,GZ} * l^2}{160 * E_c I}$$

Le moment de flexion constant  $M_{p,GZ}$  sur la portée de 12,00 m est donné par la formule (3):

$$M_{p,GZ} = F_{p,\infty} * z = \sigma_{p,\infty} * A_f * z = 3 * 320 \frac{N}{mm^2} * 0.85 * 211.2 mm^2 * \sim 0.66 m = 114 kNm$$

En outre, une réduction de la rigidité en flexion de la section transversale du béton est appliquée ( $E_c I_{gis. sen} = E_c I / 3$ ) et inséré dans la formule.

$$w = \frac{11 * M_{p,GZ} * l^2}{160 * \left( \frac{E_c I}{3} \right)} = \frac{11 * 114 kNm * (12.00 m)^2}{160 * \frac{647'000 kNm^2}{3}} = 5.2 mm$$

Les trois re-bar insérées pour augmenter la capacité portante à l'état limite ultime contribuent donc à une réduction de la flèche d'environ 5 mm. La vérification est considérée comme remplie.

### Vérification des zones d'ancrage

Les résistances à la flexion négative et positive ont été déterminées à l'aide d'une analyse de la section transversale de 'Fagus', dans laquelle aucune augmentation de la contrainte n'est calculée après la précontrainte. Pour le contrôle des mesures de renforcement, la précontrainte initiale doit donc être ancrée. Pour le renforcement en flexion négative, re-bar 10 est utilisée. La longueur d'ancrage  $l_b$  est de 50 cm et une précontrainte de 400 N/mm<sup>2</sup> a été activée. Il en résulte le calcul suivant pour la largeur requise de la zone de contact berf par re-bar:

$$F_{p,i}(\text{negativ}) = 4 * \sigma_{p,i} * A_f = 4 * 520 \frac{N}{mm^2} * 89.9 mm^2 = 187 kN$$

$$F_{p,i} \leq \frac{l_b * 1.10 m * 1.5 \frac{N}{mm^2}}{1.5} \rightarrow l_b = 170 mm$$

Comme le renforcement est placé dans une couche de béton sur toute la surface, la surface de contact requise pour chaque re-bar est respectée. La vérification est considérée comme remplie.

Dans le cas d'un renforcement positif de la flexion, trois pièces de re-bar 16 doivent être fixées sur la face inférieure de l'âme (largeur 30 cm).

$$F_{p,i}(\text{positiv}) = 3 * \sigma_{p,i} * A_f = 3 * 520 \frac{N}{mm^2} * 211.2 mm^2 = 329.5 kN$$

$$F_{p,i} \leq \frac{l_b * 300 mm * 1.5 \frac{N}{mm^2}}{1.5} \rightarrow l_b = 1'098 mm$$

Cette valeur est respectée avec la largeur de bande existante entièrement encastrée dans le mortier. Dans d'autres cas, cela ne peut pas toujours être garanti et une solution spéciale doit être appliquée. Toutefois, nous montrons ici, à titre d'exemple, l'effet positif d'une compression verticale à l'aide d'étriers re-bar. La résistance de l'ancrage (1,5 N/mm<sup>2</sup> dans l'exemple) augmente comme suit grâce à la double force verticale de l'étrier en U précontraint.

$$F_{p,i} = 329.5kN \leq \frac{l_b * b * \left( 1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{3 * 2 * \sigma_{p,\infty} * A_f}{l_b * b} \right)}{1.5}$$

$$\frac{l_b * 300mm * \left( 1.5 \frac{N}{mm^2} + \frac{3 * 2 * 0.85 * 350N / mm^2 * 89.9mm^2}{l_b * 300mm} \right)}{1.5} \rightarrow l_b = 742mm$$

Pour l'appui de gauche A, trois étriers en U de type re-bar 10 sont utilisés de manière analogue à l'armature pour l'effort tranchant pour l'appui central B. La zone d'ancrage est scellée sur une longueur de 750 mm.

### Dessin schématique du renforcement

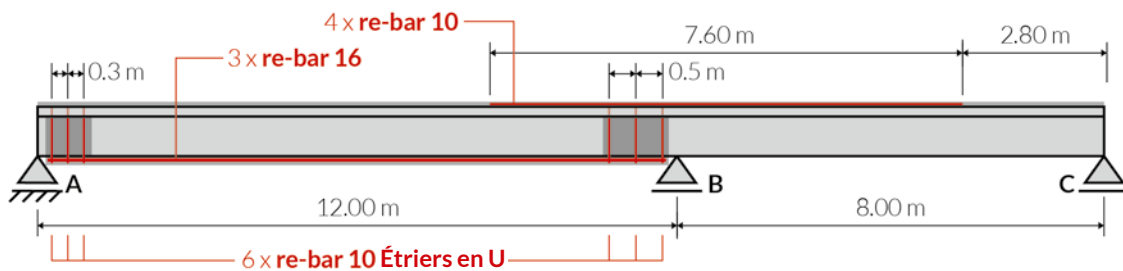


Figure 14: Schéma des travaux de renforcement avec re-bar armature longitudinale et étrier.

Les zones d'ancrages de re-bar peuvent également être optimisées avec des étriers conventionnels B500B.

**Des exemples de dimensionnement actuels et un module de dimensionnement peuvent être consultés sous [www.re-fer.eu/fr/dimensionnement](http://www.re-fer.eu/fr/dimensionnement)**

### Références

[1] Bruggeling, A.S.G., Voorspanning zonder aanhechting, enkelstrengsystemen. 1976, TU Delft: Delft, The Netherlands



# Notre recherche au niveau mondial

## Partenaires de recherche

Suisse



Belgique



Allemagne



Austrice



Tchéque



Grèce



Espagne



Texas USA



Nevada USA



Calgary Canada



Melbourne Australie



Cheongju Corée du Sud



Shanghai Chine



Téhéran Iran



Publications, articles techniques,  
conférences et rapports d'essais  
en relation avec memory®-steel



[www.re-fer.eu](http://www.re-fer.eu)

# Téléchargements & brevets

Les derniers documents valides sont toujours disponibles sur le site web de re-fer ([www.re-fer.eu/fr](http://www.re-fer.eu/fr)). Dans la zone de téléchargement, vous trouverez des textes de soumissions pour appels d'offre, des fiches techniques de produits et d'autres documents

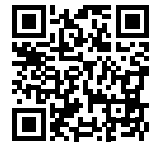
## Textes de soumissions pour appels d'offre

1. a) re-plate 120/1.5 Bande en acier pour le renforcement à la flexion ou à la traction ancrée mécaniquement dans le béton. (pour les charges de service, capacité portante et contre l'incendie)  
b) Lamelles en PRFC Sika®CarboDur® pour le renforcement en flexion (pour capacité portante)
2. Renforcement de la résistance en flexion ou en traction avec re-bar 10/16 dans un mortier de reprofilage, un mortier projeté ou un mortier de scellement
3. Renforcement de la résistance à la flexion ou en traction avec re-bar 10/16 dans la rainure avec un grout
4. Renforcement vis-à-vis de l'effort tranchant avec re-bar 10 Profilés en U / Ancrage d'extrémité de re-bar
5. Renforcement de la résistance en flexion ou en traction avec dans le domaine de la construction de tunnels dans le béton projeté
6. Renforcement de la résistance en flexion dans le béton nouveau «sous-tirant renforcé caché»
7. re-bar R18 acier rond Renforcement de la résistance en flexion ou en traction sur les constructions en acier

## Fiche technique

- re-plate «Bande de traction externe »
- re-bar «précontrainte interne»
- re-bar R18 «barre de traction externe »

Téléchargement direct  
[www.re-fer.eu/fr/telechargements](http://www.re-fer.eu/fr/telechargements)



## Brevets

Les procédés de précontrainte memory®-steel ont été brevetés par re-fer sur des marchés cibles importants.

## Formation memory<sup>®</sup>-steel pour concepteurs et ingénieurs

Nos ingénieurs re-fer proposent des cours de formation pour memory<sup>®</sup>-steel (en ligne ou visite personnelle) sur différents sujets:

### Dimensionnement statique Soumission Exécution

La formation par vidéoconférence dure de 30 à 45 minutes, selon vos souhaits, et est possible à tout moment. Veuillez nous contacter par e-mail ou en utilisant le formulaire de contact sur notre site web. Les conseils sont possibles en allemand, français et anglais.

Nous serons également heureux de vous aider par téléphone pour répondre aux questions détaillées pour un objet spécifique.

Nous nous réjouissons de votre prise de contact.



Dr. Julien Michels  
jmichels@re-fer.eu

A red handwritten signature of Dr. Julien Michels, consisting of a stylized 'J' and 'M'.



Daniel Schmidig  
dschmidig@re-fer.eu

A red handwritten signature of Daniel Schmidig, featuring a stylized 'D' and 'S'.



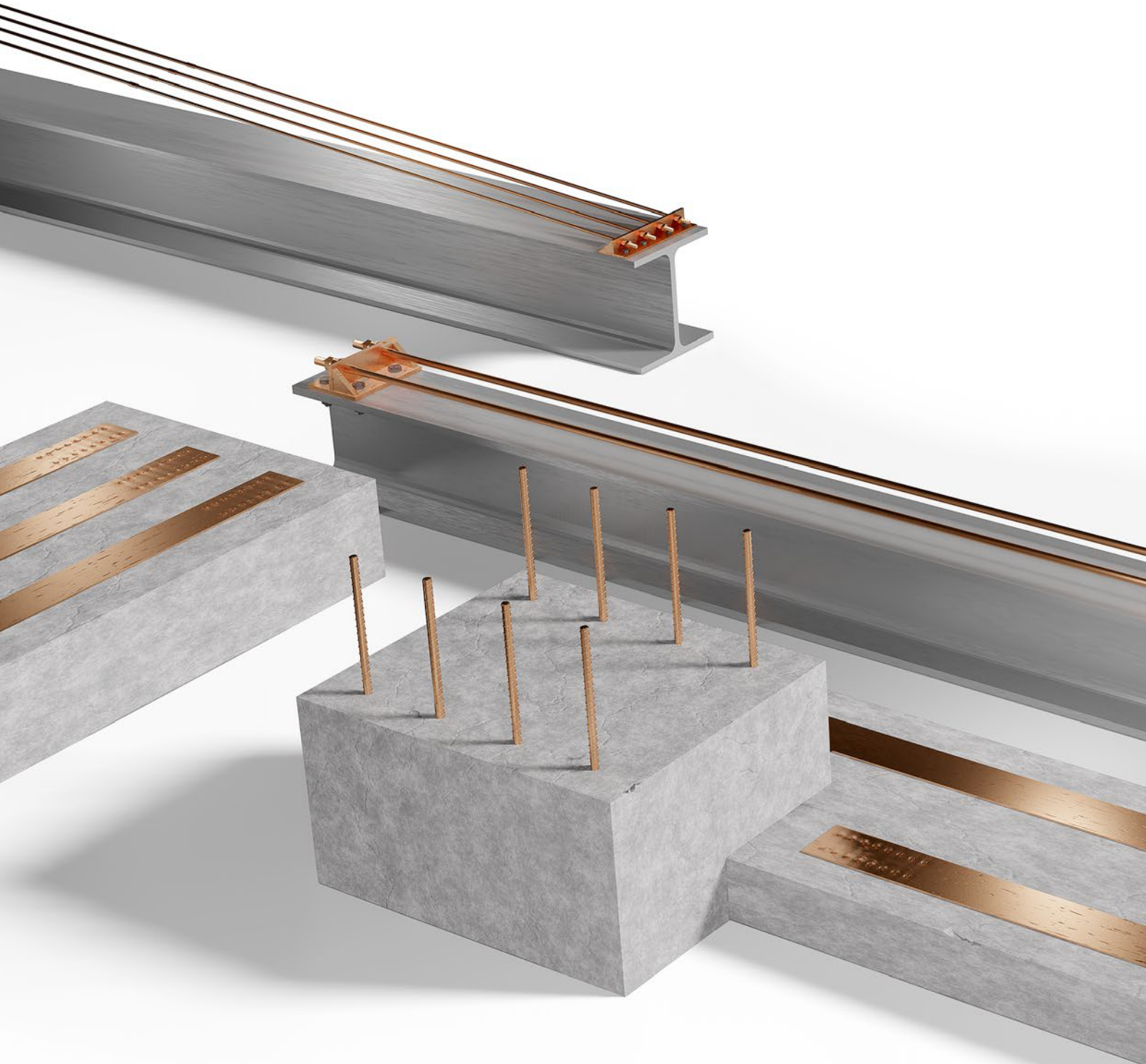
Dr. Bernhard Schranz  
bschranz@re-fer.eu

A red handwritten signature of Dr. Bernhard Schranz, written in a cursive style.



strengthening solutions

A TRUSTED  
PARTNER OF



**Siège principal Suisse**

**re-fer AG**

Riedmattli 9

CH-6423 Seewen

Phone +41 41 818 66 66

info@re-fer.eu  
www.re-fer.eu

