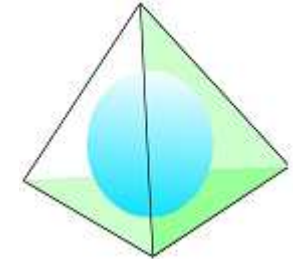


JOURNEE TECHNIQUE

Les ponts en maçonnerie

Du diagnostic à la réparation



ADSTD

Réparation d'ouvrages en maçonnerie :

Rejointoiement, reconstitution et Injections

Jacques BILLON - Cerema / Direction Territoriale Ouest - DIMER / GOA

Les maçonneries

Quelques définitions

***Une maçonnerie est constituée par un assemblage de blocs
(pierres de taille, moellons bruts ou briques)***

***L'assemblage de ces blocs est assuré par un mortier à l'exception des maçonneries
de pierres sèches où la tenue des éléments se fait par contact direct et par
frottements entre éléments.***

Les maçonneries

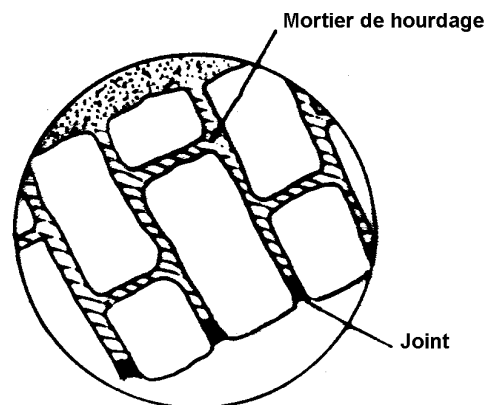
Quelques définitions

On distingue le mortier de hourdage et le joint.

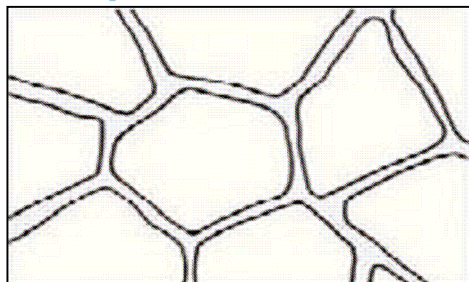
Le mortier de hourdage sert à assurer la liaison entre les différentes pierres et moellons. Ce mortier doit bien remplir l'espace et avoir une résistance mécanique suffisante tant en compression qu'au cisaillement pour transmettre les efforts appliqués dans l'ensemble de la structure.

Le joint se rencontre en parement. Il remplit l'espace entre les pierres de parement et masque le mortier de hourdage dont il constitue la protection vis-à-vis des agressions extérieures. Son rôle principal est d'assurer l'étanchéité de la maçonnerie ainsi que la continuité du parement. Il a également un rôle esthétique.

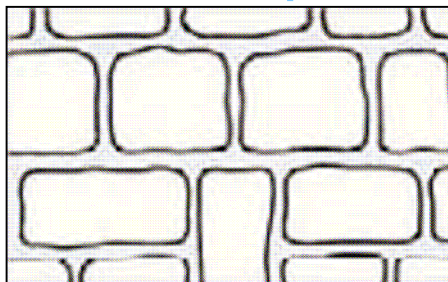
Les maçonneries



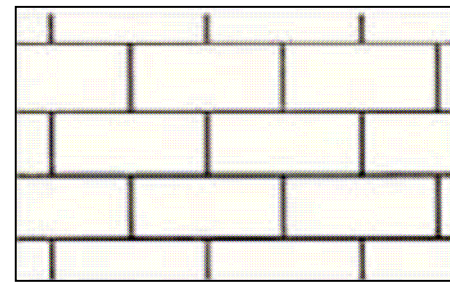
Opus incertum



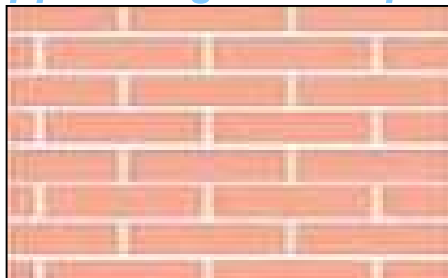
Moellons équarris



Pierres de taille



Appareillage de briques



Les maçonneries

Le disjointoiment est la détérioration des joints tandis que le déjointoiment est l'opération de démolition mécanique des joints pour effectuer ultérieurement l'opération correcte de rejointoiment.

Voici la liste des désordres constatés sur un ouvrage pouvant donner lieu à un rejointoiment ou à des reconstitutions locales :

- Dégradations des joints en place (fissuration, mauvaise adhérence, caractère faible, ramollissement, attaque par la végétation, lacunes).*
- Des concrétions calcaires parfois importantes, signes de circulation d'eau par absence d'étanchéité, laissant craindre une décomposition en profondeur des joints.*
- Mouvements relatifs de moellons entre eux par déstabilisation de la structure.*
- Lacunes de pierres.*
- Désorganisations locales de maçonneries.*

Les maçonneries

En milieu maritime, sur les quais, les joints et les pierres des maçonneries sont particulièrement sensibles aux actions des eaux :

- eaux de surface issues de la plate-forme,*
- eaux internes circulant dans le corps des remblais,*
- eau de mer ;*

Les maçonneries

Disjoiement d'un mur



Concrétions



Les maçonneries



Disjointoiement

Les maçonneries



Mur de quai en pierres sèche
Ne pas rejointoyer

Les maçonneries

Le rejointoiement des maçonneries

Le rejointoiement des maçonneries

Différents types de joints

Le rejointoiement ne concerne que le remplacement des joints et non celui du mortier de hourdage.

Dans les cas extrêmes où la reconstitution du hourdage s'avère être nécessaire, il est fait appel à la technique de l'injection ou du matage pour les altérations peu profondes

Il existe plusieurs formes de joints possibles

Les joints doivent être traités de telle sorte qu'ils permettent l'écoulement des eaux de ruissellement

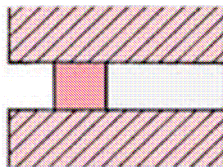
Il convient de proscrire les joints en saillies, qui se brisent sous l'action du gel ou des mouvements de la structure. De même, les joints creux trop profonds >1cm sont à éviter, car ils retiennent l'eau et toutes sortes d'impuretés.

Le rejointoiement des maçonneries

Différents types de joints

Joint à éviter

Trop profond



Trop saillants

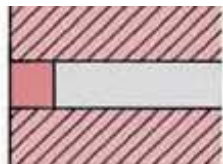


Exécution difficile

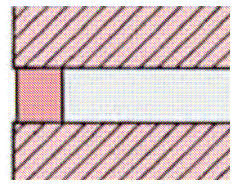


Joint à conseiller

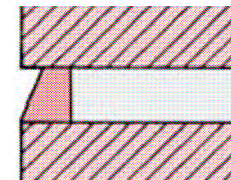
Plat arasé



Plat en léger creux



Formant glaces



Le rejointoiement des maçonneries

Choix de la méthode de rejointoiement

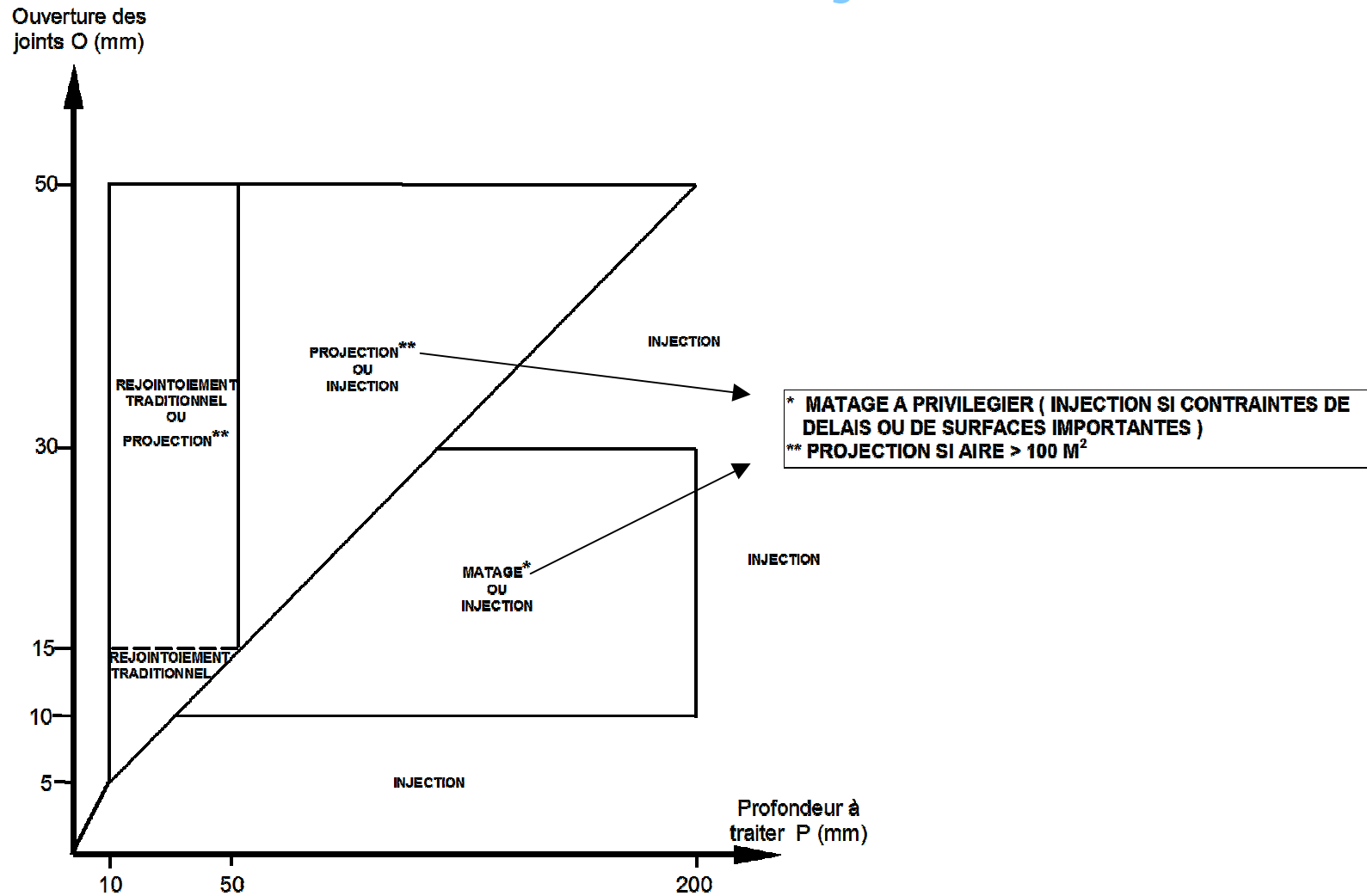
Les méthodes de rejointoiement dépendent :

- des moyens de mise en œuvre du mortier (méthode manuelle dite traditionnelle ou méthode mécanique, par projection, par injection)*
- de l'influence sur la répartition des efforts entre les pierres (méthode passive qui fige l'état actuel ou méthode active qui s'accompagne d'une mise en charge des joints et des pierres avoisinantes, cas des joints matés)*

Remarque : *Dans le cas de traitement de zones marnantes, il devra être procédé de bas en haut pour permettre une meilleure prise du mortier par rapport aux conditions de marée.*

Le rejointoiement des maçonneries

Choix de la méthode de rejointoiement



Le rejointoiement des maçonneries

Choix de la méthode de rejointoiement

Choix de la méthode en fonction de l'ouverture des joints O :

si $O > 15 \text{ mm}$: projection possible, si surface de joint $> 100\text{m}^2$

si $O > 10 \text{ mm}$: joints matés possibles

si $O < 10 \text{ mm}$: fermeture de la surface puis injection

Le rejointoiement des maçonneries

Choix de la méthode de rejointoiement

Choix de la méthode en fonction de la profondeur à traiter P :

si $P > 50$ mm : le rejointoiement dit traditionnel n'est pas adapté

si $P > 200$ mm : la projection n'est plus suffisante. Il faut utiliser l'injection en complément.

Le matage peut être utilisé jusqu'à $P = 20$ cm environ et si la transmission des efforts l'exige. C'est la technique à privilégier dans les petites réparations

S'il apparaît des trous de plus de 5 cm de largeur, il faudra procéder à l'ajout de moellons pour réduire les joints.

Le rejointoiement des maçonneries

Dosage du mortier de rejointoiement

Dosage d'un mortier bâtard de rejointoiement par la méthode traditionnelle (fermeture du joint sur une profondeur réduite) :

400 à 500 kg de liant par m³ de sable avec 1/3 de ciment et 2/3 de chaux hydraulique

Dosage d'un mortier bâtard de matage (bourrage manuel des joints sur une profondeur importante qui doit être suivi d'un rejointoiement traditionnel) :

jusqu'à 600 kg de liant par m³ de sable avec 1/3 de ciment et 2/3 de chaux hydraulique;

NOTA

En milieu maritime, la chaux est proscrite.

A remplacer par du ciment.

Le rejointoiement des maçonneries

Dosage du mortier de rejointoiement

Dosage du mortier mis en place par voie sèche (remplissage des joints sur une profondeur importante) :

Le dosage en liant du mortier une fois mis en place doit être de l'ordre de 400 à 500 kg/m³ de sable

Dosage du mortier mis en place par voie mouillée (remplissage des joints sur une profondeur importante) :

Le dosage en liant du mortier à mettre en place doit être de l'ordre de 400 à 500 kg/m³ de sable.

Le rejointoiement des maçonneries

Dégarnissage des joints

Le dégarnissage des joints existants s'effectue, en principe, sur une profondeur minimum égale à environ 2,5 fois l'épaisseur du joint



*Dégarnissage
mécanique*



- Un calage provisoire est à mettre en place***
- Ne pas fragiliser l'ouvrage en dégarnissant totalement un parement***
- Il faut éviter de dégarnir plus de joints que la capacité de l'entrepreneur ne peut en jointoyer dans un poste continu de travail***

Le rejointoiement des maçonneries

Réalisation des joints



Méthode traditionnelle

Le rejointoiement des maçonneries

Réalisation des joints



Projection par voie mouillée

Le rejointoiement des maçonneries

Réalisation des joints



Projection par voie mouillée

Le rejointoiement des maçonneries

Réalisation des joints



Projection par voie sèche

Le rejointoiement des maçonneries

Réalisation des joints



*Finitions
à la brosse*



Partie finie



Partie avant finition

Le rejointoiement des maçonneries

Epreuve de convenance

**Plusieurs «planches d'essai de rejointoiement» sont à réaliser.
Ce nombre est fonction de la position et de la forme de chaque
partie de l'ouvrage à rejointoyer. Sur ces planches d'essais,
l'entrepreneur exécute :**

- La mise en place des protections contre les intempéries ou le soleil et aussi pour limiter les projections aux alentours*
 - Le dégarnissage des joints*
 - Le nettoyage, le dépoussiérage et l'humidification des joints*
 - Le rejointoiement ;*
 - La finition de forme et de surface des joints ;*
 - La cure ;*
 - Le nettoyage final.*

Le rejointoiement des maçonneries

Epreuve de convenance

IMPORTANT

Lors de l'épreuve de convenance il faut aussi définir :

Comment sont traités les dispositifs, en place, d'évacuation des eaux (barbicanes)

La mise en place de dispositifs d'évacuation des eaux en cas d'absence constatée

Le rejointoiement des maçonneries

Epreuve de convenance

*Au cours de cette épreuve sont contrôlés les rendements, la qualité du travail effectué, le respect des exigences du **marché** en matière de couleurs et de finition de forme et de surface*

*Le **contrôle** porte sur le respect de la **procédure** et la comparaison entre les rejointoiements en cours de réalisation et les résultats obtenues sur les planches d'essai*

Rappel :

*Les contrôles lors **de l'épreuve de convenance** portent aussi sur les produits, matériaux et composants, le matériel, la présence et la compétence du personnel d'exécution et la préparation du mortier*

Le rejointoiement des maçonneries



Le rejointoiement des maçonneries



Les maçonneries

La reconstitution des maçonneries

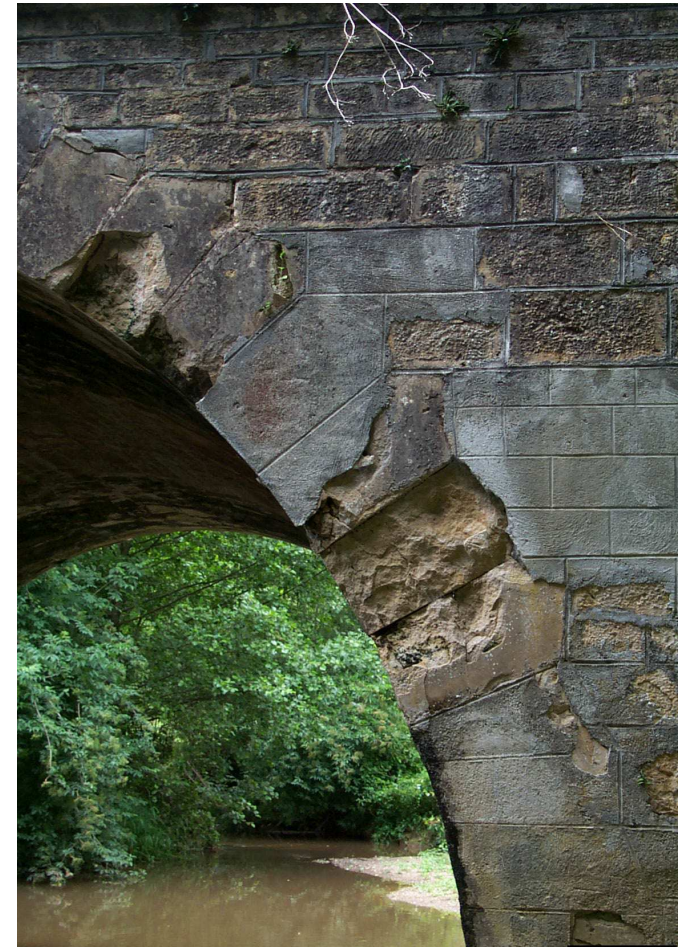
La reconstitution des maçonneries

Dégradation des pierres



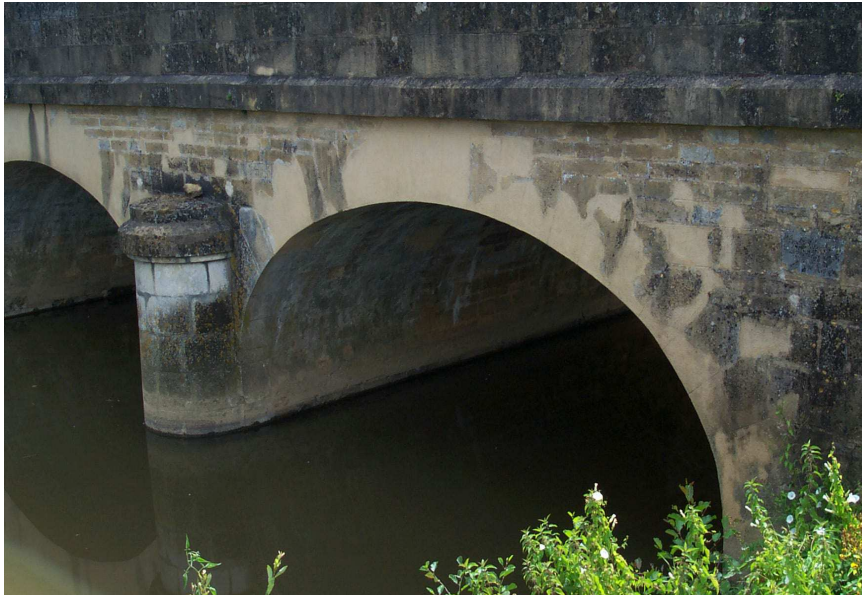
La reconstitution des maçonneries

Dégradation des pierres



La reconstitution des maçonneries

Anciennes réparations



La reconstitution des maçonneries

Ce qu'il faut faire - Différentes méthodes

Méthode à base de mortiers de restauration

- ❑ Nettoyer les parements pour enlever toutes les salissures
- ❑ Recouper la pierre jusqu'à l'obtention d'une surface de reprise saine
- ❑ Armer le mortier à mi-épaisseur, à l'aide d'armatures inoxydables dans la masse (goujons et fils en acier inoxydable ou en laiton...) lorsque les parties à ragréer ont plus de 0.02 m d'épaisseur.
L'armature permet de limiter et de répartir en une microfissuration uniforme le retrait du mortier et, ainsi, d'améliorer son adhérence et sa durabilité

La reconstitution des maçonneries

Ce qu'il faut faire - Différentes méthodes

Méthode à base de mortiers de restauration

- Ne pas réaliser de réparation en forme de sifflet : l'extrémité de quelques millimètres d'épaisseur risque de se décoller très rapidement par «grillage» du mortier. Ces mortiers ne sont pas applicables pour des réparations de grande surface*
- Humidifier la pierre et la laisser ressuer*
- Appliquer le mortier de restauration à la taloche ou à la truelle en le serrant fortement mais sans lisser*
- Enlever les balèvres avec la tranche d'une truelle*
- Prévoir une mise en place en deux couches, si l'épaisseur à mettre en œuvre est comprise entre 5 et 10 cm. La seconde couche doit être mise en place dès le raidissement de la première*

La reconstitution des maçonneries

Ce qu'il faut faire - Différentes méthodes

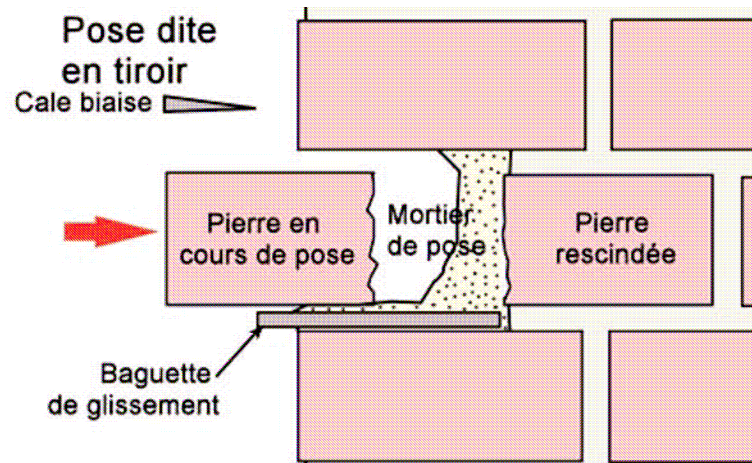
Méthode à base de mortiers de restauration

- ❑ *Respecter les joints de l'appareillage par mise en place de petites bandes de polystyrène expansé de la largeur du joint désiré avec rejointoiement ultérieur, après enlèvement des bandes de polystyrène. Les armatures doivent, bien sûr, aussi respecter les joints de hourdage*
- ❑ *Effectuer la finition de surface après durcissement du mortier, selon l'aspect des pierres de la maçonnerie et avec les outils adaptés (chemin de fer ou rabotin, sciote, boucharde, gouge...)*
- ❑ *Dépoussiérer et laver le parement ainsi reconstitué après les travaux de finition*
- ❑ *Protéger les surfaces ragréées des intempéries (vent, soleil, pluie et gel) pendant au moins deux jours.*

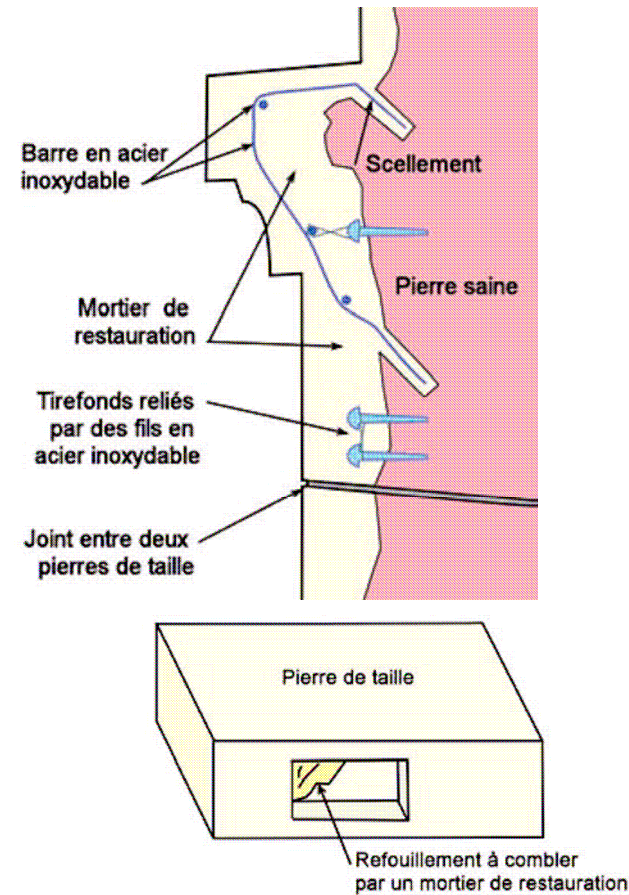
La reconstitution des maçonneries

Ce qu'il faut faire - Différentes méthodes

Méthode traditionnelle



Méthode à base de mortiers de restauration



La reconstitution des maçonneries

Ce qu'il faut faire - Différentes méthodes

Méthode à base de mortiers de restauration



Pose en tiroir



Cette technique de réparation donne à long terme un bon aspect, qui va se confondre avec le reste du parement de briques

Les maçonneries

Les injections

Les injections

L'injection permet :

- ❑ *De colmater et d'étancher les fissures*
- ❑ *De régénérer les mortiers et donc d'étancher les ouvrages et d'éviter le délavage des matériaux*
- ❑ *D'améliorer les résistances mécaniques*
- ❑ *De stabiliser les ouvrages dans le cas de l'injection du massif encaissant (sol ou rocher fissuré)*

L'injection est une technique non destructive qui permet de traiter l'ouvrage à cœur et de lui redonner des caractéristiques proches de celles d'origine.

Les injections

Choix des produits et méthodes

Le choix d'un produit et d'une méthode doivent être le résultat d'une étude préliminaire qui aura défini :

- ❑ *Les contraintes auxquelles l'ouvrage est soumis*
 - ❑ *La nature des matériaux in-situ*
 - ❑ *Les pathologies et leur répartition*

Les injections

Coulis

Paramètres devant être maîtrisés par l'entreprise pour la composition du coulis :

Liants :

- ciment
- chaux (proscrit en travaux maritimes sous l'eau)
- résines (à éviter)

Charges (sables, bentonite...)

Adjuvants (plastifiant, super plastifiant, entraîneur d'air...)

Eau

Les injections

Coulis

Les produits d'injection doivent posséder les qualités suivantes :

- ❑ *Une facilité d'injection quel que soit le type de coulis*

- ❑ *Un faible retrait et une faible décantation*

- ❑ *une bonne injectabilité **sous faible pression** pour éviter des désordres dans la maçonnerie*

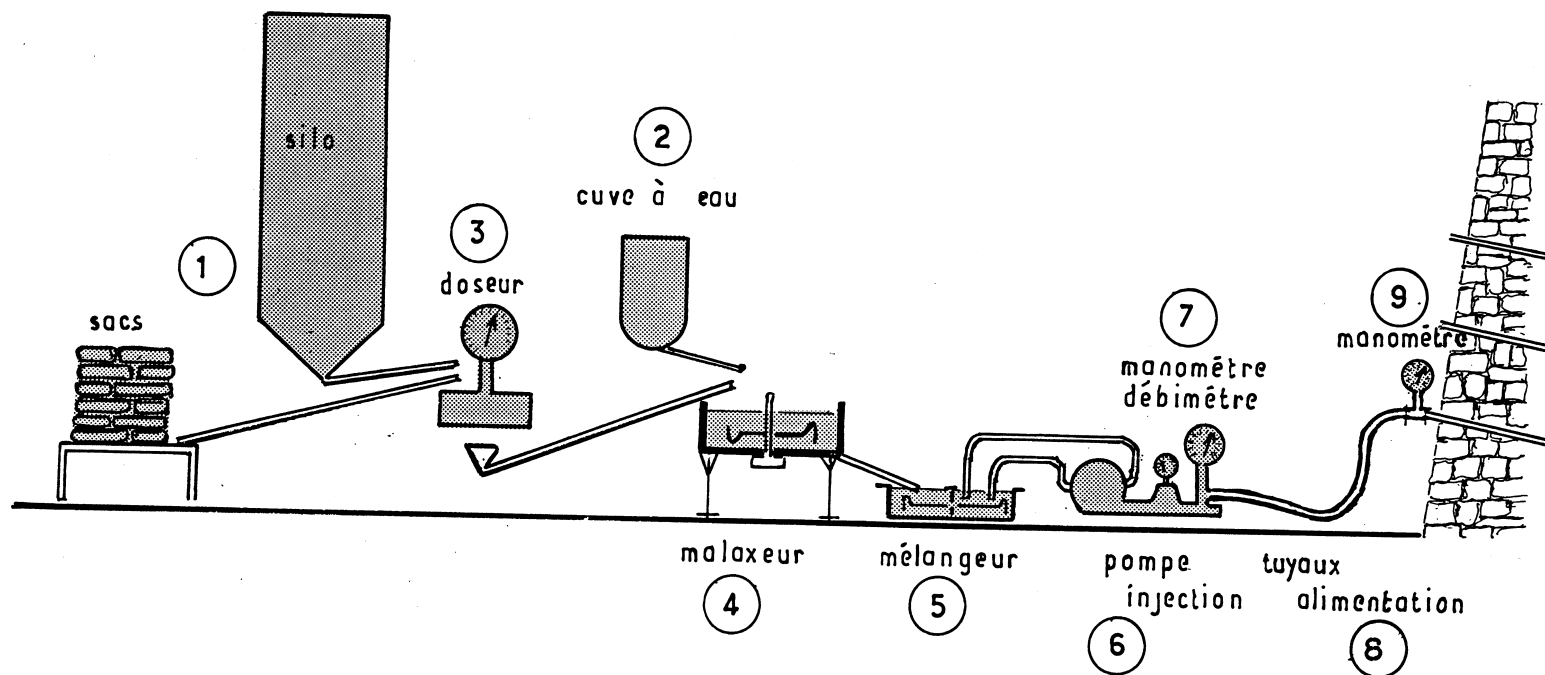
- ❑ *Une stabilité de leurs caractéristiques dans le temps après injection*

Les injections

Matériel

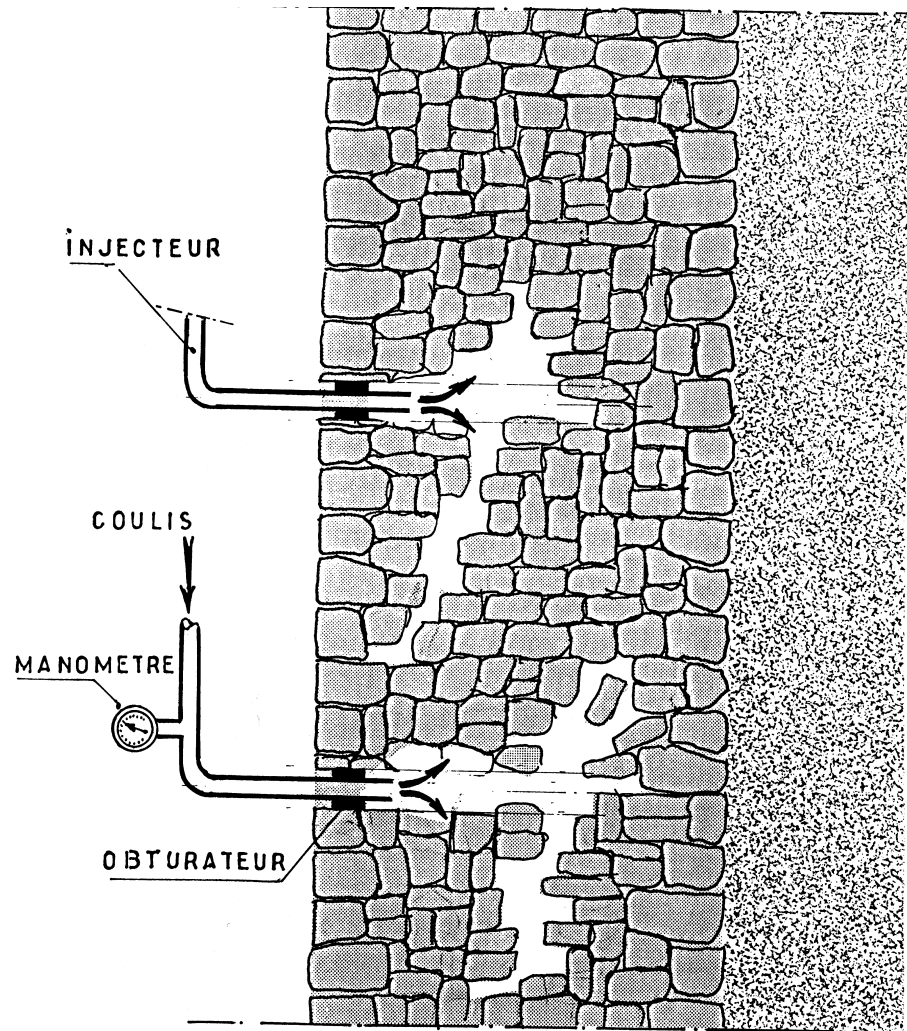
La centrale d'injection comporte :

- ❑ un malaxeur à haute turbulence
- ❑ un bac de reprise (ou mélangeur) pour pouvoir injecter en continu et maintenir le coulis en suspension



Les injections

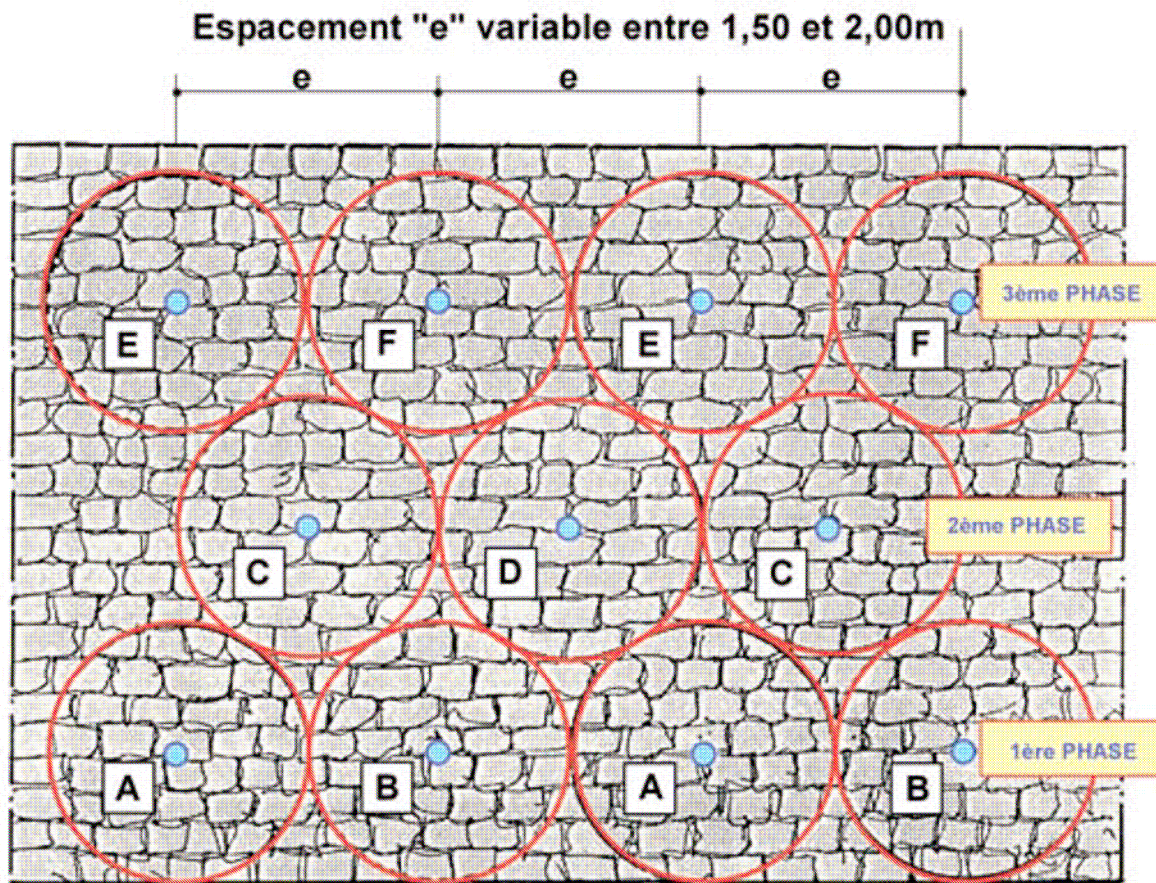
Mise en œuvre



*Injection directe
sur parement vertical*

Les injections

Mise en œuvre

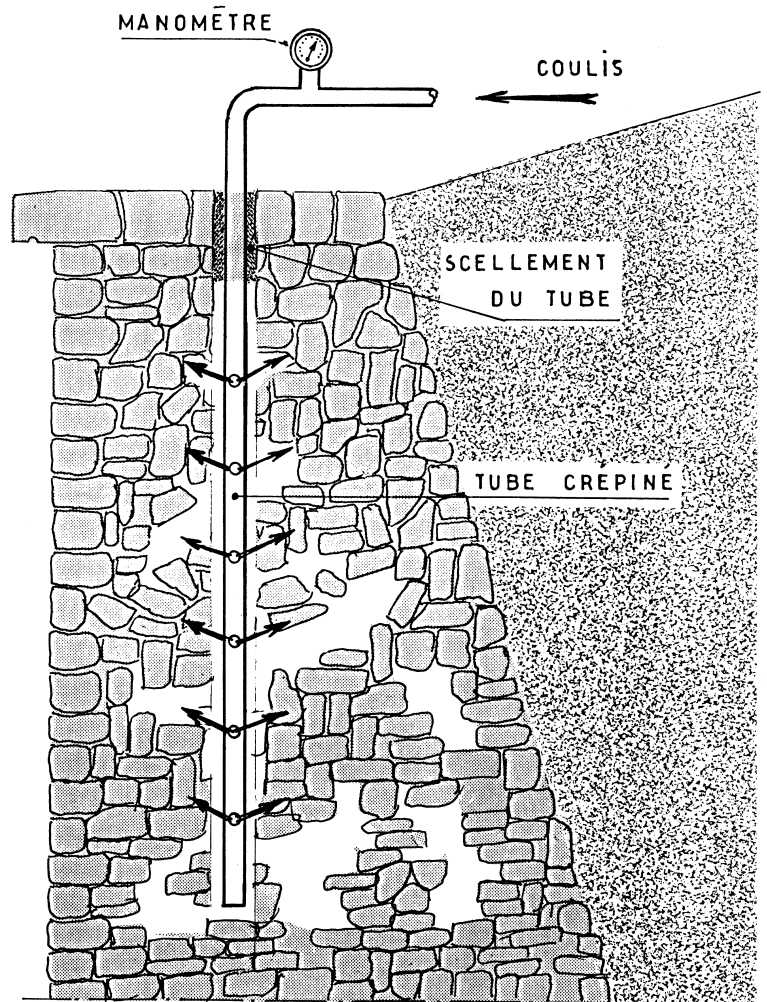


*Injection directe
sur parement vertical*

Phasage

Les injections

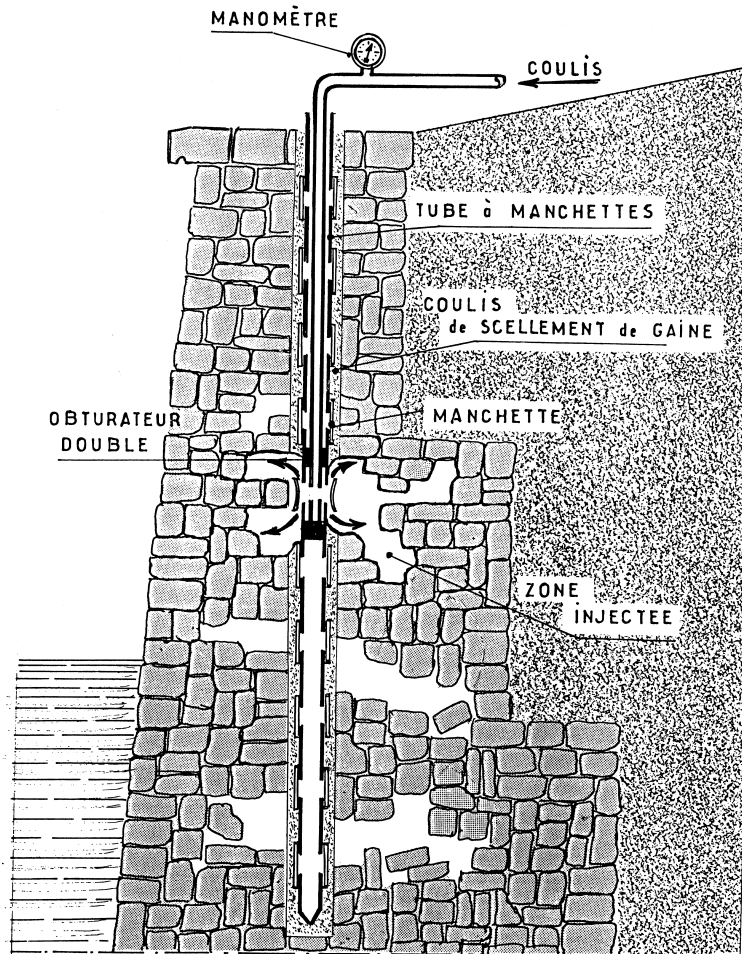
Mise en œuvre



*Injection directe
par canne d'injection*

Les injections

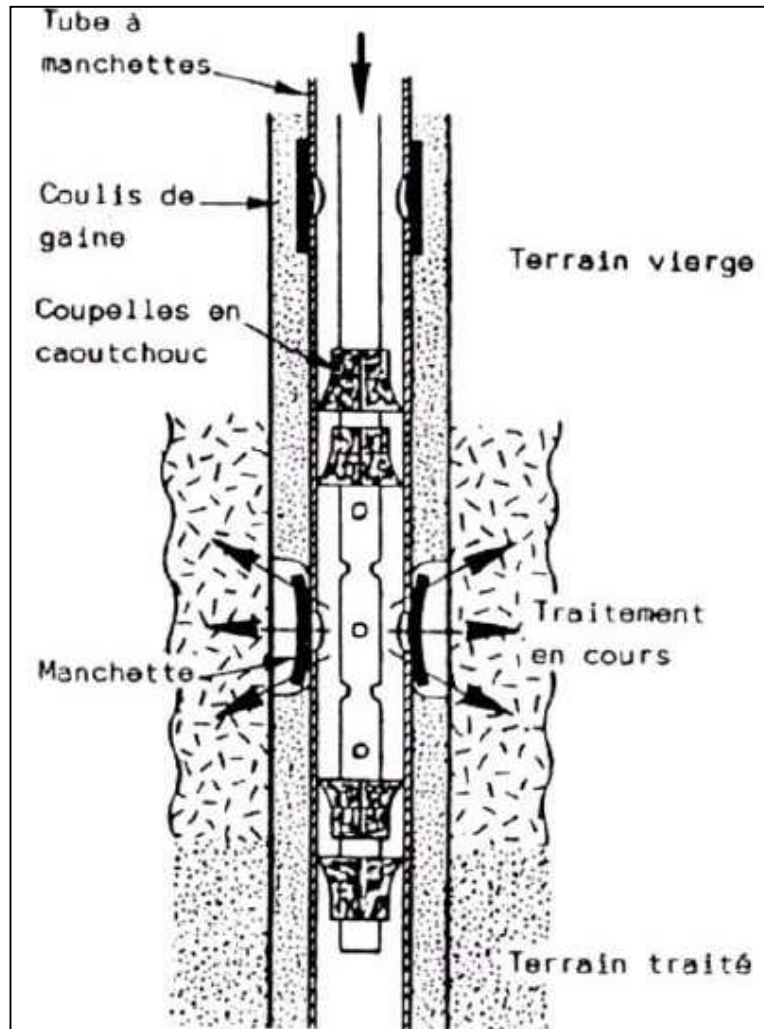
Mise en œuvre



*Injection par canne
d'injection
dans tube à manchettes*

Les injections

Mise en œuvre



*Détail d'injection d'un sol
par tube à manchettes*

Les injections

Mise en œuvre



Les injections

Mise en œuvre

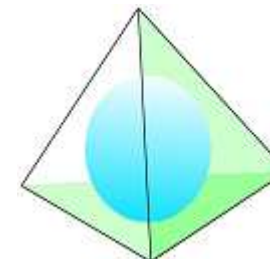


Les injections

Mise en œuvre



Merci



ADSTD

Jacques BILLON
Chargé d'Etudes Ouvrages d'Art

Direction Territoriale Ouest
DIMER / GOA

+33 (0)2 40 12 83 84
jacques.billon@cerema.fr