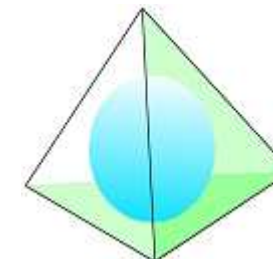


JOURNEE TECHNIQUE

Les ponts en maçonnerie

Du diagnostic à la réparation



ADSTD

Réparation et renforcement des voûtes

Bernard JACQUIER - Cerema / Direction Territoriale Centre Est - DLL / OASMD/DOA

Réparation et renforcement des voûtes

Les techniques de renforcement des voûtes en maçonneries sont les techniques générales de confortement des maçonneries présentées précédemment:

- ***Rejointoiement.***
- ***Reprises de maçonneries.***
- ***Injection de maçonneries.***
- ***Injection de fissures.***
- ***Mise en œuvre de tirants.***
- ***Mise en œuvre d'épingles.***

Cet exposé concerne une autre technique de renforcement des voûtes, les contre-voûtes de renforcement.

Contre-voûtes de renforcement

Une voûte peut être renforcée par:

- ***Une contre-voûte en extradados.***
- ***Une contre-voûte en intrados.***

Ces contre-voûtes servent à augmenter la capacité portante de la voûte existante.

Elles sont nécessaires en cas:

- ***d'état pathologique avancé de la voûte existante qui ne peut être stabilisée par les techniques classiques (Injections, reconstitutions de maçonneries, épinglage, enserrement),***
- ***de forte augmentation des charges reprise par la voûte (élargissement, passage de convois exceptionnels, ..).***
Dans ce cas une vérification et un renforcement éventuel des appuis est aussi à prévoir.

Contre-voûtes en intrados

Trois techniques principales:

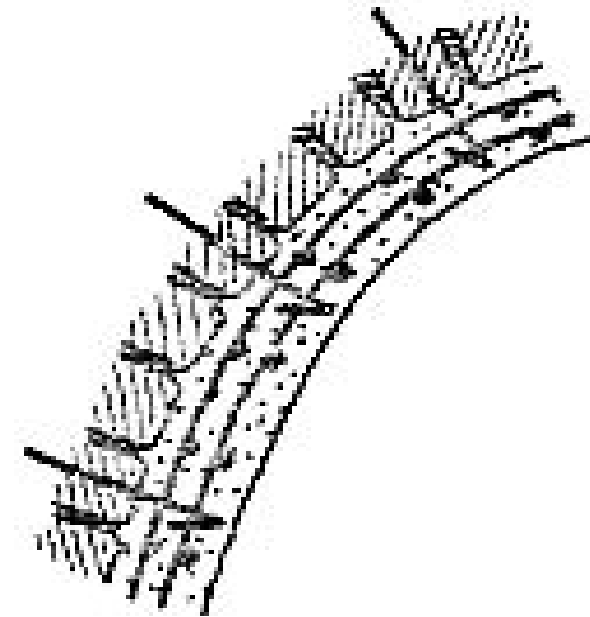
- *Béton projeté en sous-face.*
- *Cintres métalliques avec remplissage béton ou béton projeté.*
- *Coque avec remplissage béton.*

Contre-voûtes en intrados

Béton projeté en sous-face

Sa réalisation nécessite:

- *Un nettoyage de la voûte avec enlèvement des parties non adhérentes.*
- *La mise en œuvre d'épingles de liaison et de support du ferrailage.*
- *La mise en œuvre du ferrailage.*
- *La projection du béton*

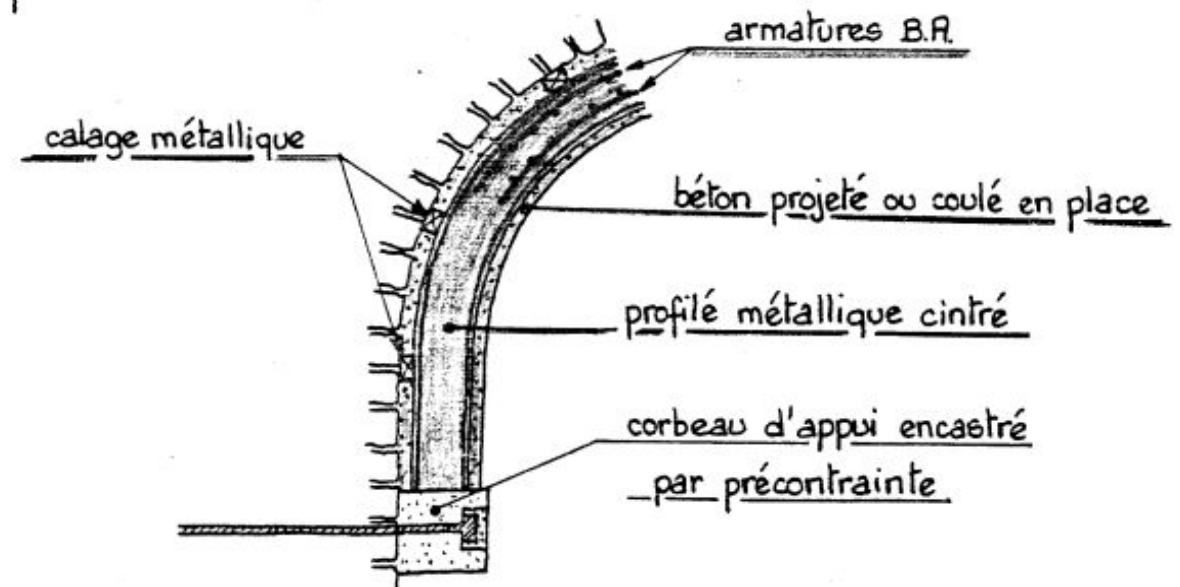


Contre-voûtes en intrados

Cintre métallique avec remplissage en béton

Sa réalisation nécessite:

- *La fabrication et la mise en place de cintres en profilés métalliques avec calage en force entre cintre et intrados.*
- *La mise en œuvre d'épingles de support du ferrailage.*
- *La mise en œuvre du ferrailage.*
- *La projection du béton*

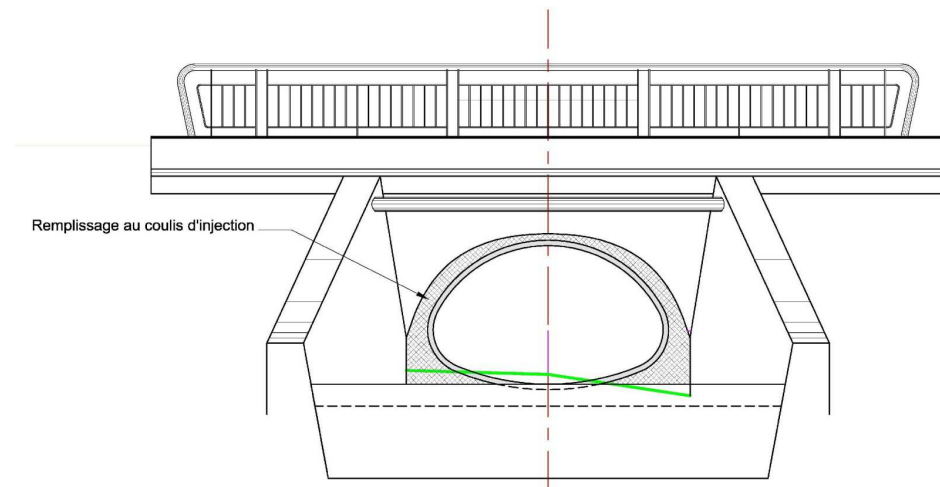


Contre-voûtes en intrados

Coque avec remplissage en béton

Sa réalisation nécessite:

- *La mise en œuvre éventuelle d'épingles de support du ferrailage et d'un ferrailage.*
- *La fabrication et la mise en place d'une coque (Béton, métal, matériaux synthétiques,), servant de uniquement de coffrage ou participant à la résistance générale.*
- *L'injection de béton ou mortier entre la coque et la voûte.*



Contre-voûtes en intrados

Précautions:

- ***Vérifier que la diminution du débouché hydraulique est acceptable (étude hydraulique nécessaire).***
- ***Vérifier qu'on n'ait pas un accroissement trop important de la vitesse de l'eau dans l'ouvrage (surtout coques en résines).***
- ***Assurer une bonne reprise des efforts arrivant aux pieds de la contre-voûte (appui de la contre-voûte sur longrine brêlée sur les appuis de l'ouvrage ou sur fondations indépendantes).***
- ***Permettre une bonne évacuation des eaux arrivant sur l'extrados de la voûte en maçonnerie (mise en place d'une étanchéité, création ou remise en état des barbacanes traversant la voûte en maçonnerie et prolongement à travers la contre-voûte).***

Contre-voûtes en intrados

Avantages:

- ***Pas ou peu de gêne pour la circulation sur l'ouvrage pendant les travaux.***

Désavantages:

- ***Accès pour travaux difficile.***
- ***Réduction du débouché hydraulique et augmentation des vitesses d'écoulement et du niveau à l'amont (nécessité d'une étude hydraulique).***
- ***Travaux en rivière donc respect des procédures « Loi sur l'eau ».***
- ***Modifie l'aspect de l'ouvrage.***
- ***Nécessite une reprise des dispositifs de drainage ou éventuellement la réalisation d'une nouvelle étanchéité pour éviter les problèmes de rétention d'eau dus à la contre-voûte.***
- ***Dispositif compliqué de transfert des efforts sur les appuis de l'ouvrage.***

Contre-voûtes en extrados

Principe de réalisation:

- *Éventuellement stabilisation de la voûte si elle est très dégradée.*
- *Démolition de la chaussée (éventuellement travail par demi chaussée avec alternat).*
- *Décaissement de l'ouvrage (éventuellement par demi ouvrage avec blindage).*
- *Nettoyage de l'extrados de la voûte.*
- *Mise en place d'une connexion, du ferrailage et coulage du béton de la contre-voûte (mise en place éventuelle de coffrage suivant géométrie de l'extrados et plasticité du béton. Possibilité d'utilisation de béton projeté)*
- *Étanchement de la contre-voûte et des murs tympans et remplissage, ou remplissage et mise en place d'une étanchéité intermédiaire ou haute (remplissage symétrique ou calculs).*
- *Réalisation de la nouvelle chaussée.*

Contre-voûtes en extrados

Étalement

- *Utilisation de cintres ou tours d'étalement.*



Contre-voûtes en extrados

Décaissement

- *Reconnaissance du niveau de l'extrados (sondages).*
- *Décaissement symétrique, ou calculs en cas de décaissement dissymétrique en tenant compte du poids des engins de terrassement et d'évacuation des remblais.*
- *Décaissement manuel à proximité de la voûte et des murs tympans et en retour*



Sondage et décaissement



Voûte après décaissement

Contre-voûtes en extrados

Ferrailage et bétonnage



Contre-voûtes en extradados

Étanchement et remplissage

- **Étanchéité basse**

- *Surface importante (intrados et murs), découpes, mise en place et assemblages compliqués, difficultés pour remblaiement, reprises ultérieures difficiles, bonne protection contre efforts dus à la circulation et variations de température, coupure totale de circulation nécessaire.*

- **Étanchéité intermédiaire**

- *Mise en œuvre facile, remblaiement relativement facile (sur voûte puis sur étanchéité), reprises ultérieures possibles facilement, bonne protection contre efforts dus à la circulation et variations de température, possibilité d'alternat si décaissement faible, nécessite une épaisseur de remblais à la clef importante, prévoir drainages longitudinal et transversal en extrémités des eaux bloquées par l'étanchéité.*

- **Étanchéité haute**

- *Remblaiement facile (avant étanchement), nécessite une surface présentant une rigidité importante (dalle BA, ou une vingtaine de cm de grave bitume ou béton bitumineux), technique courante, possibilité d'alternat. prévoir drainages des eaux bloquées par l'étanchéité en extrémité d'ouvrage.*

Contre-voûtes en extrados

Étanchement et remplissage



Étanchéité
basse

Remplissage sur
Étanchéité intermédiaire



Contre-voûtes en intrados

Précautions:

- ***Veiller à la stabilité de la voûte lors du décaissement, du bétonnage et du remblaiement (essayer de diminuer les chargements dissymétriques sur la voûte ou en calculer les effets).***
- ***Éviter d'endommager l'extrados et les faces intérieures des murs lors du décaissement (sondages et terrassements manuels à proximité des maçonneries).***
- ***Procéder à un bon nettoyage de l'extrados avant coulage (balayage, nettoyage au jet à haute pression,) pour permettre un bon accrochage du béton sur l'extrados.***
- ***Prolonger les barbacanes existantes sur la voûte avec éventuellement création de massifs drainants.***
- ***Réduire les effets du retrait endogène du béton en bétonnant d'abord jusqu'au reins, puis couler le reste au moins 2 jours après.***

Contre-voûtes en extradados

Avantages:

- **Travail hors rivière.**
- **Engendre une réfection de l'étanchéité de l'ouvrage (bien pour la pérennité de l'ouvrage).**
- **Pas d'impacte esthétique sur l'aspect de l'ouvrage.**

Désavantages:

- **Gène à la circulation, coupure de circulation ou alternat si décaissement faible.**
- **Engendre une réfection de l'étanchéité de l'ouvrage (coût des travaux important).**

Les calculs

Hypothèse générale

- ***La voûte existante reprend au minimum son poids.***
- ***La contre-voûte étant en général plus raide que la voûte, vérifier qu'elle puisse reprendre seules toutes les charges rajoutées (contre-voûte en intrados: toutes les surcharges sur chaussée, contre-voûte en intrados: les charges de remblais plus les surcharges sur chaussée.***

Les calculs

Renforcements en intrados

- ***Le calcul des efforts dans la contre voûte reprenant seule le poids des remblais et des surcharges de chaussée peut être fait avec programmes de calcul courants à barres ou coques ou éventuellement calculs manuels.***
- ***Faire calcul alternativement avec contre-voûte articulée puis encastrée en pied et prendre les efforts enveloppe.***
- ***Possibilité de calcul avec le programme « Voûte » qui prend en compte les contre-voûte de renforcement en intrados et donne les efforts dans les sections de calculs.***
- ***Calcul B.A. pour avoir les contraintes dans le béton et les armatures quand on a les efforts dans les sections de calcul***

Les calculs

Renforcements en extrados

- *Le calcul des efforts dans la contre voûte reprenant seule le poids des remblais et des surcharges de chaussée peut être faits avec programmes de calcul courants à barres ou coques ou éventuellement calculs manuels.*
- *Faire calcul alternativement avec contre-voûte articulée puis encadrée en pied et prendre les efforts enveloppe.*
- *Possibilité de calcul avec le programme « Voûte » qui prend en compte les contre-voûte de renforcement en intrados en modélisant la contre-voûte comme la voûte d'origine et la voûte en maçonnerie comme une contre-voûte. Il donne les efforts dans les sections de calculs.*
- *Calcul B.A. pour avoir les contraintes dans le béton et les armatures quand on a les efforts dans les sections de calcul*

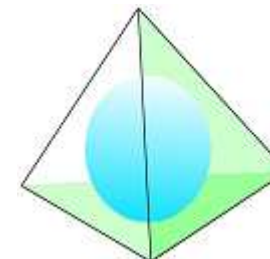
Les confortements d'urgence

Exemple suite à un effondrement de tympan

- *Restriction de circulation.*
- *Protection de l'ouvrage.*
- *Dés-obstruction du lit.*
- *Confinement du remplissage.*
- *Butonnage.*



Merci



ADSTD

Bernard JACQUIER
Chargé d'Affaires Ouvrages d'Art

Direction Territoriale Centre Est
DLL/OASMD/DOA

+33 (0)4 74 27 53 90
Bernard.jacquier@cerema.fr