



**Solutions pour la réparation et le renforcement
des constructions existantes en maçonneries non
armées dans les zones sismiques en France**

Rue de Livourne – Livornostraat 13-15
1060 Brussel-Bruxelles Belgium
T+32(0)2 543 14 80 F+32(0)2 539 29 39
www.mtech-pat.com

**SOLUTIONS POUR LA REPARATION ET LE RENFORCEMENT DES
CONSTRUCTIONS EXISTANTES EN MACONNERIES NON ARMEES DANS LES
ZONES SISMIQUES EN FRANCE**

TABLE DES MATIERES

1- GENERALITES ET PHILOSOPHIE :

1.1 Domaines d'application

1.2 Comportement sismique des constructions

1.3 Evaluation de la faisabilité de la mise en conformité

2 – INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES :

2.1 Général

2.2 Géométrie

2.3 Détails

2.4 Matériaux

3- ANALYSE ET JUSTIFICATION :

4- RENFORCEMENT ET MISE EN CONFORMITE DE LA CONSTRUCTION

4.1 Consolidation de la maçonnerie

4.2 Réparation des fissures

4.3 Réparation et renforcement d'intersections de murs

4.4 Renforcement par barres précontraintes

4.5 Ajout de murs de contreventement

4.6 Renforcement et raidissement des diaphragmes horizontaux :

4.6.1 Fonction de diaphragme :

4.6.1.1 dalles en béton ou mixtes de type poutres /hourdis :

4.6.1.2 planchers en bois :

4.6.2 Fonction de liaison

4.7 Chaînage :

4.7.1 Maçonneries chaînées

4.7.2 Liaisons entre chaînages

4.8 Fondations

4.9 Eléments non structurels

5- LIMITES D'APPLICATION

6- BIBLIOGRAPHIE

7- ANNEXES

1- GENERALITES ET PHILOSOPHIE :

1.1 Domaines d'application:

Cette note concerne principalement deux types de structures représentatifs du bâti résidentiel en France (voir ref 20 dans la Bibliographie) , à savoir :

- les structures à portiques avec remplissage en maçonnerie ;
- les structures à voiles en béton ou à murs en maçonnerie (chaînée ou pas).

Les matériaux utilisés pour ces murs dépendent des traditions en vigueur dans les régions concernées et vont de la brique (pleine ou creuse) à la pierre naturelle en passant par le bloc béton cellulaire.

Les planchers et toitures sont , soit constitués de poutres en bois , soit de matériaux formant un diaphragme rigide .

La combinaison de ces éléments a permis au CSTB de définir une typologie qui sera la base pour définir le domaine d'application de cette présentation (§4.2.6 ref 20).

Une autre catégorie de bâtiments concernée est composée des constructions historiques pour lesquels les interventions doivent entrer dans les critères de conservation du patrimoine .

1.2 Comportement sismique des constructions:

Le modèle de calcul , généralement adopté dans la plupart des codes , considère les éléments porteurs verticaux moins rigides que les diaphragmes horizontaux (planchers) comme des porte-à-faux soumis à des forces latérales horizontales .

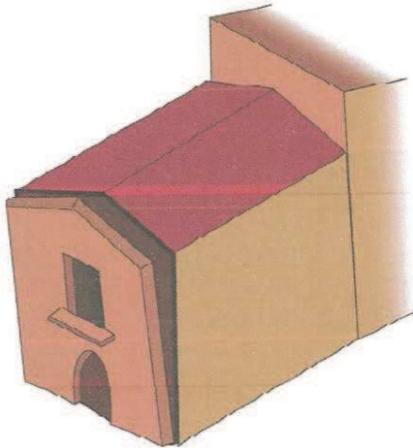
Les diaphragmes sont soumis à des forces importantes dues au mouvement des murs dans le cas où des modes de torsion peuvent se développer (asymétrie des éléments porteurs par exemple).

Le comportement d'un édifice lors de secousses sismiques dépend donc non seulement de la stabilité d'éléments individuels structurels ou non mais aussi de la mobilisation globale de toute sa structure : planchers , toitures et murs qui fonctionne alors comme un ensemble pour résister à ces sollicitations horizontales et à la torsion engendrée par le séisme .

Certaines sollicitations génèrent des efforts hors plan dans les connections entre planchers et murs .

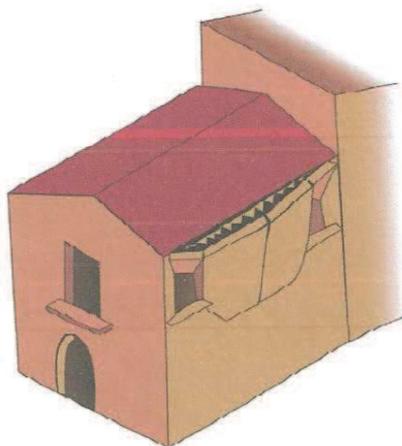
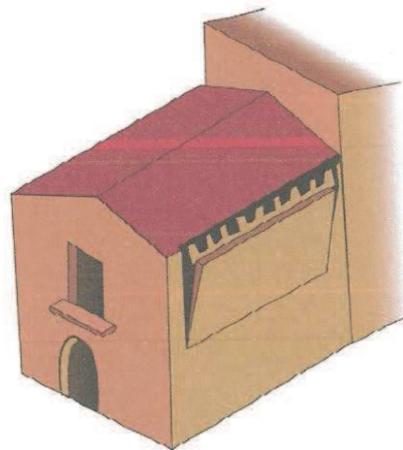
Les dégâts observés le plus couramment résultent :

- d'effondrements de murs en maçonnerie , soumis à des forces hors plan, du fait de l'absence de liaisons plancher/murs et murs entre eux et de rigidité des planchers ou toitures ;

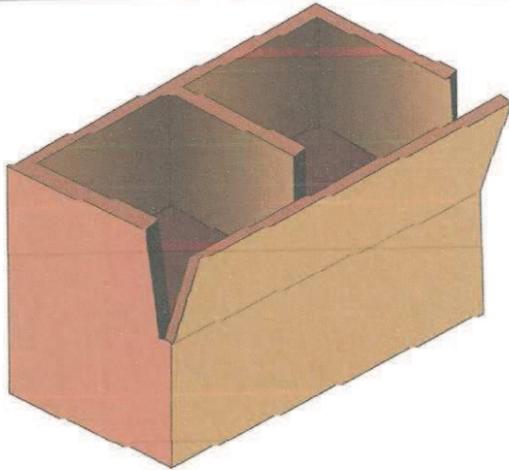


Désolidarisation
du pignon

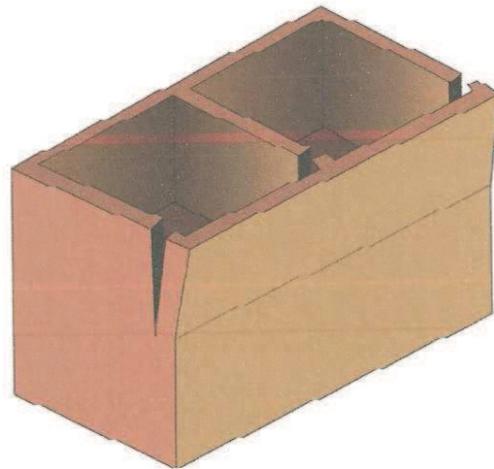
Rupture hors plan du mur
due à la poussée de la toiture



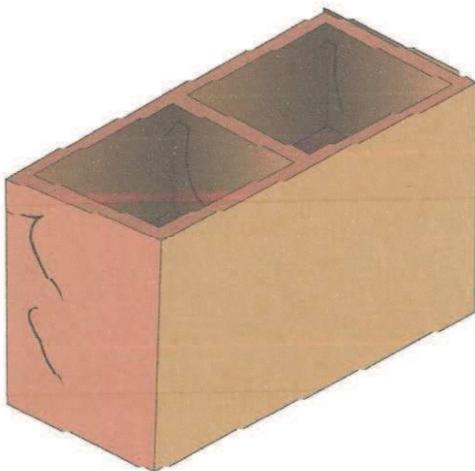
Rupture hors plan du mur
entre 2 ouvertures due à la
poussée de la toiture

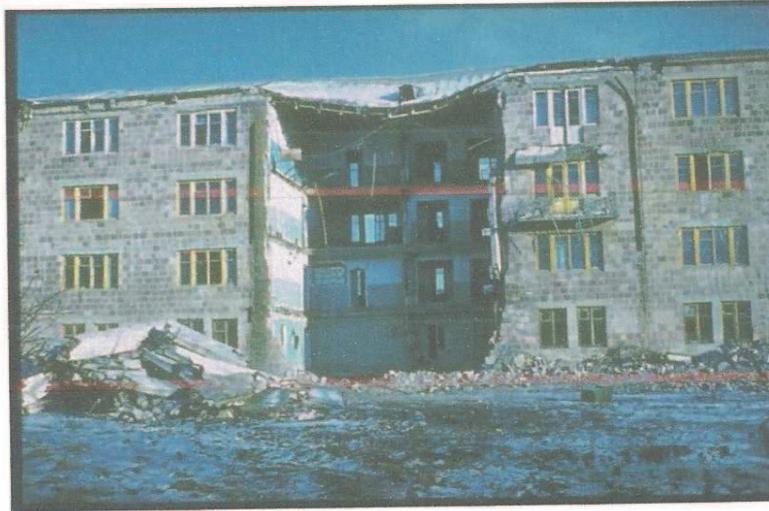


Déversement du mur
extérieur avec
désolidarisation
des maçonneries



Fissuration due à la
flexion et au cisaillement
dans les maçonneries parallèles
à l'action sismique





Effondrement façade en maçonnerie portante – Spitak (Arménie) -1988

- de la rupture d'éléments porteurs verticaux sollicités au delà de leurs résistance du fait l'absence de contreventement (faible rigidité dans la direction horizontale) ;



Portique endommagé du fait de l'absence de structure de contreventement – Wenchuan (Chine) 2008



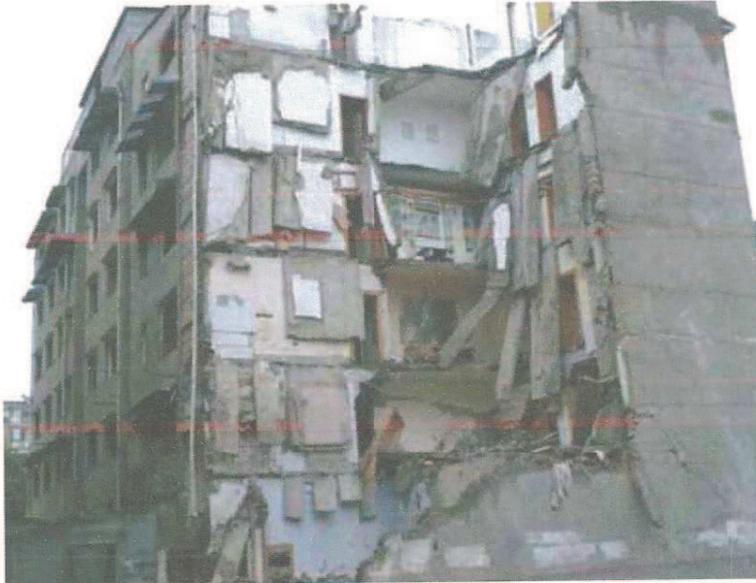
Effondrement du bâtiment du fait de l'absence de contreventement
au rez-de-chaussée – Kobe (Japon) 1995

- de la rupture des nœuds poutres – colonnes du fait de la poussée de bielles se
formant dans les maçonneries de remplissage ou du mauvais ferrailage de la
connexion ;



Rupture tête de colonne due à poussée de la maçonnerie
Wenchuan (Chine) 2008

- d'effondrement de structures préfabriquées suite à la mauvaise conception des joints ;



Effondrement des panneaux préfabriqués (murs et planchers)
Wenchuan (Chine) 2008

- d'effondrement d'éléments non structurels (parapet , garde corps en toiture , etc.....) ;



Dommmages dans une classe – Californie 1983

De nombreux ouvrages proposent des solutions pour de nouvelles constructions en maçonnerie dans le but de leur assurer un comportement monolithique. Le traitement de constructions existantes est plus délicat .

L'objectif de cet article est de proposer des systèmes de renforcement basés sur la gamme de produits Mtech Patrimonium .

Les fiches produits présentées dans ce rapport ne sont que des exemples des combinaisons d'ancrages et de pieux possibles .

1.3 Evaluation de la faisabilité de la mise en conformité:

En France , le décret du 14 mai 1991 détermine la classe du bâtiment :

- D : regroupe les bâtiments , les équipements et les installations dont le fonctionnement est primordial pour la sécurité civile, la défense ou le maintien de l'ordre public ;
- C et B : bâtiments ayant une importance socio-économique ,dont la défaillance présente un risque élevé ou moyen pour les personnes et leur activité ;
- A : risques minimales pour les personnes ou l'activité économique ;
-

et par conséquent le niveau d'analyse du risque sismique requis : étude de la vulnérabilité et nécessité de réhabilitation.

Par définition le terme « réparation /réhabilitation » se réfère à la réparation des dégâts sur un bâtiment après une secousse sismique , sans amélioration de sa résistance. « Renforcement » inclut toute intervention sur son système structurel ayant pour objectif l'amélioration de sa résistance sismique . C'est ce dernier cas qui intéresse la France.

L'évaluation des critères de renforcement se fera en tenant compte des éléments essentiels suivants :

- | | |
|--------------|---|
| Objectifs : | Mise en conformité et amélioration du comportement sismique de la construction : limiter l'action sismique sur la construction , augmenter la capacité portante des éléments structurels ou favoriser la dissipativité en tolérant des déformations sans effondrement
Maintien en service du bâtiment (classe D) |
| Limites : | Ressources économiques
Définition des critères de cette mise en conformité
Caractères typologique et historique de la construction |
| Paramètres : | Dommages diagnostiqués et cognitifs des éléments structurels ou non
Fiabilité des méthodes de calcul et de vérification
Techniques d'intervention
Utilisation des matériaux
Compatibilité et réversibilité de l'intervention
Coûts des travaux
Simplicité des phases d'exécution et leurs durées
Organisation des phases d'adjudication et du contrôle des travaux |

2 – INVESTIGATIONS PRELIMINAIRES :

La restauration de bâtiments existants passe par le rassemblement dans une première phase d'un maximum de données sur la construction : visites , études des plans et essais ...

L'Eurocode 8 définit trois niveaux de connaissance de l'état de la construction dont dépendent des coefficients de sécurité qui peuvent alourdir fortement les mesures à prendre dans la restauration .

MTech patrimonium propose , en collaboration avec les auteurs de projet , une investigation complète des données : analyse des documents , visites , essais..... dont les étapes sont reprises ci-dessous en référence à l'EC8 et qui donnera lieu à un rapport complet : fiche de relevé (voir Zacek) . L'ampleur de ces investigations dépend bien sûr du caractère de la construction et diffèrera selon la taille du bâtiment , son utilisation , son caractère patrimonial et l'activité sismique dans la zone où il se situe. Ainsi la liste reprise ci-dessous tente d'être la plus exhaustive mais sera adaptée dans chaque cas.

2.1 Général :

Les aspects suivants doivent être soigneusement analysés :

- 1/- le type de construction (murs porteurs en argile , blocs béton évidés , briques , moellons , pierre , ossature en béton avec remplissage en maçonnerie...) ;
- 2/- les conditions physiques des éléments de structure et la présence de désordres ;
- 3/- la configuration des éléments en maçonnerie et leurs liaisons , de même que la continuité du transfert des charges entre éléments résistant latéralement ;
- 4/- les propriétés des matériaux constituant les maçonneries et leurs joints et connections ;
- 5/- la présence et la qualité des revêtements , la présence d'éléments non structurels , la distance entre les cloisons ;
- 6/- la mitoyenneté avec d'autres bâtiments interagissant avec le bâtiment considéré ;
- 7/- les caractéristiques géotechniques du sol sous-jacent .

2.2 Géométrie :

Les données recueillies doivent inclure :

- 1/- les dimensions des murs de contreventement , y compris leurs hauteurs , longueurs et épaisseurs ;
- 2/- les dimensions des maçonneries ;
- 3/- l'emplacement et les dimensions des ouvertures (portes et fenêtres) ;
- 4/- la descente de charges sur les murs porteurs et leur transfert aux fondations ;
- 5/- les types de fondations , leur dimensions et localisation.

2.3 Détails :

Les données recueillies doivent inclure :

- 1/- la classification des murs en non armés , confinés ou armés ;
- 2/- la présence et la qualité du mortier , la qualité des joints : résistance ,érosion et dureté , l'identification des fissures (horizontales ou verticales dans les joints ou obliques au voisinage des ouvertures) , vides , éléments plus fragiles et de l'état éventuel de dégradation du mortier ;
- 3/- l'état des connections entre murs verticaux et entre murs et planchers ou toitures ;
- 4/- pour les murs ventilés le nombre de murs et de liaisons entre eux ainsi que la distance les séparant ; pour les murs à « fouilles » (blocaille) , l'état des parements , des remplissages et leurs épaisseurs ;
- 5/- vérification des hors plomb éventuels des murs , cheminées ou garde corps.

2.4 Matériaux :

Des tests non destructifs peuvent être faits pour quantifier et confirmer l'uniformité de la qualité de la construction ou son degré de détérioration :

- 1/- vitesse des pulsations mécaniques ou ultrasoniques pour détecter les variations de densité et de modules des matériaux et afin de détecter fissures ou discontinuités ;
- 2/- échographie d'impact pour confirmer l'injection des murs armés ;
- 3/- radiographie si nécessaire pour confirmer l'emplacement des armatures ;

D'autres tests peuvent être réalisés pour confirmer les propriétés des matériaux et l'état des maçonneries .

3- ANALYSE ET JUSTIFICATION :

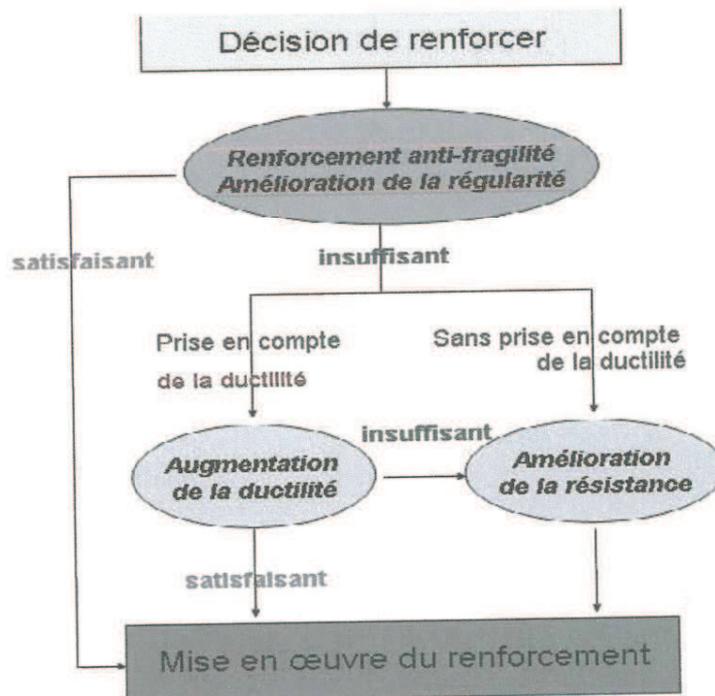
L'EC8 définit un certain nombre de méthodes de vérifications des états limites : linéaire ou non linéaire (EC 8 Annexe #C.3) mais détermine des méthodes d'évaluation simples valables pour les états de « Dommages significatifs » ou « Proche de l'effondrement ».

En France , dans le cas de constructions existantes , il est généralement admis de viser ce dernier état compte tenu de la périodicité des séismes endommageant et du coût du renforcement du bâtiment , l'objectif étant de préserver les vies humaines .

Les justifications seront faites par des bureaux d'études et donneront lieu à une liste d'interventions éventuelles d'ajout et de renforcement sur la structure du bâtiment.

4- RENFORCEMENT ET MISE EN CONFORMITE DE LA CONSTRUCTION

Suite à l'analyse une stratégie est adoptée pour le renforcement parasismique de la construction en fonction des objectifs techniques fixés :



N.B.: Chaque étape est cumulative le long d'un chemin (stratégie)

Les mesures qui nous intéressent dans cette note sont celles améliorant la résistance des constructions en maçonnerie ou mixtes (maçonneries /béton ou bois /maçonneries) . Elles peuvent être classées en quatre catégories suivant le but à atteindre :

- renforcement , réparation et consolidation des murs de maçonnerie, structurels ou non,
- création de liaisons horizontales et verticales entre murs de contreventement, ancrage et raidissement des planchers et toitures,
- création d'un nouveau système de contreventement ,
- renforcement et liaisonnement des fondations et traitement du sol sous-jacent .

Elles sont basées sur les principes suivants :

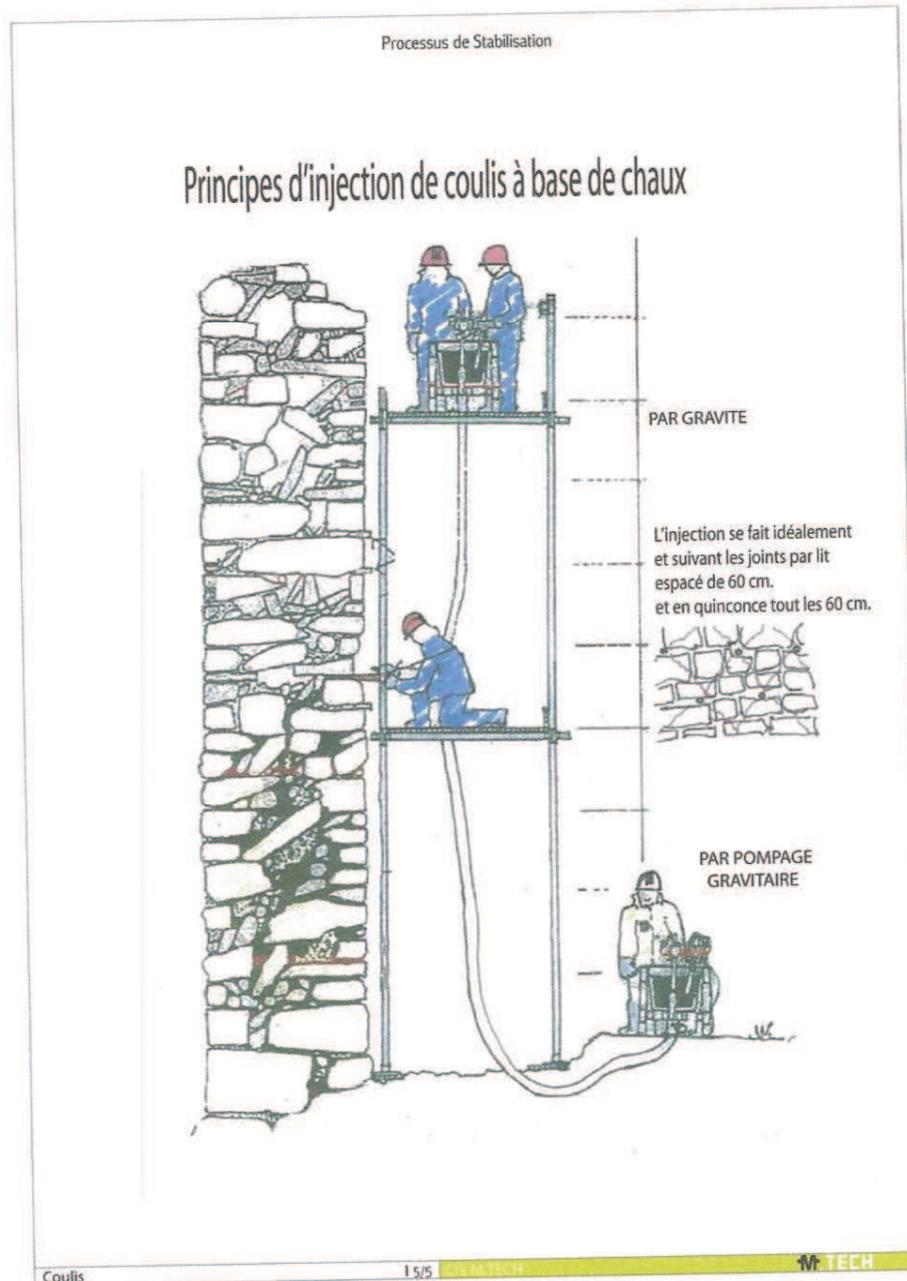
- le murs porteurs doivent être uniformément distribués dans les deux directions horizontales et de dimensions suffisantes pour résister aux effets sismiques ;
- les murs doivent être connectés entre eux et aux planchers qui doivent jouer leur rôle de diaphragmes , dans le but d'éviter tout mouvement hors plan de ces murs;
- les fondations doivent être conçues pour transférer les charges supplémentaires sur la superstructure au sol ;
- les éléments non structurels doivent être sécurisés pour empêcher leur effondrement.

4.1 Consolidation de la maçonnerie

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.1.1

**CONSOLIDATION DE LA MAÇONNERIE PAR
INJECTION DE COULIS**



Domaine de renforcement

Local

Ensemble du bâtiment

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des murs en maçonnerie ayant un rôle structurel (porteur ou de contreventement) ou pouvant entraîner un danger de part leur effondrement et dont l'état est douteux : présence de vides , mauvais état des joints , mauvaise qualité des matériaux....

Caractéristiques mécaniques visées

Augmentation de la résistance en compression et au cisaillement par suppression des vides dans la maçonnerie

Objectifs

Tout renforcement ou réparation de maçonneries dépend d'abord et avant tout des propriétés physiques de celles-ci constatées lors des investigations . Dans certains cas , la dégradation des matériaux , la disparition des liants et la présence de vides nécessitent une intervention préalable à la réparation des désordres ou au renforcement des structures . Des injections de coulis minéral à faible retrait sont préconisées dans ces situations, afin de restaurer et même d'améliorer la résistance au cisaillement et à la compression de la maçonnerie (ref 4 et 12). Ce traitement est souvent préalable à tout renforcement successif par ancrages.

A cet effet MTEch Patrimonium a développé un coulis d'injection le CIS MTECH (voir fiche technique) permettant de reconstituer une partie des propriétés physiques de ces maçonneries , évitant leur démontage et leur remplacement . Ce coulis dont la composition est paramétrable permet de s'adapter à tout type de matériau constituant afin d'éviter la création de points durs, de plus sa fluidité garantit la qualité du traitement sans retrait important.

Avantages

Paramétrable

Pas de retrait

Hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Plus efficace que les résines époxy

Coût

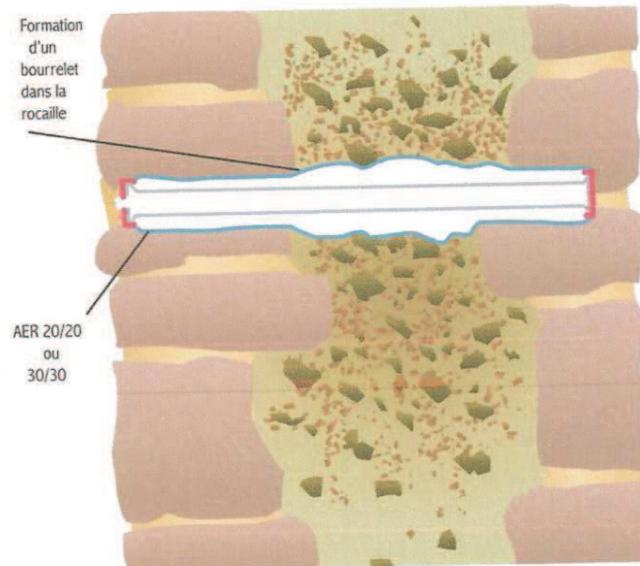
Mise en oeuvre

La fiche technique de ce coulis , présentée en annexe , explique en détail la procédure de mise en oeuvre .

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.1.2

CONSOLIDATION DE LA MAÇONNERIE PAR PLACEMENT D'ANCRAGES



Consolidation d'un mur avec blocaille

Domaine de renforcement

Local

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des murs en maçonnerie composés de parements extérieurs et de blocaille entre les deux

Caractéristiques mécaniques visées

Augmentation de la résistance en compression et au cisaillement par suppression des vides dans la maçonnerie

Objectifs

Dans ces murs avec blocaille, des ancrages peuvent être prévus pour sécuriser les parements et raidir le mur.

Type d'ancrage

AER 20/20 ou 30/30

Avantages

Pas de retrait

Hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Plus efficace que les résines époxy

Coût

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

4.2 Réparation des fissures :

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.2.1 REPARATION DE FISSURES PAR INJECTION DE COULIS

Domaine de renforcement

Local

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des éléments en maçonnerie ayant un rôle structurel (porteur ou de contreventement)

Caractéristiques mécaniques visées

Rétablissement des caractéristiques mécaniques de la maçonnerie par colmatage des fissures

Objectifs

Si les fissures sont petites mais l'épaisseur de la maçonnerie ne l'est pas, des injections de coulis minéral CIS MTECH sont préconisées. Ce coulis ne présente pas de retrait et convient très bien.

Avantages

Pas de retrait
Hydrophobe
Durcissement rapide
Bonne résistance au feu
Plus efficace que les résines époxy
Coût

Mise en oeuvre

Voir fiche de mise en œuvre en annexe 1

L'injection de ce coulis se fera après enlèvement du plafonnage éventuel, nettoyage des fissures, suivant la fiche technique ci-jointe. Puis les fissures sont bouchées grâce à ce coulis à prise rapide.

L'utilisation de ces ancrages permet d'éviter avantageusement le démontage et la reconstruction de parties de murs comme le préconise l'EC8.

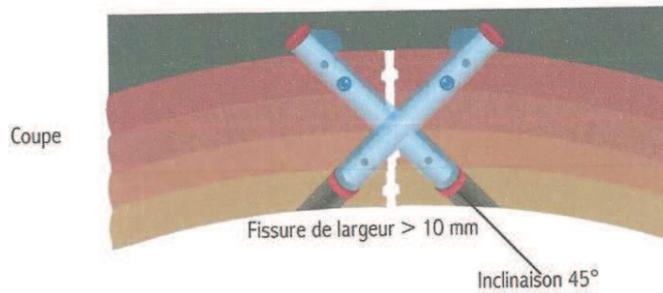
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.2.2

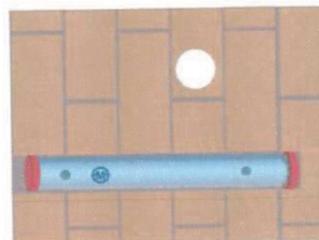
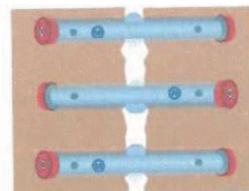
REPARATION DE FISSURES A L'AIDE D'ANCRAGES



Ancrage AAT ou AER 15/15 ou 20/20



Vue en plan



Diamètre de forage =
double de celui de l'ancrage

LONGEUR SUIVANT OUVERTURE FISSURE ET EFFORT

Mise en oeuvre de l'AAT pour la réparation des fissures

Domaine de renforcement

Local

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des éléments en maçonnerie fissuré ayant un rôle structurel (porteur ou de contreventement)

Caractéristiques mécaniques visées

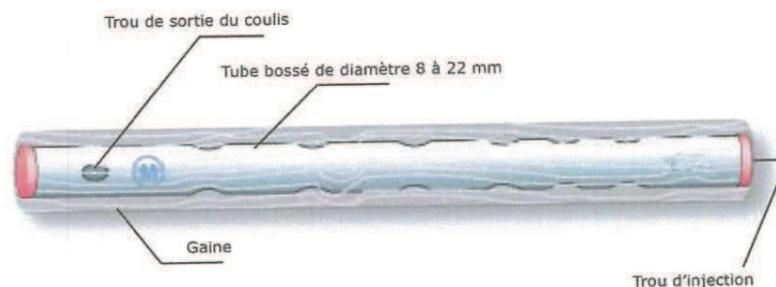
Rétablissement des caractéristiques mécaniques de la maçonnerie par réparation des fissures. Cette réparation ne dispense pas le concepteur de traiter des causes de la fissuration : mouvements différentiels dans la structure créant des tensions dans les maçonneries ...

Objectifs

En cas de fissures importantes (>10mm) y compris en diagonale, la solution proposée par MTECH est l'utilisation d'ancrages de type AAT, injectés au moyen du coulis CA MTECH pour lier les deux faces de la fissure. Les ancrages injectés et traversant la fissure reprennent valablement les efforts de traction ou tranchant exercés le long de celle-ci. La maçonnerie environnante est préalablement analysée (et si nécessaire, traitée comme expliqué en 4.1.) afin de s'assurer de sa capacité de transmission d'efforts de compression autour des ancrages.

Type d'ancrage

AAT 20/20 ou 15/15 (parfois AER)



Détails de l'ancrage AAT

Avantages

Pas de retrait du coulis

Coulis hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Plus efficace que les résines époxy

Caractère peu destructif de l'intervention, comparée aux solutions proposées par l'Eurocode 8 partie 3 # C5.1.1: application de plats carbone ou métalliques qui nécessite la démolition du revêtement.

Mise en oeuvre

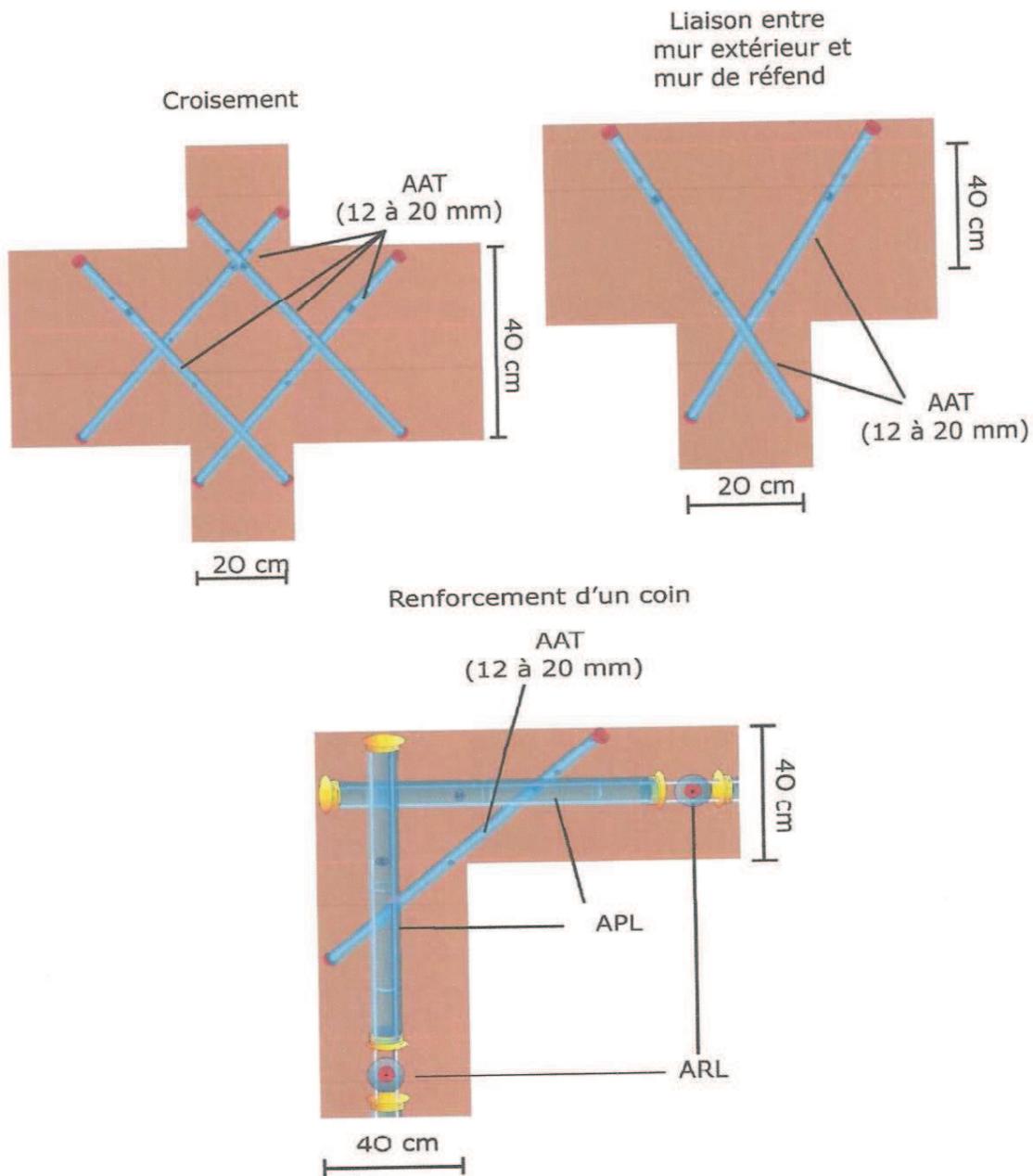
Les forages, limités, sont réalisés de part et d'autre de la fissure, à intervalle régulier, en biais, de manière à la traverser. Comme on pourra le constater sur l'exemple figurant sur la photo ci-dessus, la destruction est minimale et évite des réparations importantes. Pour le reste de la mise en oeuvre se reporter à l'annexe 2.

4.3 Réparation et renforcement d'intersections de murs :

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.3

RENFORCEMENT D'INTERSECTIONS DE MUR A L'AIDE D'ANCRAGES



Exemples d'utilisation de l'AAT pour le renforcement d'intersections entre murs

Domaine de renforcement

Local

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des éléments en maçonnerie ou en béton armé, se croisant, dont les liaisons aux intersections sont insuffisantes : fissures, manque de recouvrement des armatures, pas de chaînage...

Caractéristiques mécaniques visées

Renforcement des liaisons aux intersections entre murs porteurs pour améliorer la résistance de la construction aux efforts de torsion dans toutes les directions, Eviter des effondrements des structures du fait de sollicitations importantes hors plan.

Objectifs

Les connections entre murs porteurs sont importantes dans la résistance à la torsion horizontale de la construction lors d'un tremblement de terre. Il s'agit donc de solidariser ces éléments pour une meilleure reprise des efforts horizontaux.

L'Eurocode 8 #C. 5.1.2 iii propose ce type de solution avec des simples barres placées en biais et noyées dans un coulis. MTECH propose l'utilisation de son ancrage AAT. La maçonnerie environnante est préalablement analysée (et si nécessaire, traitée comme expliqué en 4.1.) afin de s'assurer de sa capacité de transmission d'efforts de compression autour des ancrages.

Type d'ancrage

AAT 20/20 ou 15/15

Avantages

Pas de retrait du coulis

Coulis hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Plus efficace que les combinaisons carbone- résine époxy ou armatures - ciment

Caractère peu destructif de l'intervention

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en oeuvre est présentée en annexe 2.

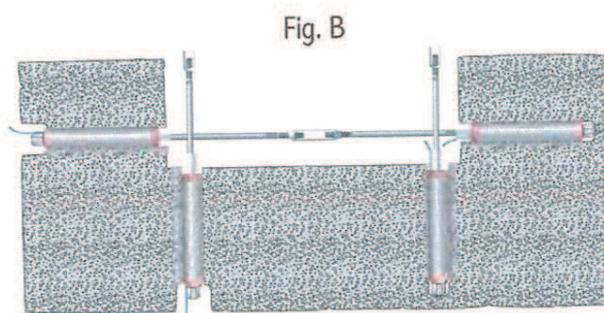
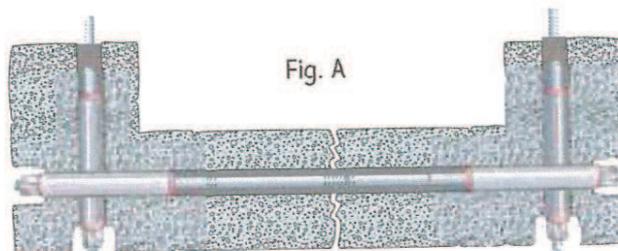
Les forages, limités, sont réalisés de part et d'autre de la connexion, à intervalle régulier, en biais, de manière à la traverser. La destruction est minimale et évite des réparations importantes.

4.4 Renforcement par barres précontraintes :

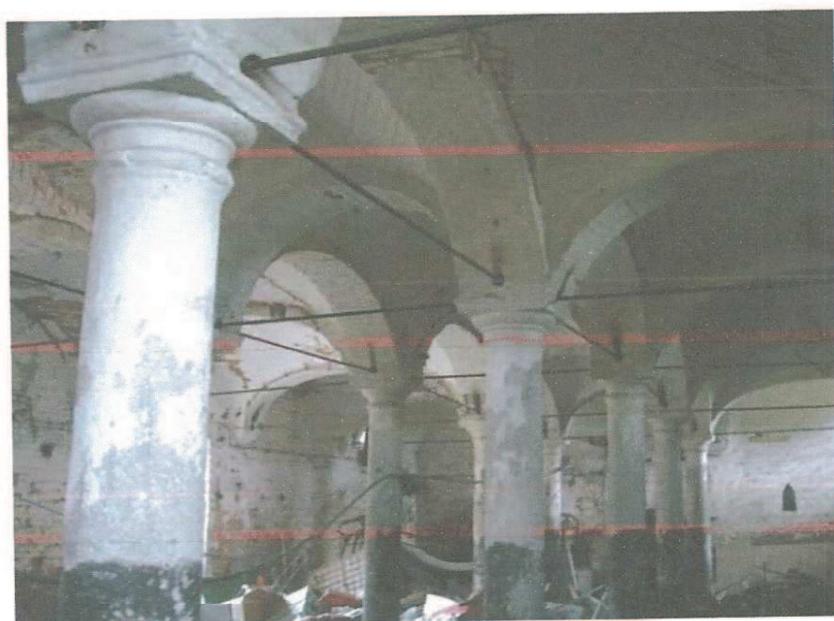
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.4

RENFORCEMENT ET SOLIDARISATION DES ELEMENTS DE STRUCTURE A L'AIDE DE BARRES PRECONTRAINTES



Exemples d'utilisation des ancrages précontraints AM 2000 pour le renforcement horizontal



Exemple d'utilisation de l'AMC pour la solidarisation des colonnes de s'écuries du château de Modave

Domaine de renforcement

Local

Général

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des éléments en maçonnerie ou en béton armé, dont les liaisons aux intersections sont insuffisantes, avec pour conséquence une possibilité d'effondrement hors plan des murs.

Toute structure en maçonnerie soumise à des tensions auxquelles elle ne peut résister du fait de la mauvaise résistance de celle-ci à ces efforts.

Caractéristiques mécaniques visées

Renforcement des liaisons aux intersections entre murs porteurs pour améliorer la résistance de la construction aux efforts de torsion dans toutes les directions,

Éviter des effondrements des structures du fait de sollicitations importantes hors plan et le basculement d'ensemble.

Augmentation de la résistance des structures en maçonnerie et en béton aux tensions par sa mise en compression : augmentation de l'effort tranchant et du moment résistant.

Objectifs

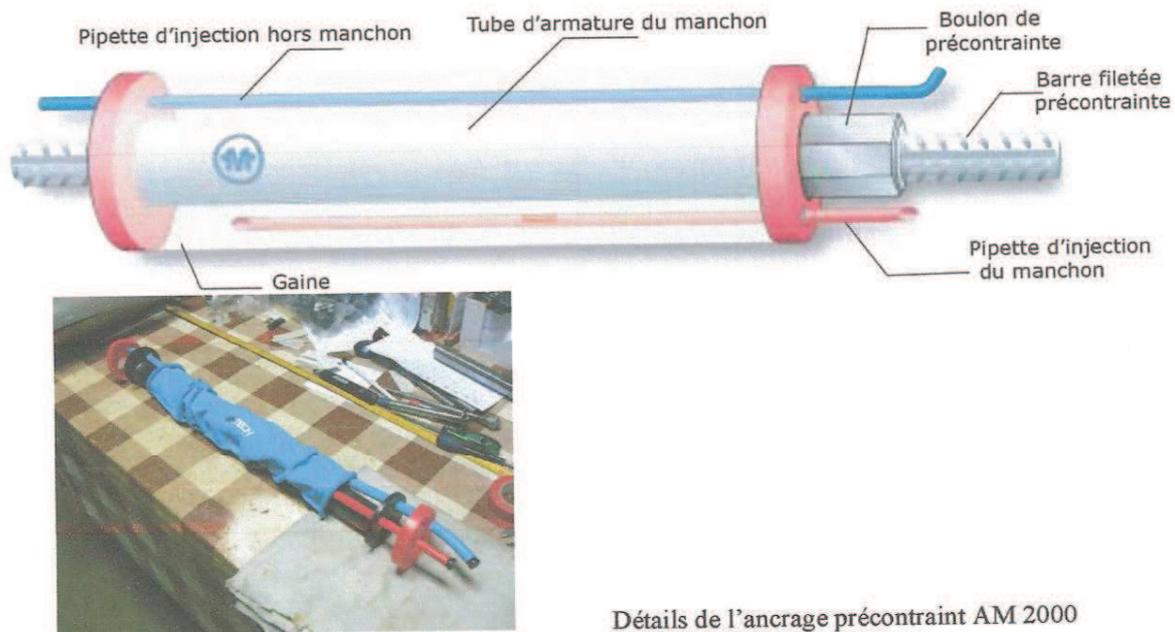
La résistance critique d'une maçonnerie peut être améliorée de manière significative par la précontrainte horizontale et verticale du mur qui améliorera sensiblement sa résistance au cisaillement (par augmentation de la contrainte de compression dans la maçonnerie) et diminuera donc sa fragilité. Les méthodes traditionnelles préconisent l'utilisation de tirants en acier placés dans des trous de forage et ancrés grâce à des plaques soudées à leurs extrémités après avoir été mis en tension.

Ces tirants sont souvent utilisés pour des murs de grande épaisseur et situés symétriquement près des deux faces des maçonneries, à des distances uniformes sur la hauteur ou la largeur des murs.

Il est aussi possible de transformer des murs de maçonnerie en véritables poutres en treillis par la combinaison de barres précontraintes verticales et horizontales (ref 14), jouant le rôle de tirants, la maçonnerie étant comprimée.

Type d'ancrage

AM2000, l'AMC ou l'APL (voir catalogue) pour appliquer une précontrainte sur les murs de maçonnerie. Ces ancrages peuvent être gainés sur toute leur longueur (présence de vides dans le murs ou possibilité de fluage de la maçonnerie) ou seulement sur la longueur d'un manchon qui transmettra les efforts de précontrainte de manière uniforme grâce au coulis.



Détails de l'ancrage précontraint AM 2000

Avantages

Pas de retrait du coulis

Coulis hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Caractère peu destructif de l'intervention

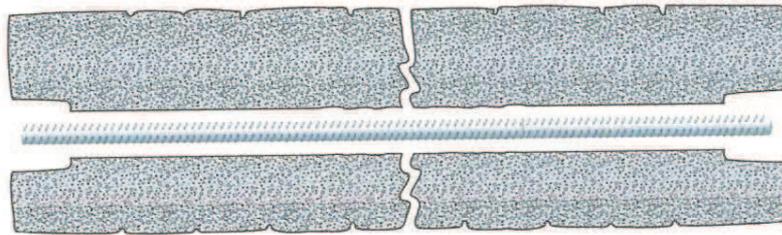
Les inconvénients des systèmes traditionnels sont évités :

- une perte de précontrainte au moment de l'ancrage, due au fluage de la maçonnerie,
- le mauvais contrôle de la quantité de mortier injecté du fait des vides présents dans la maçonnerie,
- la corrosion des tirants surtout lorsque ceux-ci sont noyés dans un coulis de ciment,
- l'apparence finale (vue des plaques extérieures).

Mise en oeuvre

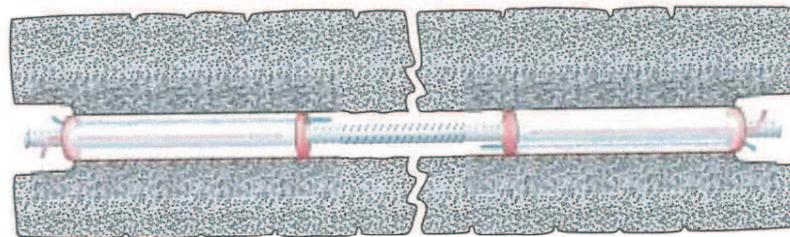
Les forages d'un diamètre de 90mm sont habituellement réalisés légèrement au-dessus de chaque larmier, dans le cas de tours ou sur des zones déterminées à être renforcées. Ils traversent la maçonnerie de part en part et sont débouchant. (fig 1). Les carottes de forage initiales (correspondant à la pierre de parement) sont conservés afin d'être remplacées.

fig.1



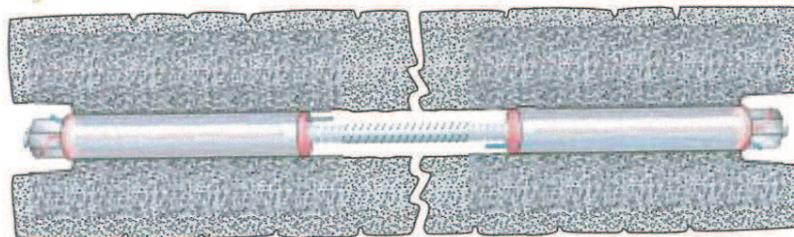
Le tirant puis les manchons sont placés en retrait des faces extérieures, reprenant toutefois la queue de la pierre de parement quand celle-ci est assez longue, et ce au droit des deux façades opposées (fig 1 et 2).

fig.2



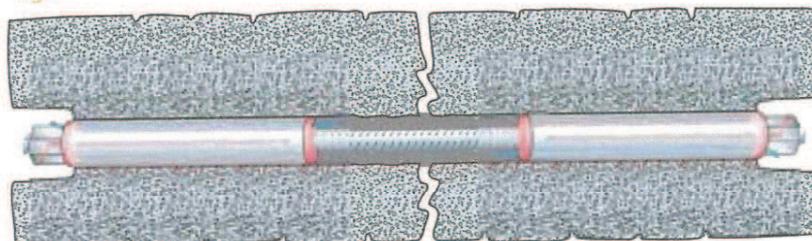
Les manchons sont injectés et après durcissement du coulis (24h), les platines d'extrémités et les écrous de mise en tension sont placés (fig 3).

fig.3

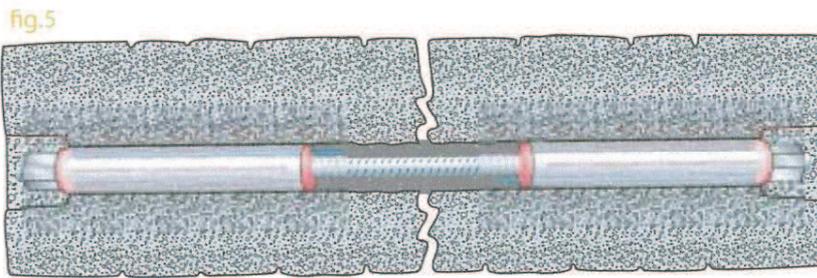


La barre (tirant) est mise en tension jusqu'à sa limite d'élasticité, non pas de manière à se rapprocher des conditions de stabilité qui existaient mais d'empêcher une détérioration supplémentaire. La deuxième pipette permet alors l'injection de la partie intermédiaire de la barre, non gainée sur toute sa longueur (fig 4).

fig.4



Les parties de pierre de parement conservées lors du forage sont remplacées (fig 5).

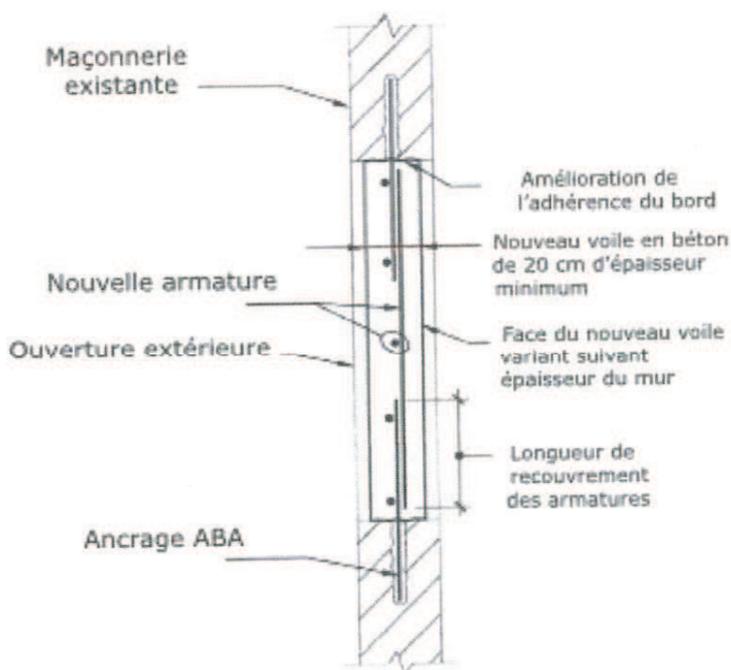


Les détails d'injection sont repris en annexe 2.

4.5 Ajout de murs de contreventement:

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.5 LIASON DE NOUVEAUX ELEMENTS STRUCTURAUX A L'AIDE D' ANCRAGES



Section de l'ouverture supprimée

Utilisation de l'ancrage ABA pour la suppression d'une ouverture

Domaine de renforcement

Contreventement

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des éléments en maçonnerie ou en béton armé dont la rigidité est insuffisante, auxquels sont ajoutés de nouveaux éléments dans le but de raidir la structure existante. Ces nouveaux murs sont souvent des voiles en béton armé. Ce type d'intervention peut s'avérer difficile à réaliser compte tenu des opérations à réaliser : construction de nouvelles fondations à l'intérieur (voir # 4.8 fondations) pour assurer de bonnes fondations aux nouveaux murs.

Caractéristiques mécaniques visées

Liaisons entre nouveaux murs de raidissement et structures existantes, par l'ancrage dans l'existant de barres d'attente prolongées par les nouvelles armatures de l'élément ajouté.

Objectifs

Lors de l'analyse du comportement de la structure aux sollicitations sismiques, l'ingénieur peut décider d'augmenter la rigidité d'ensemble du bâtiment en ajoutant des murs de contreventement intérieurs ou de supprimer des ouvertures existantes.

Type d'ancrage

ABA

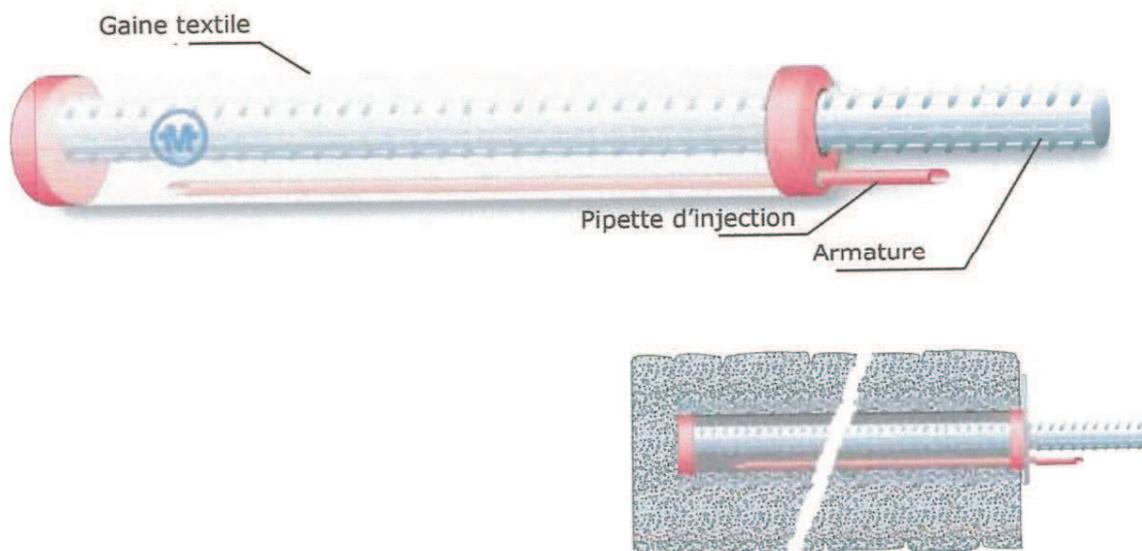


Schéma de l'ancrage ABA pour le raccord des armatures de la nouvelle structure

Avantages

- Pas de retrait du coulis
- Coulis hydrophobe
- Durcissement rapide
- Bonne résistance au feu
- Caractère peu destructif de l'intervention

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

4.6 Renforcement et raidissement des diaphragmes horizontaux :

Lors d'un séisme , les planchers ont pour rôle outre leur fonction d'éléments porteurs vis à vis des charges verticales :

- d'une part de former diaphragme dans leur plan afin de transmettre les efforts sismiques horizontaux aux éléments de contreventement,
- d'autre part de maintenir la liaison entre les divers éléments de la structure (fonctionnement en butée et en tirant) afin d'assurer le monolithisme de la construction.

4.6.1 Fonction de diaphragme :

Le transfert des efforts dans le plancher dépend de sa géométrie et du nombre d'ouvertures , son analyse peut se faire en le considérant comme une poutre plate (ref 3) . On observe peu de ruptures de diaphragmes dans des tremblements de terre mais par contre leur renforcement est un processus coûteux .

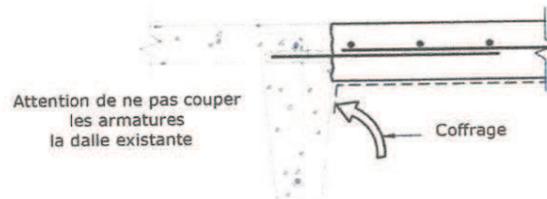
Il existe plusieurs manières de transformer un plancher ou une toiture en diaphragme . Les systèmes de contreventement usuels (création de poutres en treillis) peuvent être utilisés pour les structures horizontales composées de poutres et entretoises (ref 3). Dans un grand nombre de cas de planchers , cette fonction est assurée par la présence d'une table de compression (qui peut être rajoutée ou renforcée si nécessaire) .

Cette table doit avoir une épaisseur d'au moins 5cm (4cm en cas de poutres /claveaux) , doit être armée d'un treillis continu ancré sur les appuis de rive ou dans la poutre de chaînage horizontale .

L'adjonction d'une couche de béton léger supplémentaire sur une dalle existante est rarement préconisée du fait de l'augmentation de poids qui en résulte et des travaux lourds nécessaires. Par contre , il est parfois nécessaire de fermer des ouvertures dans ces planchers afin de les raidir , d'améliorer la raideur dans le sens perpendiculaire à celui de la portée du plancher (renforcement de l'entretoisement) ou d'améliorer l'ancrage des armatures dans les murs (voir suite fonction de liaison) .

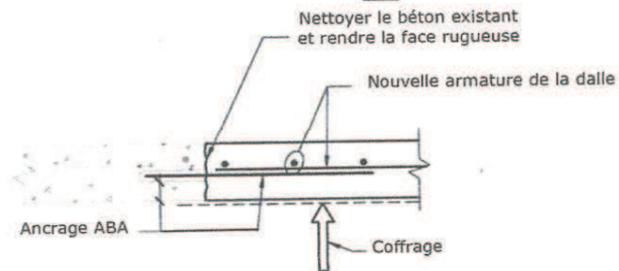
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

**4.6.1.0 RAIDISSEMENT D'UN DIAPHRAGME HORIZONTAL EN BETON
PAR FERMETURE D'UNE OUVERTURE**



voir coupe **A** pour détails supplémentaires

Détail type de la rive d'une dalle gauffrée **B**



Détail type de la rive d'une dalle pleine **A**



Schéma fermeture d'un ouverture dans un dalle en béton

Domaine de renforcement

Planchers

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des planchers en béton présentant des ouvertures qui doivent être fermées afin de permettre au plancher de jouer son rôle de diaphragme.

Caractéristiques mécaniques visées

Liaisons entre nouvelle dalle de raidissement et plancher existant, par l'ancrage dans l'existant de barres d'attente prolongées par les nouvelles armatures de l'élément ajouté. La fermeture d'une ouverture dans une dalle existante est susceptible d'augmenter les charges sur les éléments verticaux. Il faudra donc considérer les avantages de cette opération par rapport aux sollicitations supplémentaires qu'elle pourrait entraîner.

Objectifs

Lors de l'analyse du comportement de la structure aux sollicitations sismiques, l'ingénieur peut décider de supprimer des ouvertures afin de raidir certains planchers. Les ancrages de MTech Patrimonium solidariseront le nouveau béton au plancher existant en assurant le recouvrement des armatures.

Type d'ancrage

ABA

Avantages

- Pas de retrait du coulis
- Coulis hydrophobe
- Durcissement rapide
- Bonne résistance au feu
- Caractère peu destructif de l'intervention

Mise en oeuvre

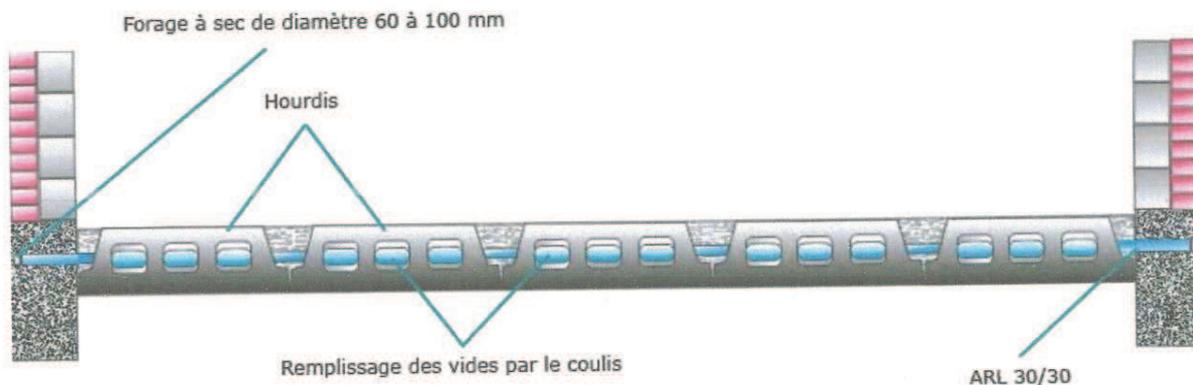
La fiche technique de mise en oeuvre est présentée en annexe 2.

4.6.1.1 dalles en béton ou mixtes de type poutres /hourdis :

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.6.1.1

RAIDISSEMENT D'UN DIAPHRAGME HORIZONTAL EN BETON PERPENDICULAIREMENT AU SENS DE LA PORTEE



Raidissement d'une dalle de hourdis perpendiculairement à la direction de portée du plancher

Domaine de renforcement

Planchers

Types de bâtiments concernés

Tout bâtiment comportant des planchers en béton portant dans une direction et dont la résistance transversale est insuffisante pour permettre au plancher de jouer son rôle de diaphragme.

Caractéristiques mécaniques visées

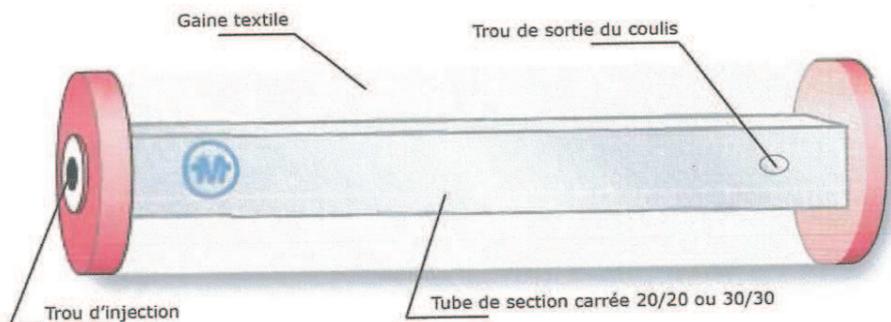
Raidissement du plancher existant dans la direction perpendiculaire au sens de la portée, par renforcement de l'entretoisement à l'aide d'ancrages placés dans l'épaisseur du plancher.

Objectifs

Lors de l'analyse du comportement de la structure aux sollicitations sismiques, l'ingénieur peut décider de raidir les planchers dans la direction transversale à celle de leur portée. Les ancrages de MTech Patrimonium renforceront ceux-ci pour leur permettre une meilleure résistance aux efforts de torsion et de jouer ainsi leur rôle de diaphragme.

Type d'ancrage

AER ou ARL 20/20 ou 30/30



Détails de l'ancrage ARL

Avantages

Pas de retrait du coulis

Coulis hydrophobe

Durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Caractère peu destructif de l'intervention

La gaine entourant l'ancrage ARL permet aussi le raidissement d'un dalle en hourdis sans table de compression, par sa mise en place à travers la totalité du plancher de mur à mur ; le renfort de la dalle perpendiculairement à la direction des hourdis sera obtenu par l'armature et la formation de bourrelets dans les vides.

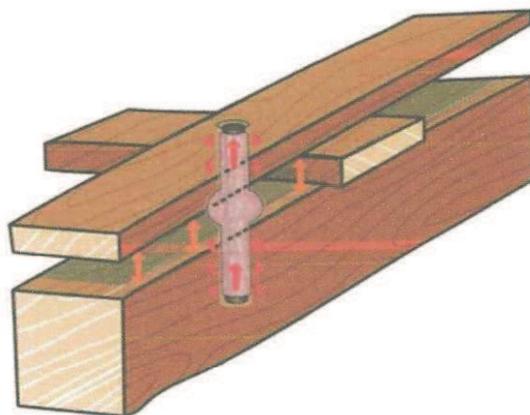
Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

4.6.1.2 planchers en bois :

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.6.1.2 RAIDISSEMENT D'UN DIAPHRAGME HORIZONTAL EN BOIS PAR ADJONCTION DE PANNEAUX



Système CARPO de raidissement de planchers bois

Domaine de renforcement

Planchers en bois

Types de bâtiments concernés

Bâtiments avec planchers en bois

Caractéristiques mécaniques visées

Raidissement du plancher existant dans toutes les directions par adjonction de panneaux de bois.

Objectifs

Permettre au planchers en bois d'avoir une meilleure résistance aux efforts de torsion et de jouer leur rôle de diaphragme . Les ancrages de type carbone sont utilisés pour assurer la liaison des panneaux avec la structure existante ou le renfort des joints et liaisons entre fermes.

Type d'ancrage

Armature constituée d'une barre ou d'un tube en fibre de verre ou de carbone; dont le rôle est de reprendre des efforts de traction. Les types de profils utilisés dépendent de l'application pour laquelle ils sont prévus et peuvent être :

- des barres lisses pleines ou des tubes , pouvant être filetées en leur extrémité (ACL) ;



- des barres pleines ou des tubes filetées sur toute leur longueur (ACF).



Ces barres peuvent être connectées dans le cas d' ancrages de grande longueur grâce à une visserie adéquate , assurant la continuité des réservations ;

En cas de présence de vides dans le support , une gaine peut être prévue .

Celle-ci recouvre entièrement l'ancrage et est adaptée au diamètre de forage dépendant de la qualité de ce support ;

Réservations prévues pour l'injection et l'évacuation de l'air ;

Injection ou collage réalisé avec le coulis minéral CA MTECH ou la résine de type époxy RE MTECH .

Avantages

Rapport exceptionnel poids/résistance facilitant la mise en oeuvre
Excellente résistance au fluage et à la fatigue
Excellente résistance à la corrosion
Isolation thermique
Inertie à l'électricité , transparence magnétique
Pigmentation dans la masse
Possibilité de réalisation d'ancrages double chambre

Mise en oeuvre

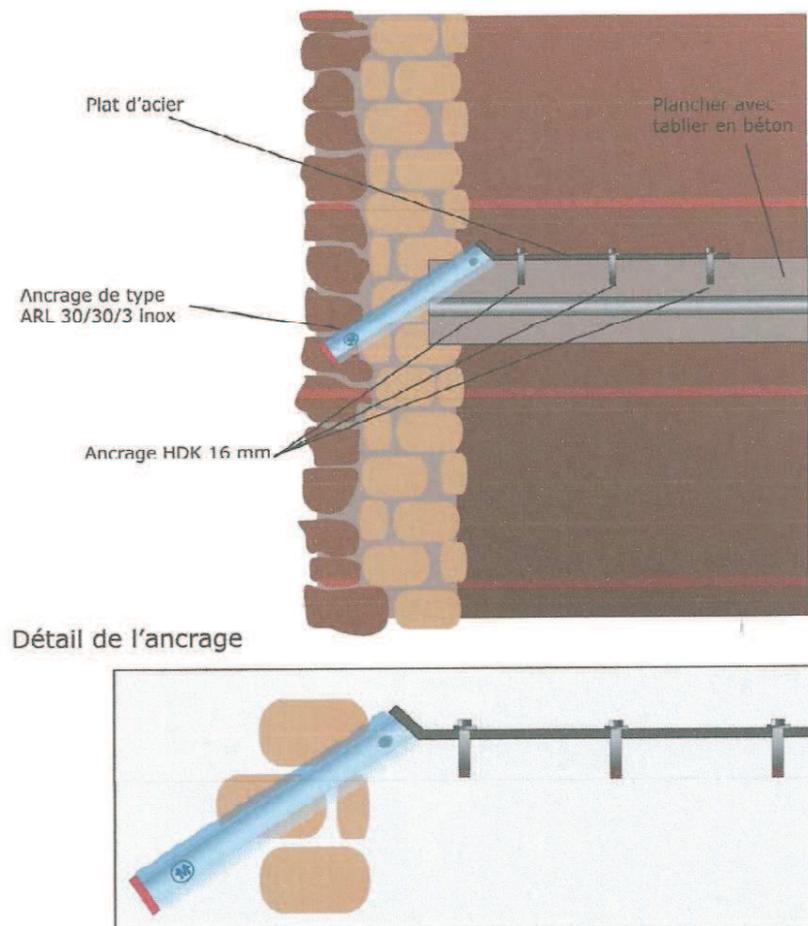
La mise en place des ancrages CARPO est identique à celle des ancrages acier MTECH après dépeussièrement , rainurage , curage et forage du support .
L'appliqueur se référera à la fiche de mise en oeuvre de ces ancrages lors de l'utilisation du coulis CA MTECH et de la fiche technique de la résine époxy lors de l'emploi du RE MTECH.

4.6.2 Fonction de liaison

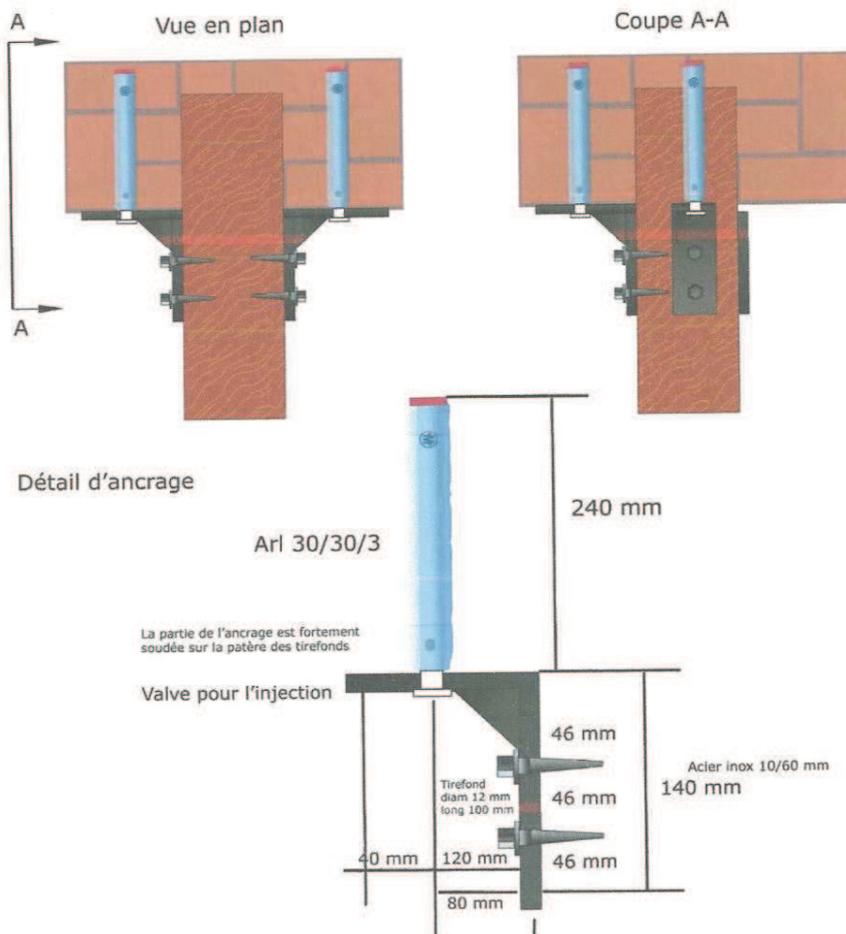
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.6.2

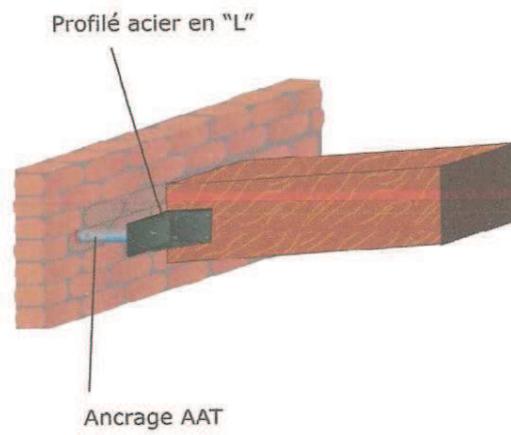
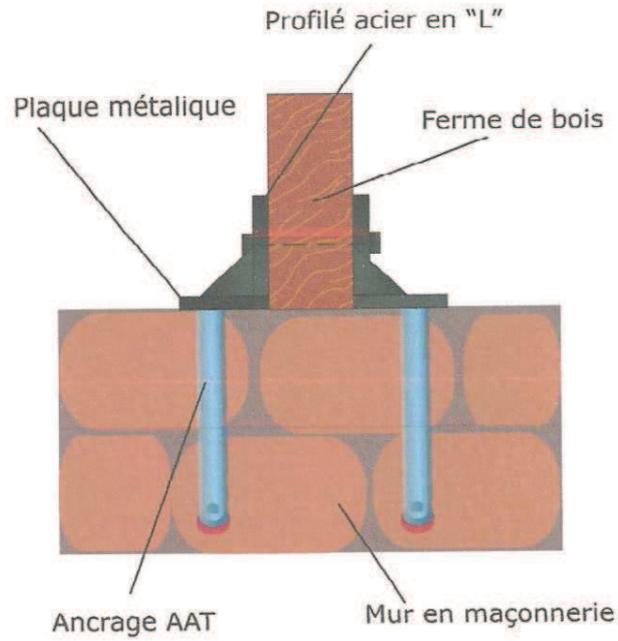
LIAISON ENTRE PLANCHERS /TOITURES ET MURS EN MACONNERIE EN L'ABSENCE DE POUTRE DE RIVE



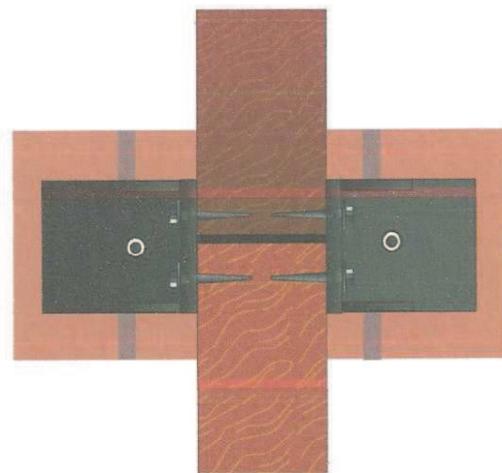
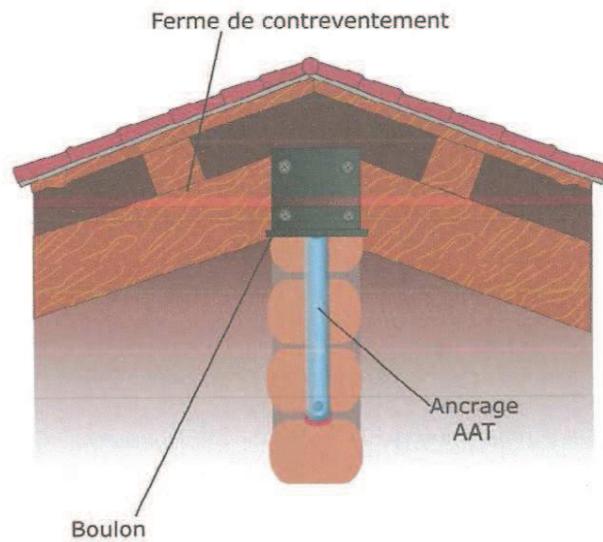
Ancre de liaison entre mur de maçonnerie et table de compression du plancher en l'absence de poutre de rive



Exemple de liaisons entre poutres en bois et murs extérieurs en l'absence de poutre de rive



Liaison du support des fermes de toiture avec maçonnerie en l'absence de poutre de rive



Liaison au sommet entre fermes de toiture et maçonnerie

Domaine de renforcement

Liaisons planchers /toitures - murs en maçonnerie sans poutre de rive

Types de bâtiments concernés

Bâtiments avec planchers ou toitures en bois ou en béton posés sans liaison sur des murs de maçonnerie .

Caractéristiques mécaniques visées

Liaison du plancher existant à son support en vue d'assurer la transmission des efforts de torsion.

Solidarisation des éléments de structure

Objectifs

Cette liaison est à considérer sous trois aspects : liaison du plancher aux rives latérales et réalisation d'une liaison entre façades opposées dans le but de distribuer les efforts de torsion.

Dans la direction des poutrelles , le plancher doit présenter en tout point une capacité de résistance à la traction et au cisaillement . assurée par l'ancrage des armatures ou la fixation des poutres en bois dans la poutre de chaînage ou dans le mur en l'absence de poutre de rive .

Type d'ancrage

La mise en place d'une couche de béton armé de compression avec ancrage du béton aux murs périphériques est réalisable par MTECH grâce à l'ancrage représenté ci-dessus. MTech Patrimonium préconise l'usage d'ancrages développés à cet effet , pour ancrer les armatures dans les deux directions en cas d'absence de poutre de rive . Ils sont placés en recouvrement , disposés tous les m , sur la table de compression , en oblique dans le mur si nécessaire pour augmenter la longueur d'ancrage (mur porteur peu résistant) .

D'autres systèmes ont été mis au point pour solidariser une structure en bois à un mur de maçonnerie en l'absence de poutre de rive pour permettre le contreventement et l'ancrage des fermes de toitures dans les murs porteurs . Le plus courant consiste à ancrer la membrure inférieure de la ferme aux murs au moyen d'ancrages AAT, celle-ci pouvant être alors sollicitée en compression ou en traction .

Les solutions développées ci-dessus sont quelques exemples de consolidation de liaisons existantes .

Avantages

Pas de retrait du coulis et confinement de celui-ci

Adhérence accrue à tout type de maçonnerie

Coulis hydrophobe à durcissement rapide

Bonne résistance au feu

Caractère peu destructif de l'intervention

Les systèmes sont facilement concevables pour tout type de configuration poutre/ maçonnerie quelque soit le matériau constituant le plancher , du fait de la versatilité des systèmes MTech Patrimonium , qui permettent d'associer diverses pièces métalliques (T , L , plats ...) et des ancres forés et injectés dans des structures en béton ou maçonnerie .

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

4.7 Chaînage :

L'EC 8 stipule que les poutres de chaînages existantes entre planchers et murs , en mauvais état , doivent être réparées ou reconstruites . Il préconise la création de poutres de chaînage s' il n'en existe pas dans le bâtiment .

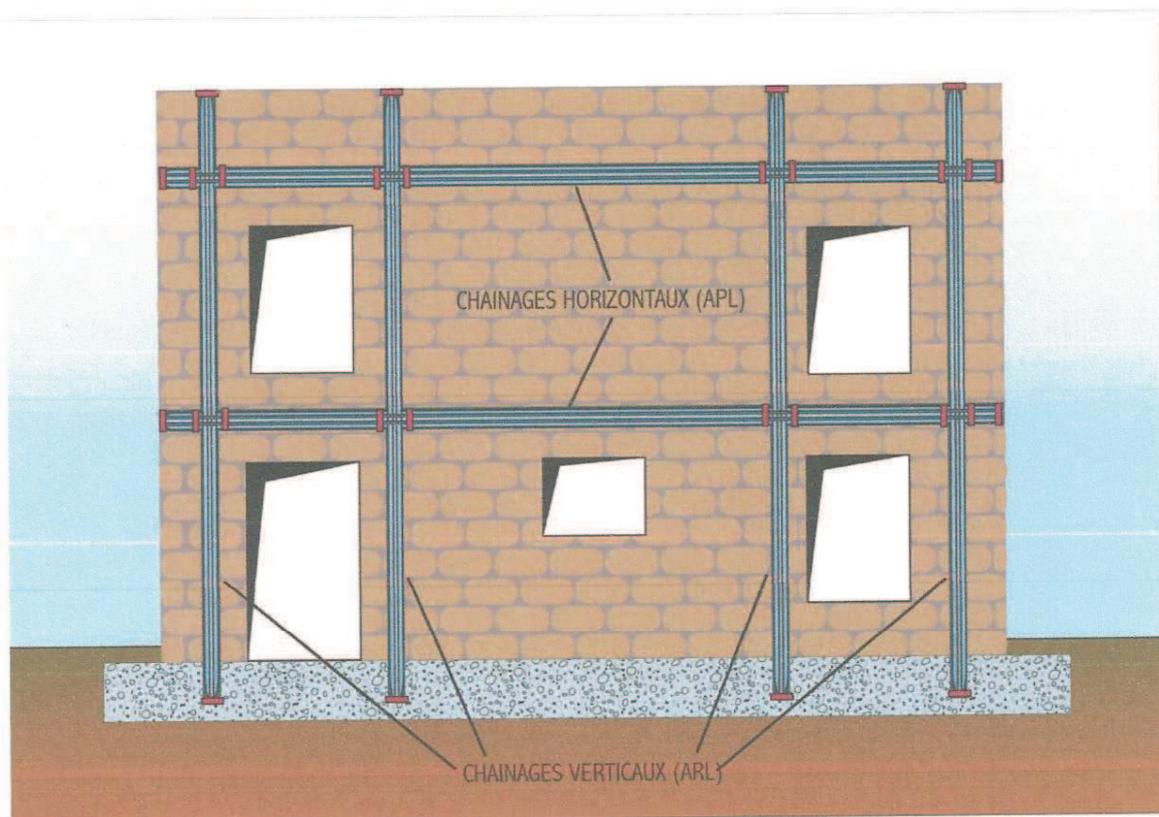
Des liaisons doivent être réalisés entre les éléments de fondation et la structure sus-jacente . Les solutions préconisées par MTech sont reprises dans le paragraphe 4.8 . Les armatures de chaînages verticaux doivent être descendues jusqu' en face intérieure des fondations et ancrées au dessous de l'axe de chaînage horizontal le plus bas .

4.7.1 Maçonneries chaînées :

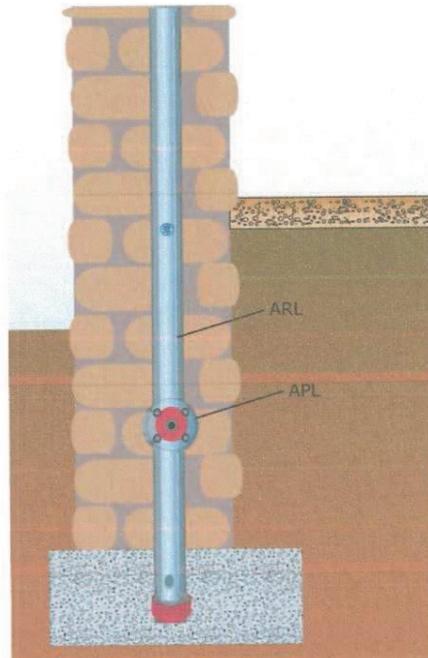
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.7.1

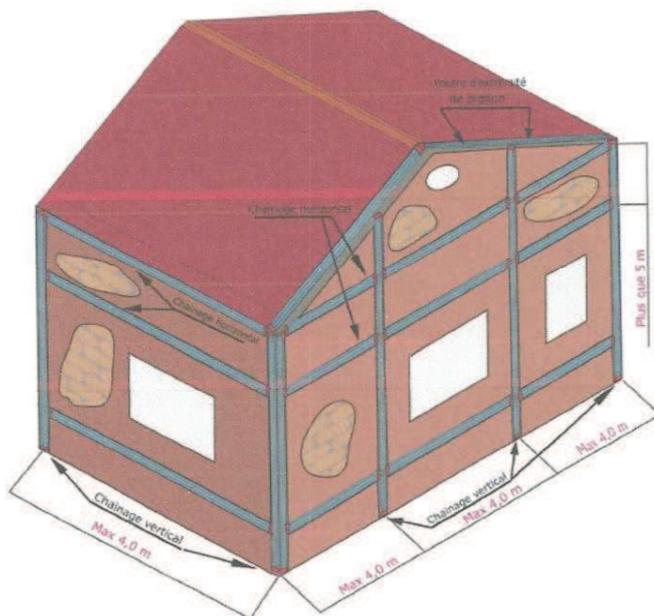
**CHAINAGE HORIZONTAL ET VERTICAL DANS UN MUR EN
MACONNERIE**



Principes généraux de chaînage proposés par MTECH Patrimonium



Chaînage au niveau des fondations (cas de semelle difficilement accessible)



Exemple de chaînage d'un édifice

Domaine de renforcement

Ensemble du bâtiment
Murs de maçonnerie dépourvus de poutres de chaînage

Types de bâtiments concernés

Bâtiments dont la structure est constituée des murs de maçonnerie dépourvus de poutres de chaînage

Caractéristiques mécaniques visées

Transmission des efforts de cisaillement à la maçonnerie
Confinement de parties du mur
Solidarisation et liaison des murs périphériques

Objectifs

Le chaînage a pour effet de créer une ossature dans le mur de contreventement et à lier ensemble tous les éléments de maçonnerie afin d'améliorer le comportement d'ensemble. Lors du séisme il y a mobilisation de bielles en diagonale dans le panneau de maçonnerie délimité par cette ossature (cf : A. Fuentes).

Les parties de maçonnerie prises en compte pour le contreventement doivent être d'épaisseurs brutes minimales de 10 cm pour les murs en éléments pleins et 20 cm pour les éléments creux.

On distingue deux directions de chaînages :
horizontale :

- . au niveau bas
- . au niveau de chaque plancher
- . au niveau du contreventement du haut des murs en l'absence de plancher sous comble,

verticale :

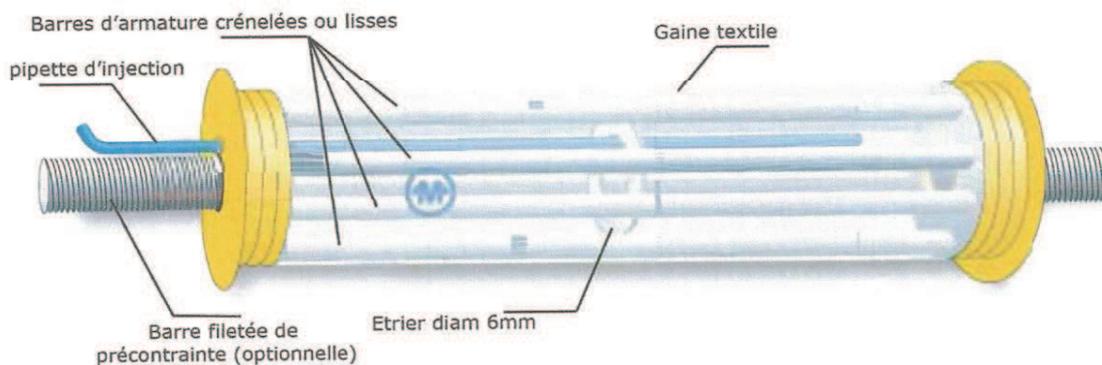
- . en bordure des panneaux de contreventement
- . à tous les angles saillants ou rentrants de la construction
- . aux jonctions des murs encadrant les ouvertures .

Type d'ancrage

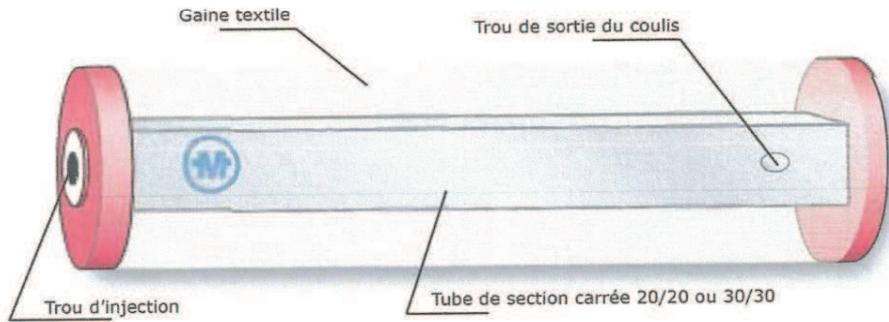
MTech préconise , pour le chaînage, l'utilisation des ancrages suivants :

- APL de diamètre 90mm avec 4 barres de diamètres dépendant de la sollicitation pour les chaînages horizontaux, placés dans des forages de 120 mm (pour des murs d'épaisseur <30cm) et 180mm (au delà de 30cm d'épaisseur) ; la gaine ne recouvre que les parties hors nœuds avec les chaînages verticaux , seules les barres assurant la continuité du chaînage traversent le noeud .
- ARL 30/30/3 pour les chaînages verticaux placés dans des forage de 110mm ; la gaine recouvre tout l'ancrage qui traverse le chaînage horizontal.

La technique des ancrages (en anglais center cores) a été testée au USA en 1987 (voir ref 15) et est préconisée par le FEMA (voir ref 12).



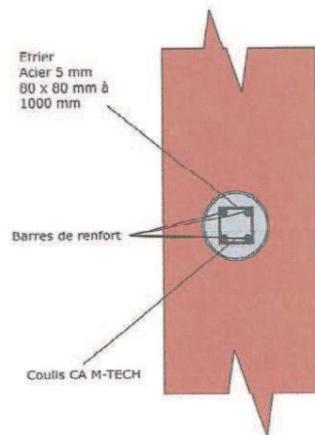
Détails de l'ancrage APL



Détails de l'ancrage ARL

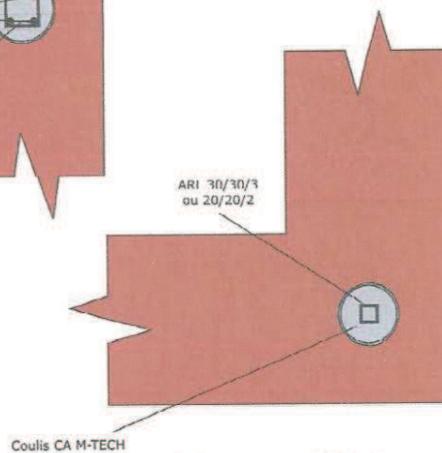
Coupe horizontale
détail APL

DIAM FORAGE 120 mm dans mur de 20 cm
100 mm dans mur de 30 cm



Coupe verticale
détail ARL

DIAM FORAGE 110 cm



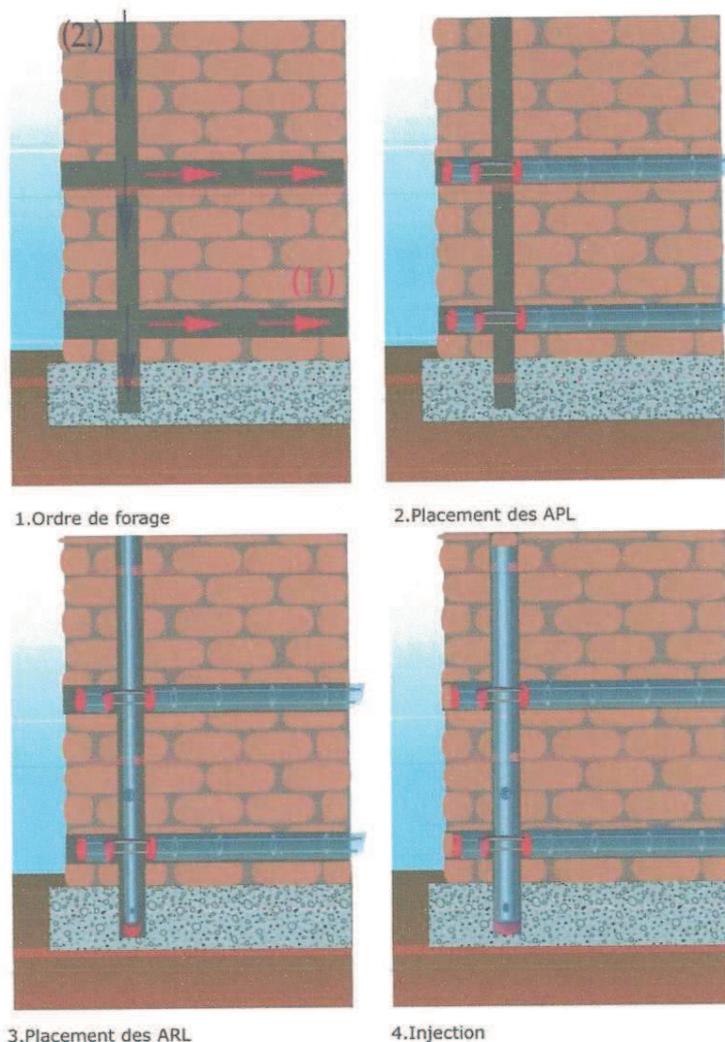
Éléments de chaînage de la gamme MTech

Avantages

Evite des travaux lourds de reprise en sous-œuvre nécessaires pour créer des poutres de chaînage en béton (Caractère peu destructif de l'intervention)
Etançonnage réduit car pas d'affaiblissement des murs pendant la phase des travaux
Coulis hydrophobe à durcissement rapide
Bonne résistance au feu

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.
Pour assurer la continuité des ancrages horizontaux et verticaux, il est nécessaire de respecter un phasage précis tel que repris dans le schéma ci-dessous :



Phases de placement des ancrages de chaînage horizontaux et verticaux

Les panneaux sans ouverture assurant le contreventement doivent satisfaire , entre chaînages parallèles aux conditions suivantes :

- dimensions inférieures à 4 m (>2,0 m idéalement voir ref 15) ou superficie inférieure ou égale à 20m²
- longueur de la diagonale inférieure à 40 fois l'épaisseur brute pour les murs en éléments pleins , 25 fois celle-ci pour les murs en éléments creux.

4.7.2 Liaisons entre chaînages :

FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.7.2 LIAISONS ENTRE ANCRAGES DE CHAINAGE

La continuité et le recouvrement entre les différents chaînages concourants en un même nœud doivent être assurés dans les trois dimensions sans donner lieu à une poussée au vide . Les liaisons entre murs sont en effet un élément important du chaînage .

Domaine de renforcement

Coins extérieurs de murs en maçonnerie

Types de bâtiments concernés

Bâtiments dont la structure est constituée des murs de maçonnerie dépourvus de poutres de chaînage

Caractéristiques mécaniques visées

Continuité des poutres de chaînages horizontales

Objectifs

Lors de séismes les coins extérieurs des murs de maçonnerie sont souvent très sollicités . Il est donc important de prévenir une défaillance de ces éléments en y plaçant des ancrages verticaux mais aussi en s'assurant du bon recouvrement de l'acier présent dans le chaînage horizontal .

Type d'ancrage

Ancrage spécial à base de profils tubulaires (voir ancrages AER ou ARL) soudés à angle droit

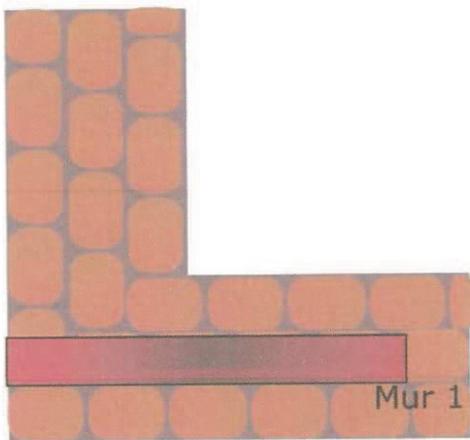
Avantages

Evite des travaux lourds de reprise en sous-œuvre nécessaires pour créer des poutres de chaînage en béton
Etaçonnage réduit car pas d'affaiblissement des murs pendant la phase des travaux

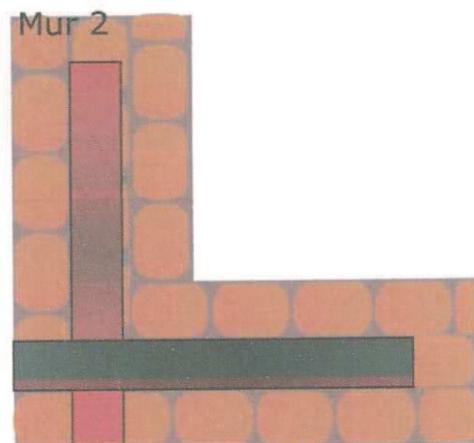
Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

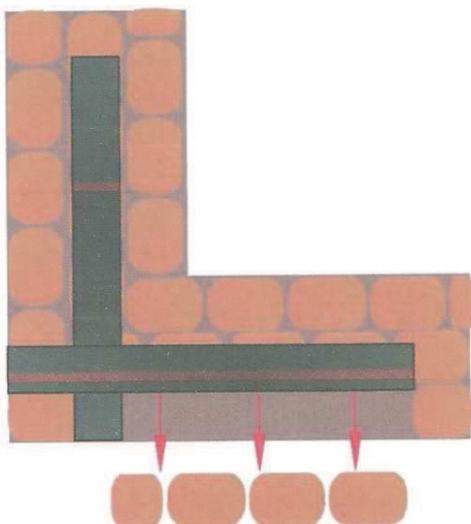
Le phasage précis du placement de cet ancrage est repris dans le schéma ci-dessous :



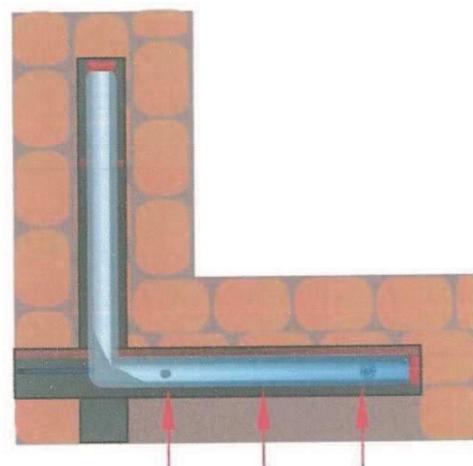
1. Forage du mur 1



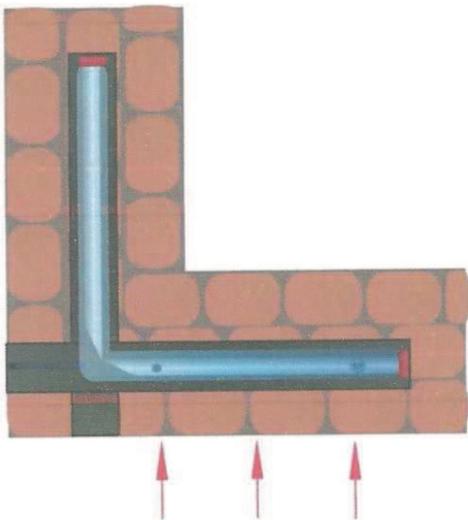
2. Forage du mur 2



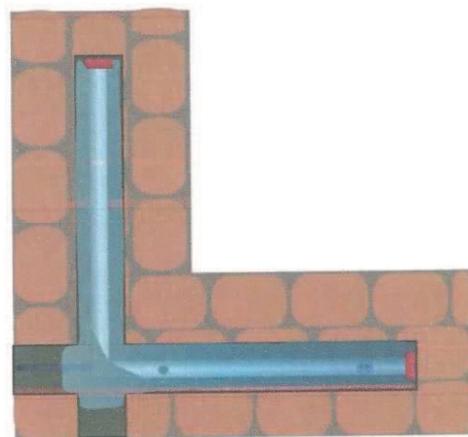
3. Démontage ou sciage
de la maçonnerie



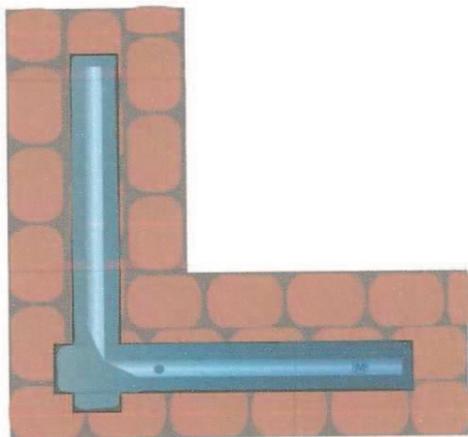
4. Placement de
l'ancrage



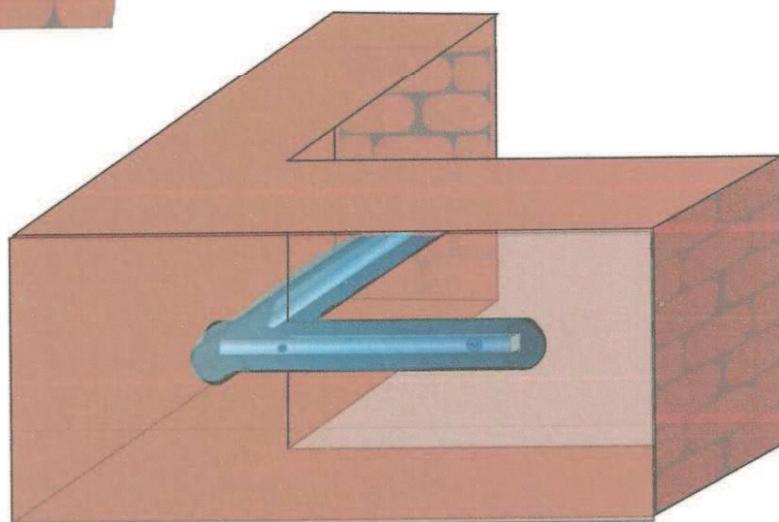
5. Remontage de la maçonnerie



6. Injection de l'ancrage



7. Réparation des forages



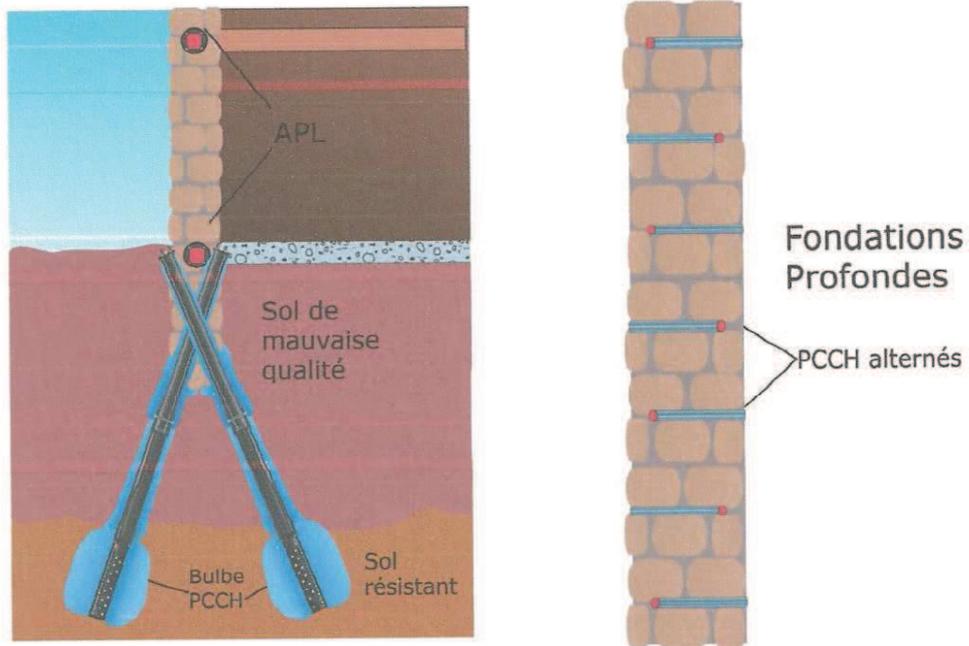
Le système MTech Patrimonium superpose les ancrages horizontaux sur base des résultats d'essais montrant que les efforts repris par les ancrages sont transmis à la maçonnerie par la formation d'arcs de déchargement . Il faut toutefois s'assurer que le matériau de base soit de bonne qualité . Dans le cas contraire une injection locale préalable du coulis de stabilisation CIS MTECH sera nécessaire.

4.8 Fondations

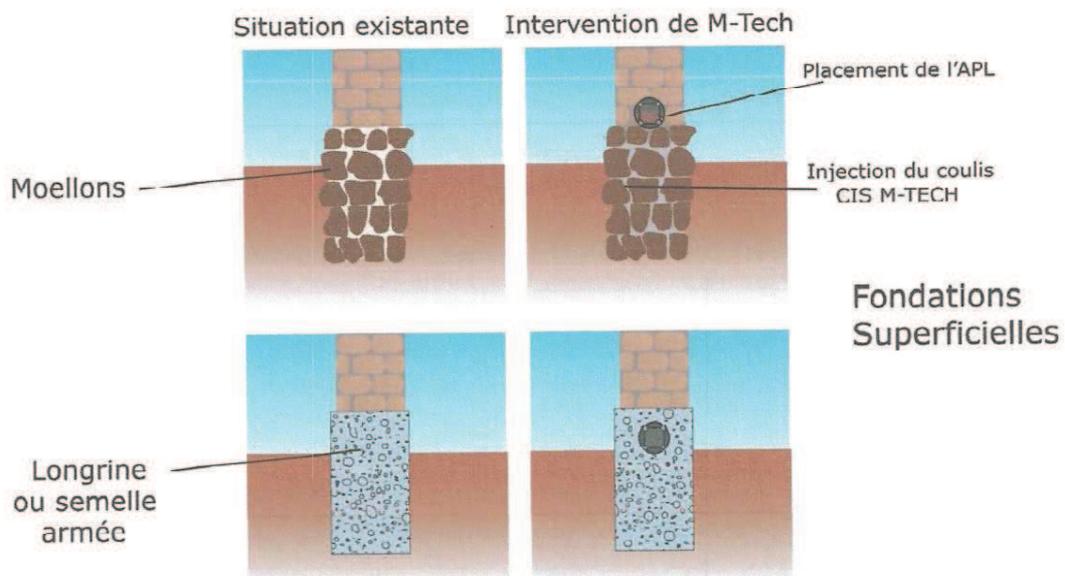
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.8

RENFORCEMENT DES FONDATIONS - CHAINAGE - MICROPIEUX - PICOTS



Reprise en sous-œuvre par PCCH et chaînage de la maçonnerie portante



Renforcement des semelles et chaînage de la maçonnerie portante

Domaine de renforcement

Fondations de types semelles filantes ou isolées

Types de bâtiments concernés

Tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées

Augmentation de la capacité portante des fondations

Diminution des tassements différentiels

Rigidité d'ensemble pour des bâtiments à semelles isolées

Objectifs

Les murs de maçonnerie porteurs sont en grande majorité fondés sur des semelles (en moellons ou béton) très souvent sans chaînage . Dans grand nombre de cas , celles-ci s'avèrent source de désordre structurel du fait du sous dimensionnement de la semelle , de sa dégradation , de la mauvaise qualité du sol sous-jacent ou encore d'une mauvaise liaison entre elles qui n'offre qu'une mauvaise résistance aux efforts de soulèvement. Lors du rajout de murs de contreventement , une nouvelle fondation doit être prévue .

La reprise en sous-oeuvre des fondations existantes ou le rajout de fondations à l'intérieur d'un bâtiment en fonctionnement peuvent s'avérer coûteux du fait des difficultés que peut présenter l'installation de l'équipement d'exécution et le côté destructif que peuvent avoir ces interventions .

Type d'ancrage

MTech Patrimonium a développé des solutions répondant aux problèmes généralement rencontrés :

1. dégradation des fondations existantes ,
2. mauvais dimensionnement de la fondation et absence de résistance à l'arrachage ,
3. absence de chaînage en pied de mur.
4. difficultés d'accès pour les interventions .

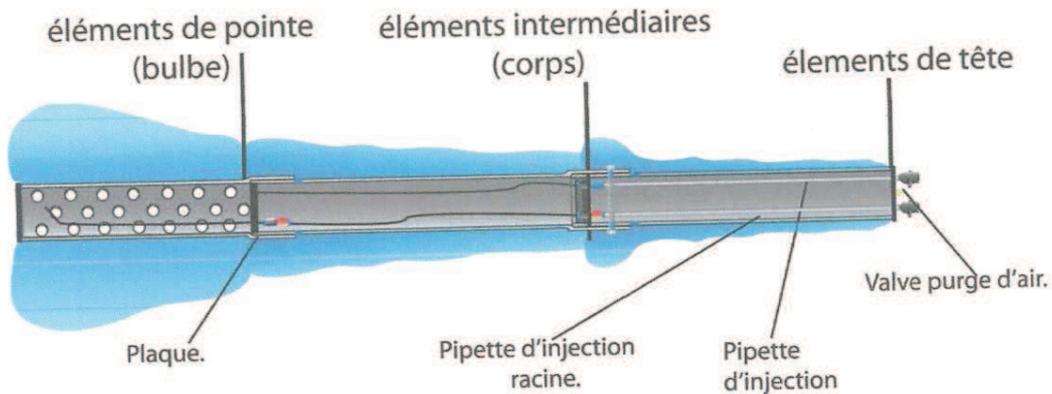
Les solutions proposées ici sont une alternative aux systèmes utilisés traditionnellement (longrines et micro-pieux) qui s'avèrent coûteux mais sont parfois indispensables du fait des sollicitations importantes . Dans tous les cas une justification devra être faite .

La solution de MTech consiste :

- dans le cas où la semelle de fondation repose sur un mauvais sol ou si la fondation est susceptible de se soulever ou en cas de liquéfaction du sol sous-jacent:

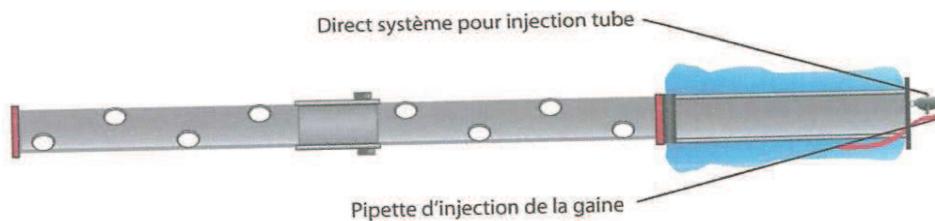
- à forer à travers la maçonnerie existante jusqu'à un sol résistant , puis à placer et injecter des pieux de type PCCH reportant les charges vers cette couche de sol,

notons que ce pieu a une résistance à l'arrachage importante, du fait de la création d'un bulbe en pointe et de la nature de son armature, conférant à la construction un bon ancrage dans le sol,



Détails d'un pieu de type PCCH

- parfois seule une injection du sol directement sous-jacent est suffisante et la solution PIS (voir fiche catalogue) peut être préconisée,



Détails d'un picot de type PIS

- à assurer la répartition des charges depuis le mur porteur sur les têtes de pieux par la placement d'un ou deux ancrages horizontaux de type ARL ou APL en pied de maçonnerie, réalisant ainsi le chaînage préconisé ; au cas où la maçonnerie est en mauvais état ou creuse, une injection préalable de coulis CIS MTECH est préconisée dans le bas du mur.

Le chaînage horizontal pour les fondations de constructions existantes ne pourra être exécuté que lorsque la profondeur de la semelle est inférieure à 1,20m, du fait de la difficulté de forer des structures en fond d'excavation.

- dans le cas où la semelle de fondation repose sur un bon sol :

- à injecter un coulis de consolidation (CIS MTECH) afin de colmater les vides et palier à la dégradation de la semelle dans le cas d'une fondation en moellons,
- à assurer un chaînage du mur porteur au dessus des semelles de fondations par la placement d'un ou deux ancrages horizontaux de type ARL ou APL en

ped de maçonnerie .

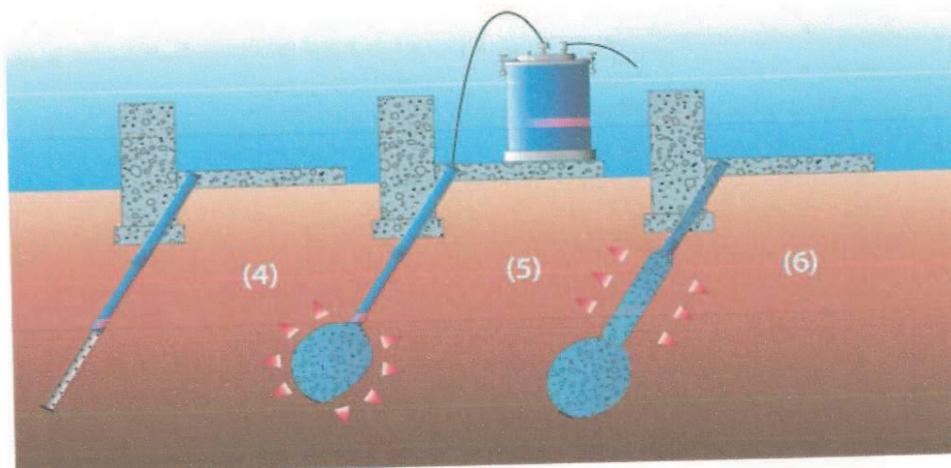
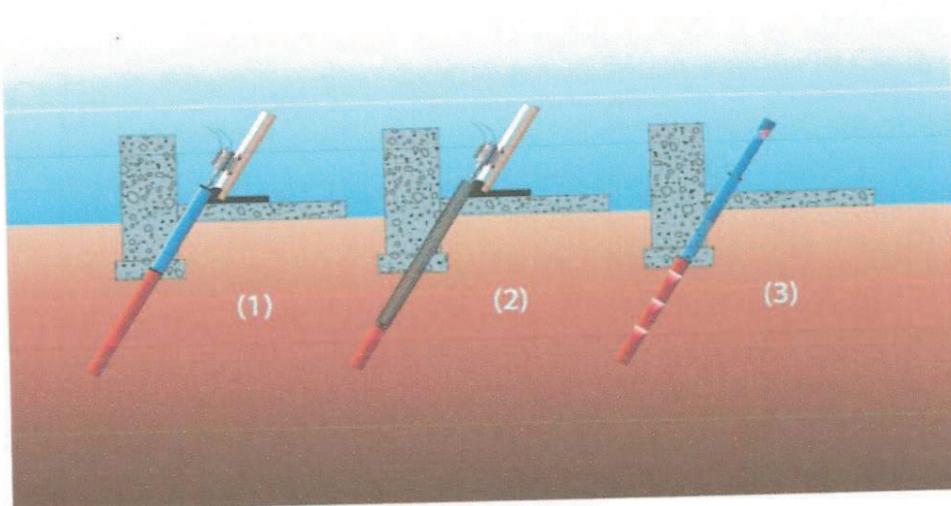
Avantages

Evite des travaux lourds et destructifs de reprise en sous-œuvre dans la plupart des cas (longrines / micropieux) ;
Utilisation d'équipement de forage à faible encombrement et d'accès facile en cas d'intervention dans des zones confinées ;
Evite la création de désordre dans les murs lors des travaux (tassements, décompression) ;
Travail possible dans tout type de sols du fait du caractère hydrophobe des coulis (CA ou CONSOLIDASOL)

Mise en œuvre

PCCH

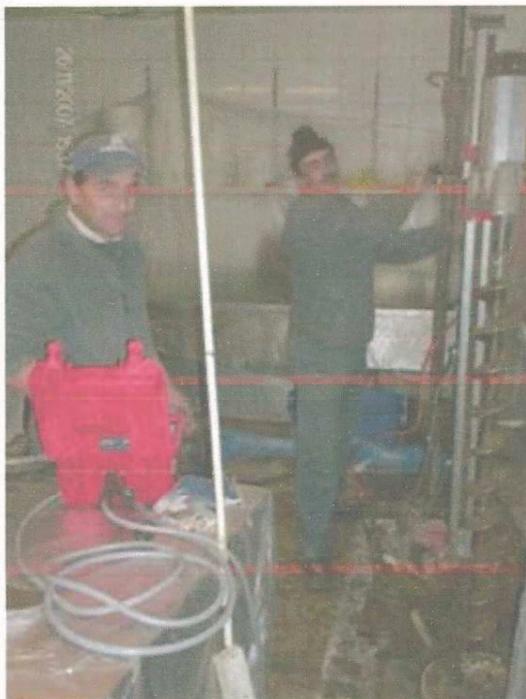
Procedure de mise en oeuvre du P.CCH



Mise en Œuvre du PCCH

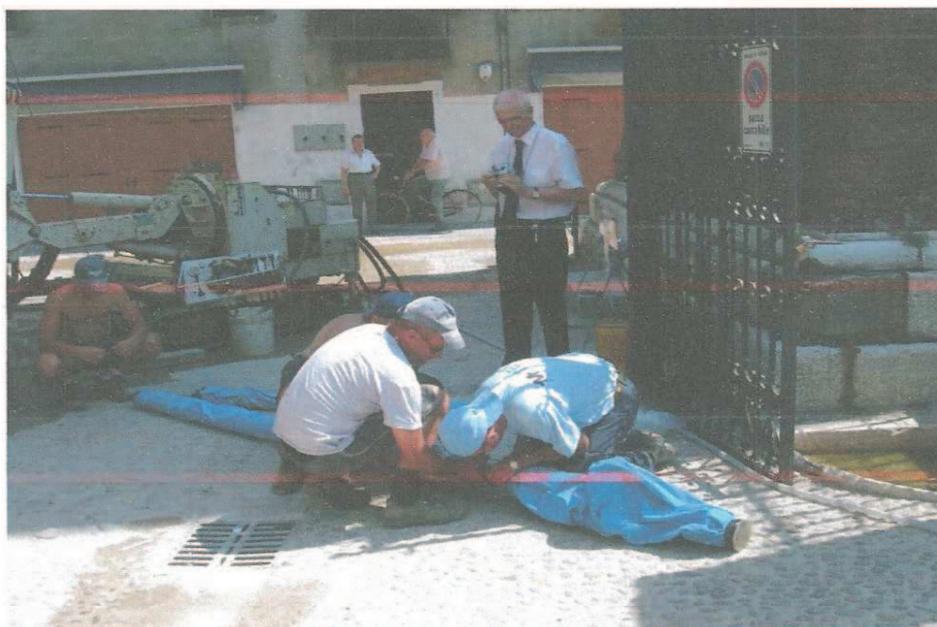
On discerne trois phases dans la mise en œuvre d'un PCCH:

- le forage à travers les massifs de maçonnerie et de fondations existant puis dans le sol (1), (2) (utilisation d'équipement de forage à faible encombrement et d'accès facile en cas d'intervention dans des zones confinées) ;



Forage d'un PCCH à l'intérieur d'un bâtiment

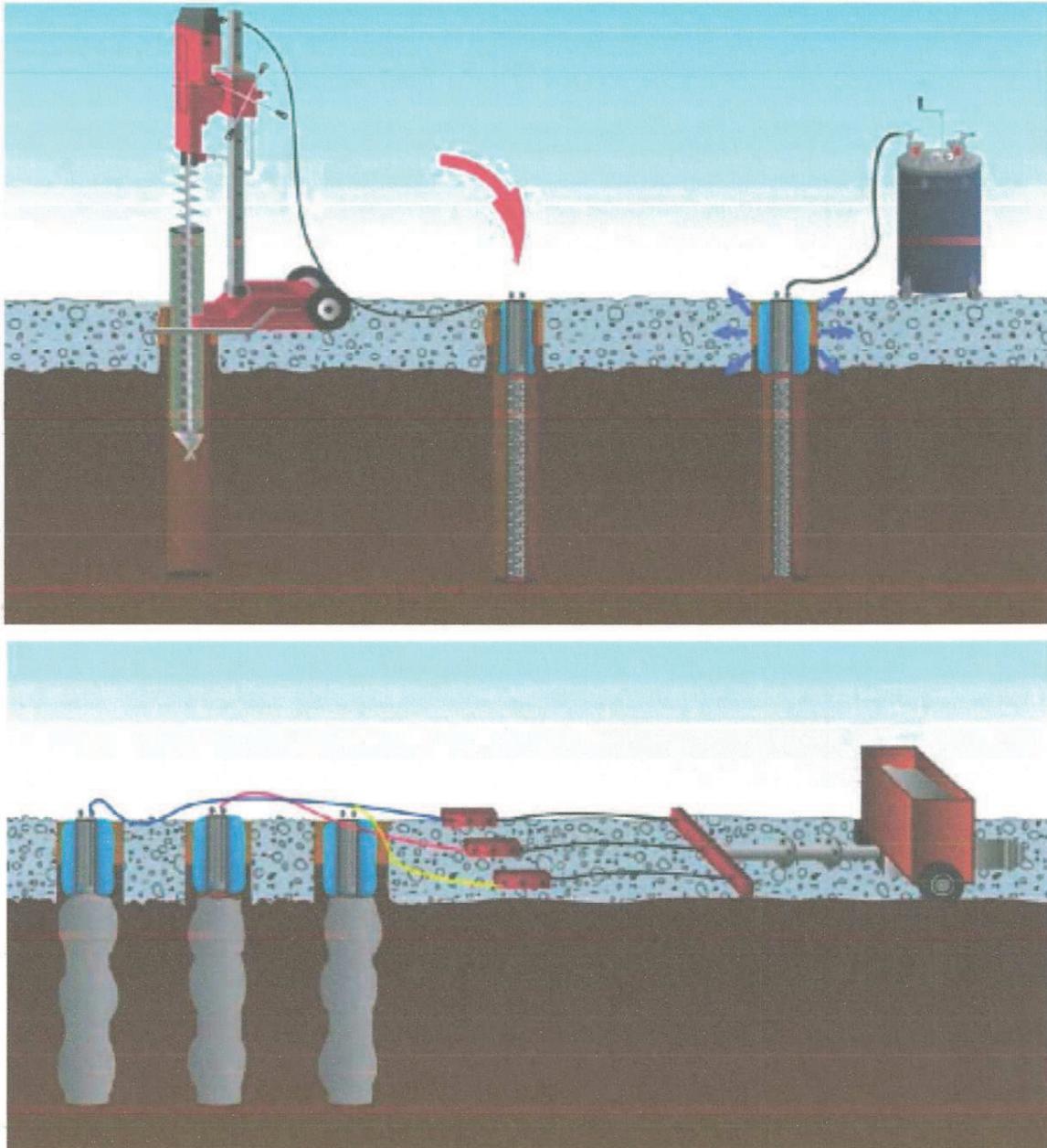
- l'assemblage des éléments du PCCH et leur introduction dans le trou de forage (3), (4) ;



Assemblage PCCH avant introduction dans trou de forage

- la préparation du coulis et son injection par les pipettes prévues à cet effet (5), (6) grâce à un matériel utilisé en peinture, donc simple d'utilisation et peu volumineux. Dans la plupart des cas, la pointe est injectée d'abord à une pression de 10 bars, puis le corps du pieu à une pression avoisinant les 4 bars. Dans chaque cas, des pipettes alimentent ces éléments de manière indépendante, l'injection se fait jusqu'à refus, étant bien entendu que l'air est purgé par un dispositif adéquat.

PIS



Mise en Œuvre du PIS

Seule l'injection différencie le PIS du PCCH en effet Le coulis est injecté en deux phases . La gaine de la partie supérieure est d'abord injectée à une pression de 4 bars, par la pipette en plastique .Après gonflement de la gaine et durcissement du coulis (24 heures) , un verrou est constitué , empêchant le PIS de remonter lors de l'injection du sol . Puis le corps du picot est injecté , 24 heures plus tard, par le tube d'armature, à une pression de 10 bars jusqu'à refus .



Placement picot dans trou de forage (Nîmes – France)



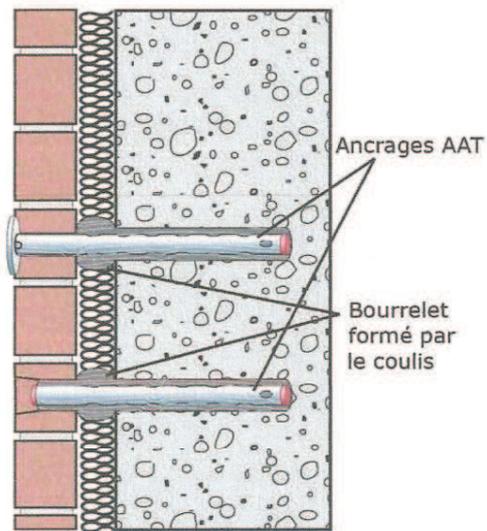
Injection de picots sous une dalle industrielle

4.9 Eléments non structurels

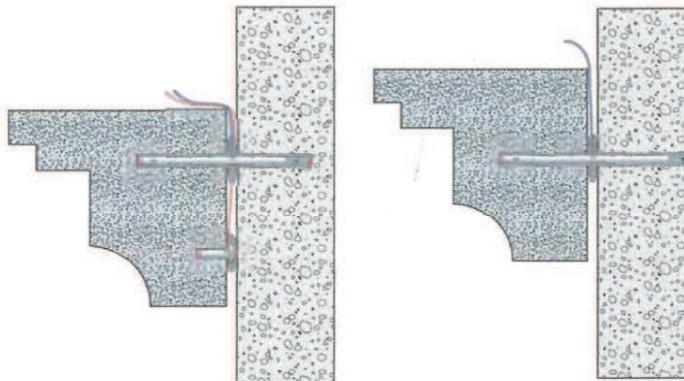
FICHES TECHNIQUES RENFORCEMENT

4.9

SECURISATION D'ELEMENTS NON STRUCTURELS



Exemples d'utilisation de l'ancrage AAT pour la fixation d'un parement



Exemples d'utilisation de l'ancrage ADC pour la fixation d'une corniche



Utilisation de l'ancrage ADC pour le lisonnement d'éléments d'un fontaine (Arabie Saoudite)

Domaine de renforcement

Accrochage d'éléments non structurels de type lourd

Types de bâtiments concernés

Tous bâtiments

Caractéristiques mécaniques visées

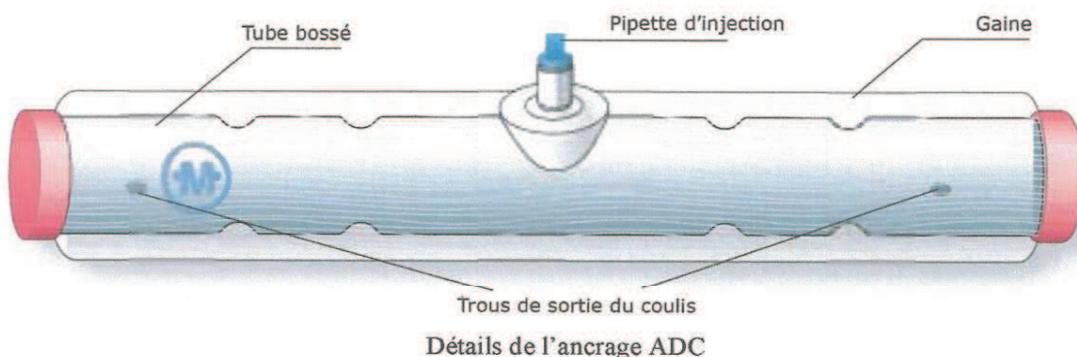
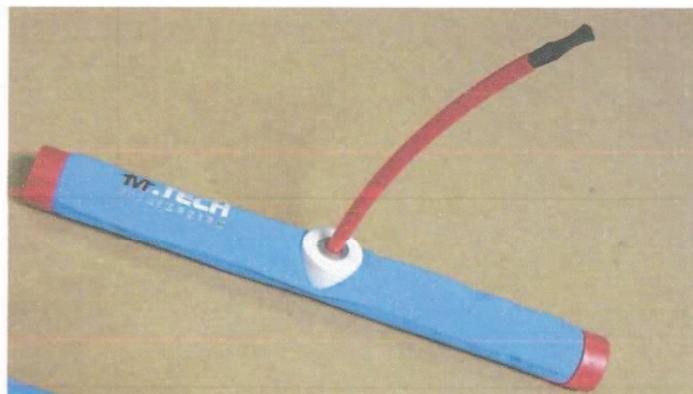
Renforcement des fixations d'éléments non structurels afin d'éviter leur effondrement
Possibilité d'amortir le transfert d'efforts sismiques depuis la structure vers l'élément non structurel

Objectifs

L'absence de liaison suffisante entre éléments non structurels et leurs supports peut aussi entraîner un effondrement de ceux-ci, entraînant lors d'un séisme un risque de pertes en vies humaines.

Type d'ancrage

Les systèmes AAT et ADC sont illustrés ci-dessous pour le renfort de ces des liaisons tout en maintenant tout élément suspendu à la maçonnerie portante.



La versatilité du système ancrages conçu par MTech Patrimonium permet la mise au point de tout type d'ancrage compte tenu de sa fonction mécanique . Récemment des ancrages ont été développés dont le rôle est la dissipation d'énergie lors d'un séisme : en l'occurrence un élément a été développé pour la suspension d'éléments de façades (murs rideaux , panneaux de parements).



Fixation éléments de façade permettant d'amortir l'effet du mouvement de la structure

Avantages

Evite des travaux lourds de reprise en sous-œuvre nécessaires pour sécuriser les éléments non structurels

Etaçonnage réduit car durcissement rapide du coulis

Mise en oeuvre

La fiche technique de mise en œuvre est présentée en annexe 2.

5 - LIMITES D'APPLICATION:

Les systèmes simples exposés dans cette note sont un exemple des possibilités, que propose MTech Patrimonium et sont adaptés à des constructions de faible gabarit (rez+ 2). Au delà de cette hauteur un renfort plus lourd est nécessaire qui peut être une combinaison d'ancrages et d'injections qui devra être étudiée au cas par cas.

6 - BIBLIOGRAPHIE:

- 1- NF P 06-014 - mars 1995 - Règles PS - MI 89 révisées 92
EN 1998-3 2005
- 2- A. Fuentes – Bâtiments en zone sismique – Presses Ponts et Chaussées
- 3- Association française du génie parasismique - Guide des dispositions constructives parasismiques des ouvrages en acier, béton, bois et maçonnerie - Presses Ponts et Chaussées
- 4- M. Tornazevic – Earthquake resistant design of masonry buildings - Series on Innovation in structures and construction – Vol 1 Series editors : A.S. Elnashai & P.J Dowling – Imperial College Press
- 5- Provincia di Perugia : S. Aglietti, L. Aspromonti, F. Campagnacci, G. Canli, C. Corneli, M. Cresti, T. Gaccio, L. Marcaccioli, U. Nasini, B. Pelliccia, F. Pieretti, M. Santantoni, F. Savi, C. Serafini ; Servizio Sismico Nazionale : A. De Sortis, G. Di Pasquale e Gruppo Nazionale Difesa Terremoti / CNR : F. Mollaioli - Terremoto in Umbria e Marche del 1997 – Criteri di calcolo per la progettazione degli interventi – Editrice Sallustiana – Roma 1998 – Revisione 12/99
- 6- R. Antonucci – Restauro e recupero degli edifici a struttura muraria – Analisi e interventi sul « costruito storico » - Maggiorli Editore
- 7- C. Perrodo – Construction parasismique des maisons individuelles – Direction régionale du Sud – Est – UGR Montpellier (Avril 2006) – Socabat
- 8- A.N.I.D.I.S. – Servizio Sismico Nazionale - Coordinatore : F. Braga - Commentario al D.M. 16.01.1996 e alla Circ. N. 65/AA.GG. del 10.04.1992 del Ministero LL.PP.
- 9- Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance – Part 3 : Assessment and retrofitting of buildings – EN 1998-3 :2005
- 10- M. Zacek – Vulnérabilité et Renforcement - Grands Ateliers de l'Isle d'Abeau - Collection : Conception Parasismique - Cahier 2 – Mai 2004
- 11- Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings – FEMA, NEHRP 547 - 2006

- 12 - Michael P. Schuller and Clayford I. Grimm, "Masonry Repair by Grout Injection," June 2-5, 1996, pages 449-457, Proceedings of the Seventh North American Masonry Conference, University of Notre Dame, South Bend, Ind.
- 13 - Warner, J., 2004, Practical Handbook of Grouting, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ
- 14 – Ganz , H.R, Post-Tensioned Masonry – VSL International Report series – Berne – Switzerland
- 15 –Breiholz, D.C., 1992, "Center Core Seismic Hazard Reduction System for URM Buildings," - Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering,
- 16- Repair of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings – FEMA 308 - May 1999
- 17 - Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings - Basic Procedures Manual - FEMA 306 – 1998
- 18 - RGCU – Renforcement parasismique du bâtiment existant –Guide méthodologique
- 19 – Development of procedures to enhance the performance of rehabilitated URM Buildings - National Institute of Standards and Technology – August 1997
- 20 – Amir-Mazaheri D., Bisch P., Capra A., Chenaf M., Davidovici V., Delmotte P. , Taillefer N. , Renforcement Parasismique des Bâtiments - Guide Technique CSTB – Août 2010

ANNEXE 1 – FICHE COULIS CIS MTECH

À base de chaux et de trass, ce type de coulis prêt à l'emploi est spécialement formulé et élaboré pour assainir et restaurer le Patrimoine. Le CIS M.Tech permet d'intervenir dans la restauration et la préservation de bâtiments classés d'une manière réversible et conforme à la nature de la construction. Il peut être utilisé pour l'injection d'ancrages lorsque il faut éviter des points durs dans un support de faible résistance à la compression.



CARACTÉRISTIQUES TECHNIQUES



Le coulis est formulé sur base de chaux blanche, de trass, de ciment portland et de ciment d'alumine calcaire en fonction de la qualité du support (voir courbes ci-dessous).

Les charges sont constituées par des agrégats de calibre complémentaire d'origine quartzite et de scories acides et basiques.

L'ensemble est micro broyé et dosé en usine pour garantir la constance du mélange.

Il est adjuvante d'acide silicique SiO₂.

L'origine du trass est naturelle.

AVANTAGES

1. Aucun ressuage ni efflorescence calcaire grâce à la présence de trass dans la composition du coulis.
2. Le trass réalise une interaction avec le calcaire libre et le fixe au mélange.
3. Après le mixage suivant la prescription, le coulis CIS M.Tech reste en émulsion et présente une viscosité idéale pour la procédure d'injection.
4. La courbe de durcissement décrit la progression lente pendant les premières 24 heures (25% du durcissement final), pour que le coulis puisse se mettre en place et saturer au maximum la maçonnerie.
5. La procédure présente une économie appréciable dans une restauration, parce qu'elle nécessite un équipement peu onéreux. Cette opération apporte en une fois l'assainissement du bâtiment, la stabilisation et le figage des composants libres, sans pour autant bloquer la masse et permet de ré intervenir à tout moment dans le futur.

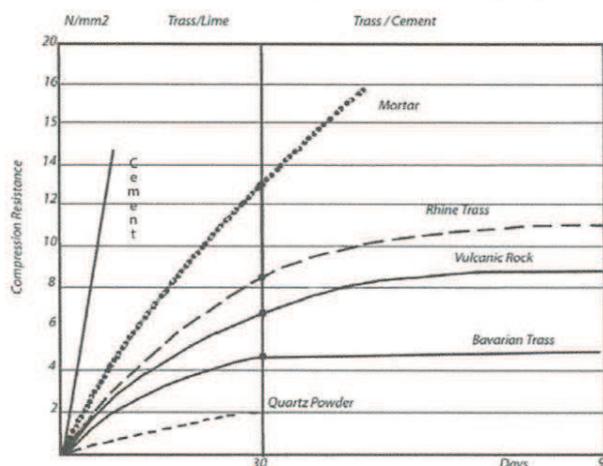
REMARQUES

Le seul ajout autorisé dans le coulis CIS est l'eau claire suivant la prescription, et à une température de plus 3° et en dessous de 25°;

Les forages doivent être rincés et débarrassés des fines qui risqueraient de provoquer une sécation du coulis et d'empêcher son infiltration jusqu'à la microfissure.

Les composants du mortier sont adaptés à la résistance exigée lors de l'injection des ancrages (voir courbe)

COULIS D'INJECTION DE RENFORCEMENT DE MAÇONNERIE ANCIENNE ET D'ANCRAGES
COURBES DES RÉSISTANCES FONCTION DES COMPOSANTS



APPLICATIONS

LA FOUILLE OU MAÇONNERIE DE BLOCAGE

Les murs de bâtiments historiques sont souvent constitués de faces en pierre ou en maçonneries séparés par un espace constitué de matériaux de remplissage (la fouille) qui devient instable avec le temps. Le coulis CIS M-TECH sera utilisé pour créer une maçonnerie de blocage en lieu et place de la fouille.

Principes:

- 1) Rétablir le monolithisme global de la fouille.
- 2) Recoller cet ensemble aux pierres de parement allant jusqu'à combler certains joints ouverts.
- 3) Recharger les liants éteints par un apport en silicates.
- 4) Obtenir de cette cohésion une masse structurelle puissante redonnant à l'ensemble parements/fouilles, une action similaire à celle décrite par Viollet-le-Duc.

Ces principes s'appliquent parce qu'il est impossible de recréer l'action de pile uniquement par les parements, car les joints restent presque inaccessibles.

Il est souhaitable de réaliser au maximum les injections de l'intérieur. Cela évite la destruction des pierres de parement.

**INJECTION D'ANCRAGES**

Il est parfois conseillé d'utiliser le CIS M-TECH pour injecter des ancrages lorsque le support est de faible résistance .

MISE EN ŒUVRE

- Echafaudage intérieur et extérieur à plus ou moins 40 cm des parements.
- Protection des planchers, huisseries, poutres, abords, etc..., par l'application de films bien fixés et ne risquant pas d'être emportés par le vent.
- Placement éventuel des récupérateurs d'eau ou de coulis.
- Nous conseillons, pour le forage, la technique non destructive couronne diamant jusqu'aux 2/3 du mur, ou jusqu'à atteindre les queues de pierres du parement opposé.
- Les trous sont réalisés en oblique +/- 35° vers le bas et de préférence en partant d'un joint.
- L'intervention se fait de bas en haut.
- La situation des forages est classiquement de 1 forage tous les 600 mm par niveau, espacé de 600 mm et en quinconce, de manière à couvrir toujours complètement le volume de maçonnerie injectée. Le diamètre de forage doit être de 26 à 32 mm de diamètre.
- Lorsque le coulis est injecté dans des ancrages, la technique standard de mise en oeuvre est d'application excepté le mélange pour lequel il faut tenir compte de la résistance finale qui est prescrite en fonction de la qualité du support.





- La préparation du coulis est déterminante pour le résultat. La proportion d'eau du mélange de même que la composition du mortier de coulis sera déterminée par M-Tech en fonction du type de support.
- Une attente de 5 minutes est nécessaire entre deux brassages de 10 minutes lors du mélange du coulis.
- La nature du coulis est déterminée d'après l'analyse des carottages, sur base des résultats obtenus sur les joints, les liants, les pierres et la présence ou non de gypse.
- Dans certain cas précis, l'espacement des trous d'injection peut être plus large, suivant le constat permanent réalisé sur les quantités injectées par trou.
- Un relevé des trous sur plan et des quantités injectées par trou doit être réalisé, ainsi que les justificatifs des dites injections (en gardant les sacs vides et numéros par exemple).
- La variation de la fréquence des injections se fait suivant l'appréciation du besoin et l'expérience de l'opérateur de ce genre de procédure. L'expérience et les références de l'opérateur sont essentielles pour espérer un résultat optimal.
- Après avoir réalisé la première injection, le lendemain par exemple, il faut perforer l'éventuel opercule de surface formé par le coulis suite à une séchage rapide au contact de l'air et cela sur +/- 1/3. Il faut ensuite réinjecter jusqu'à refus.
- Il est important de signaler sur note, tout comportement inhabituel comme :
 - plus de coulis dans le trou
 - une nouvelle injection très importante en nombre de litres.

Il est possible de rencontrer des vides ponctuels importants, mais il s'agit parfois de transformations non répertoriées: porte emmurée, passage intérieur, etc... en cas de doute: envisager une endoscopie de visite.

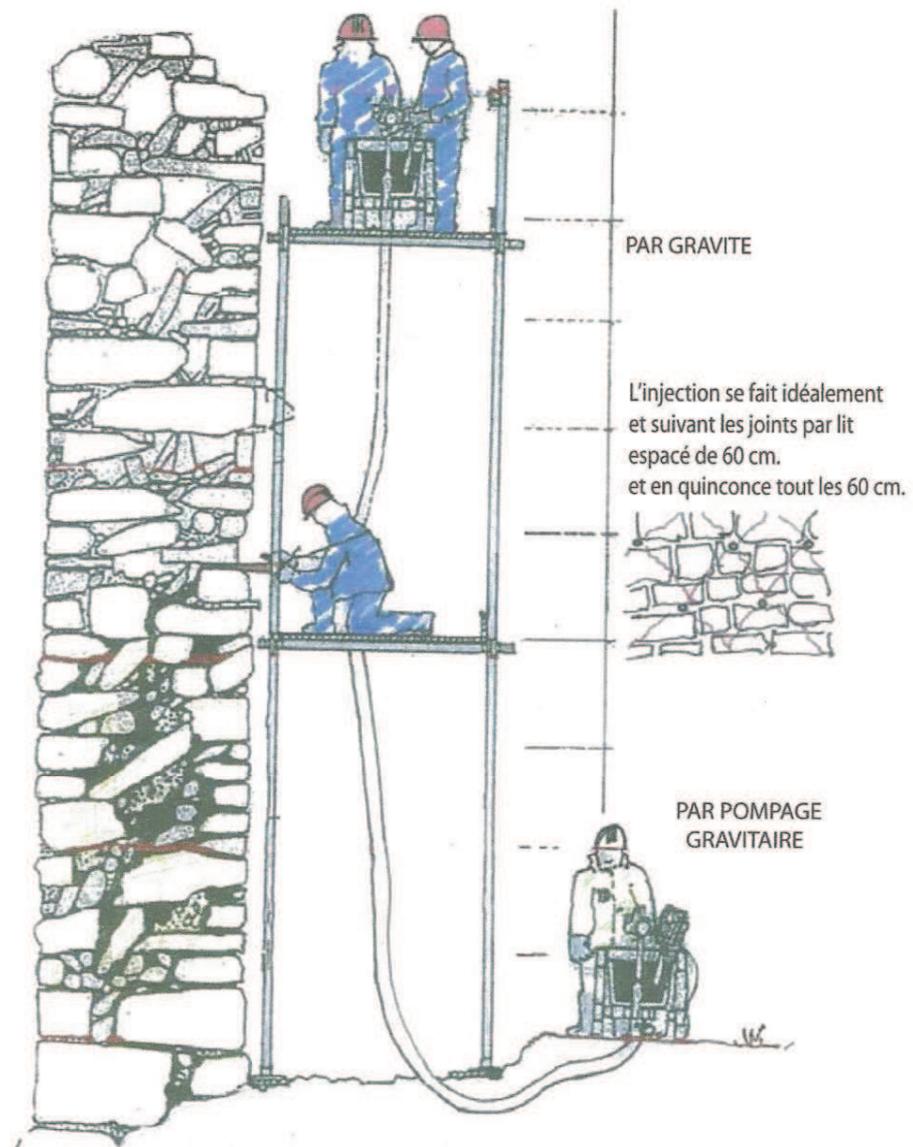
- L'injection se fait sur toute la hauteur. Le coulis est spécialement formulé pour offrir une grande résistance à la compression. Toutefois, il reste souple et compatible avec l'existant et ne risque pas de créer de points durs.

LE MODE DE CALCUL

- L'estimation du volume injectable peut être de 4 à 8 % du volume de la maçonnerie à traiter, par expérience.

Processus de Stabilisation

Principes d'injection de coulis à base de chaux



ANNEXE 2 – Mise en Oeuvre des Ancrages

La mise en œuvre des ancrages consiste principalement en :

- forage
- préparation du coulis
- placement de l'ancrage

Equipement

- Equipement de protection:

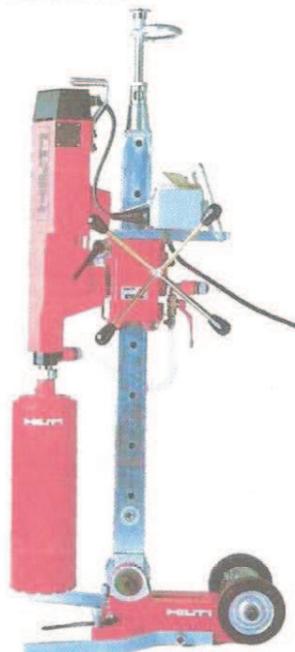
1/-Lunettes et gants imperméables à mettre pendant le mélange du coulis et son injection ,



2/-Casques obligatoires sur tout chantier ,
3/-Consolidation temporaire de la construction si nécessaire ,
4/-Etanchonnage éventuel;

- Equipement de travail:

1/-Foreuse



- 2/-Cuvelle propre pour le mélange du coulis
- 3/-Récipient de jauge
- 4/-Malaxeur

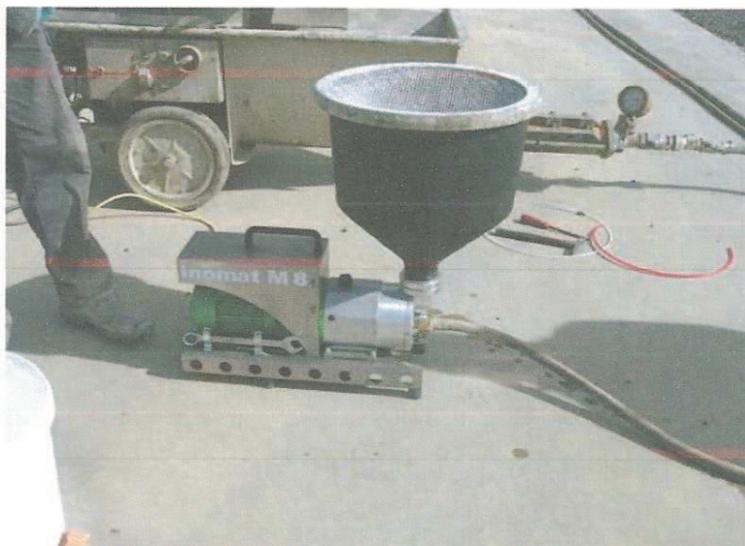


- 5/-Eau claire
- 6/-Passoire
- 7/-Cuve d'injection :



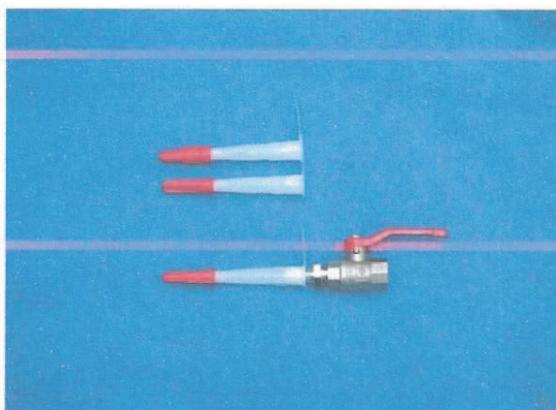
Pot à pression

ou



Pompe à injection

8/-Tuyau d'injection en plastique



Tête d'injection à mastique

ou



Système direct

Forage

Le forage peut être du type :
Humide au diamant – Sec au diamant – rotatif à percussion

La position du forage doit être déterminée suivant les prescriptions avec précision par une marque au crayon ou à la craie.

La foreuse doit être stabilisée afin de garantir l'angle de forage optimal (important surtout lors de placement d'ancrages longs).

Le forage doit être exécuté à la longueur prescrite .

Les carottes sont retirées progressivement afin de vérifier la profondeur du forage . En cas de placement d'ancrages cachés , les carottes initiales sont conservées afin de les remettre après injection des ancres.

Après forage ,il est important de nettoyer toute la poussière et les débris à l'aide d'un jet d'eau ou d'air comprimé.

Le forage est l'occasion de vérifier la qualité du substrat lorsque celui-ci n'a pas été investigué et de vérifier si celle-ci correspond à celle retenue lors de la prescription. Ainsi le foreur signalera à l'ingénieur / prescripteur toute présence de vides dans la maçonnerie de dimensions supérieures à la capacité d'expansion de l'ancrage .

Lorsqu'un forage est réalisé dans un matériau fragile , il est parfois indiqué de protéger le forage de tout éboulement.



Forage d'ancrage à travers pile de pont de chemin de fer (Gand - Belgique)



Forage d'ancrages de chaînage (Chamberry – France)

Placement de l'ancrage (fg 1)

L'ancrage doit être délicatement déballé et inspecté afin de vérifier un déchirure éventuelle de la gaine. Dans ce cas, après que l'entrepreneur en ait informé M-Tech, une réparation peut être effectuée sur chantier grâce au morceau de gaine livré avec les ancrages ou à la colle chaude.

Les longs ancrages devront être introduits après avoir protégé le trou d'entrée afin de ne pas détériorer la gaine lors de l'insertion.

Les ancrages boutables seront assemblés au fur et à mesure de leur insertion en s'assurant de la continuité des pipettes d'injection.

Les ancrages doivent être poussés délicatement dans le trou de forage sans forcer ni rotation.

L'entrepreneur s'assurera que les pipettes d'injection soient bien accessibles de l'extérieur.

Au cas où l'ancrage est caché en phase finale, il sera placé en retrait de la face du support de manière à y replacer les bouchons conservés lors du forage.

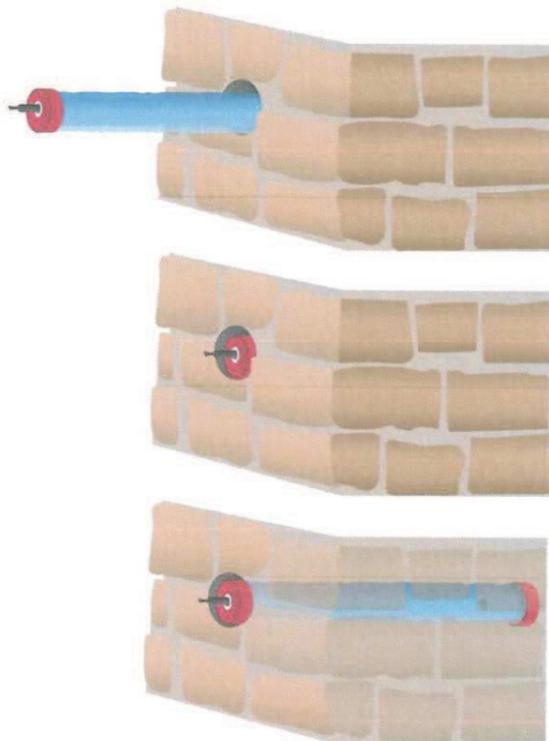


Fig-1 Placement de l'ancrage



Ancrages ARL placés dans mur, avant injection (Anvers - Belgique)

Préparation du coulis et Injection

La poudre de coulis est un mélange surveillé en permanence dont nous garantissons la qualité.

La mise en œuvre se fait par simple ajout d'eau claire suivant la longueur des ancrages et les conditions climatiques. On ajoute 4 à 5,9 litres d'eau pour 25 kg de poudre sèche.

Le mélange se fait au malaxeur en 2 temps :

- verser les 2/3 de l'eau claire dans la cuvelle propre, verser lentement la poudre en malaxant pendant 4 à 5 minutes, (fg 2)
- verser le reste de l'eau en malaxant 3 à 4 minutes,
- le mélange doit être sans grumeaux et suffisamment crémeux.

Il est souhaitable d'éviter les vibrations, chocs et la vérification de la prise pendant les 24 heures après l'injection

Il doit être injecté entre + 3° à + 30° C (pour d'autres conditions, veuillez nous consulter).

La poudre de coulis se conserve en seau pendant 12 mois et en sac pendant 6 mois dans un local sec.

Ce type de coulis nécessite le port de lunettes de protection, de gants étanches et de vêtements en polyamide ou fibre synthétique. Le cas échéant, il faut rincer abondamment à l'eau claire (cf fiche de sécurité en annexe).

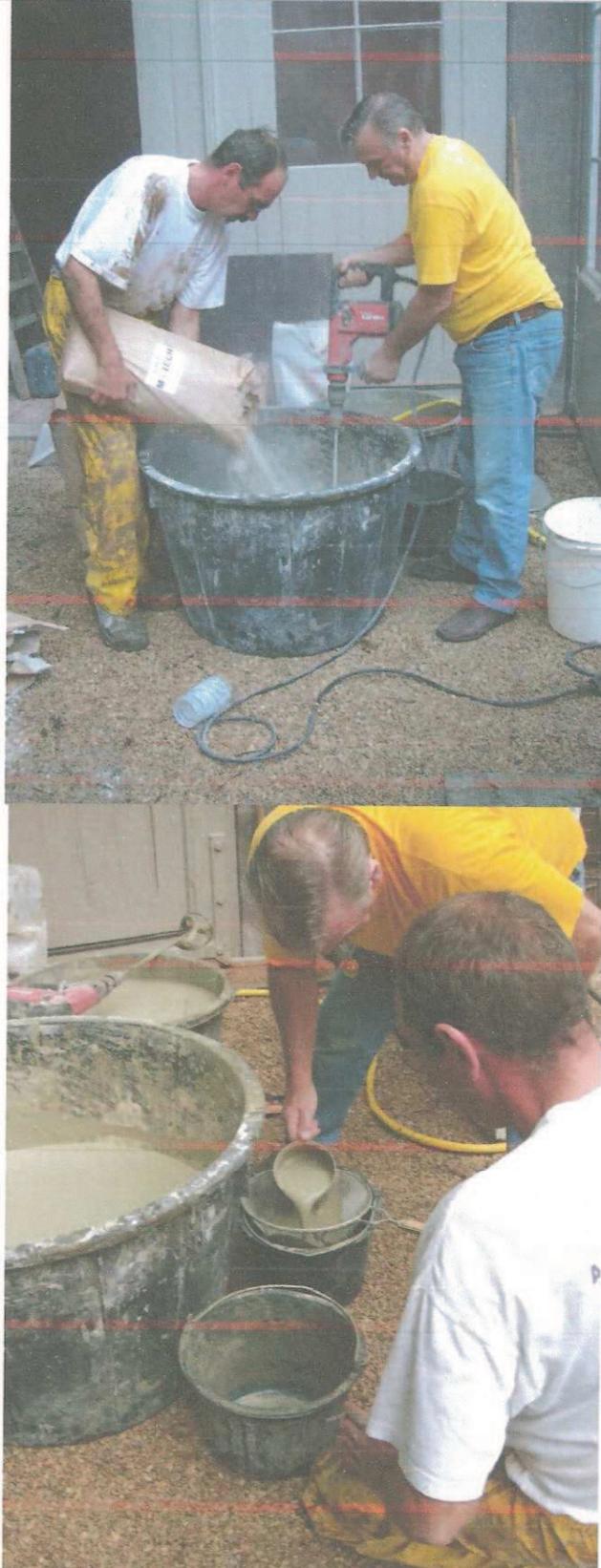


Fig-2 Mélange du coulis

Une fois prêt , le mélange est versé dans un cuve d'injection du type décrit ci-dessus , après avoir filtré les grumeaux comme expliqué ci-dessus (voir fig 3).



Fig-3 Versement du coulis dans la cuve d'injection

Ce type de cuve à l'avantage de permettre une injection à pression constante et débit contrôlé. Les pressions d'injection autorisées par cette cuve sont suffisantes pour la technique des ancrages et du PCCH (2 à 10 bars).

Il est indiqué de vérifier le bon fonctionnement de la cuve au préalable avec de l'eau.

Le tuyau d'injection est fixé à la cuve et la pression contrôlée sur le manomètre. La cuve est en effet munie d'un purge à air et d'un manomètre permettant de régler le processus d'injection (fig 4).



Fig-4 Couvercle de la cuve d'injection

Dans la plupart des cas, l'ancrage est injecté à une pression avoisinant les 4 bars .

Des pipettes alimentent les éléments de manière indépendante en cas de besoin. L'injection doit être exécutée de manière à ce que l'injection se déroule de l'arrière à l'avant de l'ancrage. Pendant l'injection on déplacera l'ancrage légèrement de manière à ce qu'il demeure centré .

L'ancrage sera progressivement bloqué au fur et à mesure du remplissage de la gaine par le coulis . La laitance du coulis s'échappe par l'entrée et l'injection prendra fin lors de l'apparition du coulis en tête d'ancrage .

En fin d'injection , la tête de l'ancrage sera nettoyée immédiatement à l'aide d'une éponge pour en dégager la laitance.

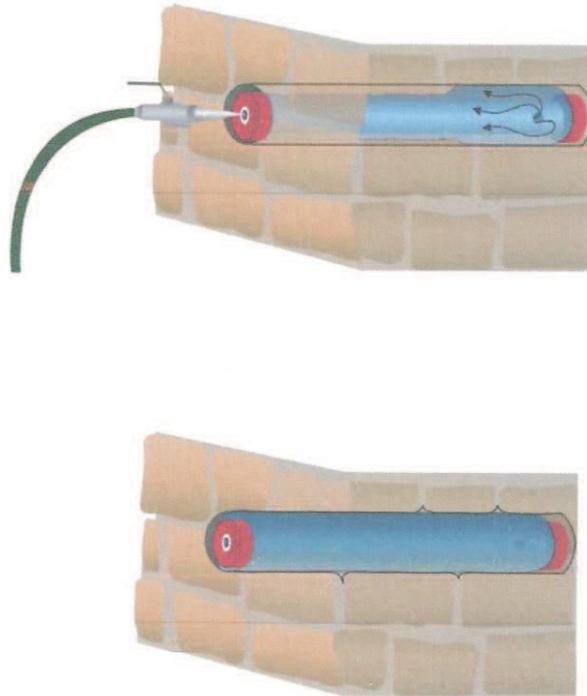


Fig -5 Injection d'un ancrage

ANNEXE 3 – FICHE RESINE RE MTECH

COLLE EPOXY TIXOTROPE POUR TOUT ANCRAGE ET AUTRE COLLAGE CHIMIQUES.

DESCRIPTION

RE MTECH est une colle , à base d'époxy à deux composantes , assurant une adhérence optimale. La colle est thixotrope (colle épaissie). La formulation est développée afin d'obtenir une adhérence maximale pour des supports bois , acier, béton, briques, pierre, fibre de verre, carbone,... La prise est rapide afin de permettre une mise en charge immédiate de la construction ou de l'ancrage.

RE MTECH est livré pré dosé en cartouches ou en seau. Dans le conditionnement en cartouches , le dosage des composants est garanti grâce à un mélangeur spécial livré.

APPLICATIONS

RE MTECH est surtout utilisé pour des ancrages chimiques, collages,... Le comportement pendant le durcissement du produit est un compromis idéal entre le « pot life » (=temps d'application) et le temps de durcissement.

CARACTERISTIQUES

Couleur Gris

Densité 1,1 kg/l

Pot life à 24°C 20 min.

Pot life à 5°C 60 min.

Pot life à 40°C 5 min.

Température maximale >120°C (1 l produit mélanger)

Adhérence Dépasse la cohésion du support (>2,5 N/mm)

Résistance électrique Isolant (R>10⁹)

Résistance UV Non destructible par UV mais couleur est instable

Dosage 2/1 (en cartouche = dosage automatique)

MODE D'APPLICATION

1. Travaux préparatifs:

Afin d'obtenir une adhérence idéale, la préparation du support est très importante. Le support doit être :

- Propre :

- Nettoyer la laitance de ciment.

- Éliminer toutes les parties instables du support.

- Dégraissier les surfaces métalliques pour obtenir une adhérence maximale.

- Dépoussiérer les forages avec de l'air sous pression ou avec une pompe manuelle. En cas d'ancrage composite (fibre de verre ou carbone)

- l'ancrage doit être exempt de poussière avant mise en oeuvre.

- Sec: Assurer une humidité absolue < 5%

Si RE MTECH est utilisé dans un support contenant des vides, il est conseillé d'utiliser des ancrages gainés (Type ancrages CARPO M-Tech).

2. Application:

En conditionnement sous cartouches les deux composantes sont mélangées avec le mélangeur fourni, ainsi le dosage est toujours parfait. Il est très important de ne pas utiliser les premiers centimètres du produit mélangé. Le produit est prêt à l'emploi dès que la couleur du produit mélangé est uniforme.

En conditionnement en sceau les deux composants sont pré dosés. Il est nécessaire de mélanger la totalité des seaux. Au cas où des quantités plus petite sont nécessaires, le dosage (poids) est : 2 parties du composant A pour 1 partie du composant B. Les composants sont mélangés jusqu'à l'obtention d'une couleur uniforme.

Remarques:

- Le durcissement du RE MTECH est rapide, donc il est nécessaire de l'injecter directement après le mélange. Le « pot life » est fonction de la température ambiante et du volume du mélange. Les caractéristiques mécaniques finales sont obtenues après 7 jours.

- Dans le cas d'ancrages longs, il est nécessaire de prolonger le mélangeur avec une rallonge en PE, afin d'obtenir un scellement idéal sur toute sa longueur. Le RE MTECH doit être injecté de l'arrière vers l'avant. Le diamètre de l'ancrage est toujours au minimum 2 mm plus petit que le diamètre du forage. Le diamètre de forage a idéalement un diamètre 4 à 6 mm plus grand que celui de l'ancrage afin de faciliter la mise en place.

- L'épaisseur peut être de 0 à quelques centimètres.