

Conception et réalisation des revêtements des galeries hydrauliques en charge

Conférence AFTES / CFMR 13/06/24 – Jean-Rémi Lherbier & Pierre Agresti

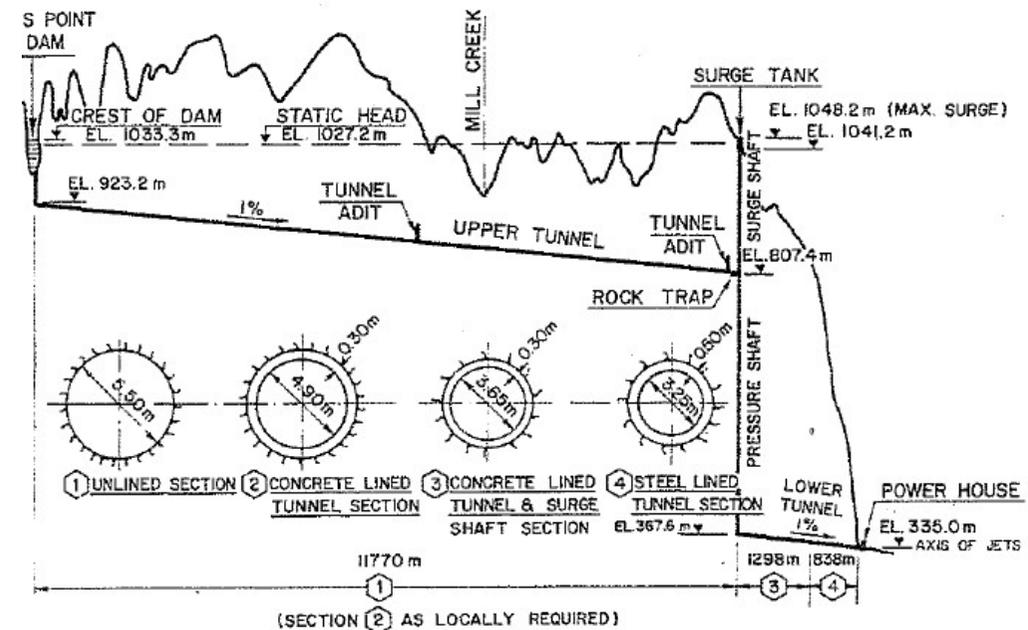


Principes généraux

Type de revêtements

Catégories principales :

- Tunnel non-revêtu (→ non traité dans la suite)
- Revêtement béton
 - Béton projeté
 - Béton non-armé / armé
 - Béton précontraint
- Blindage acier



Principes généraux

Forces en action

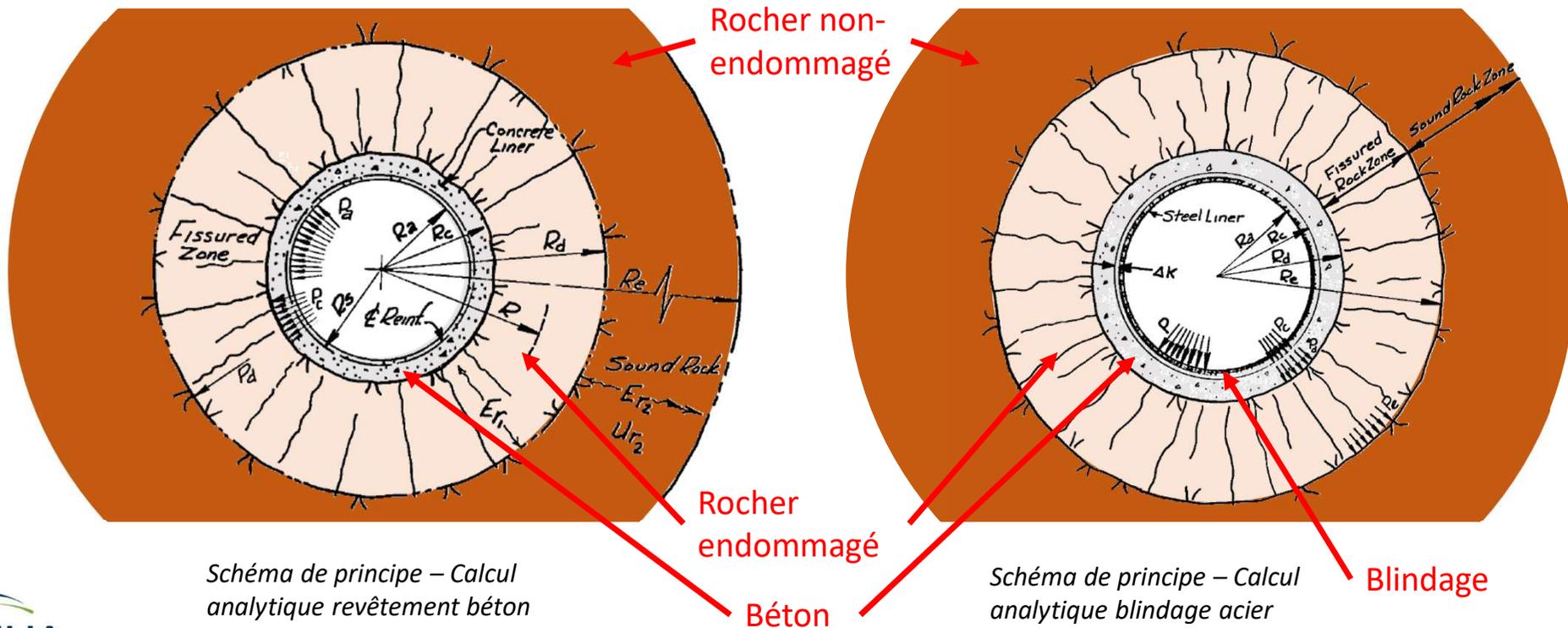
- Pression interne → régimes transitoires peuvent être très significatifs !
- Pression externe. Le béton n'est pas étanche (y.c. avec ferrailage) → risque d'alimentation d'une nappe externe
- Efforts en provenance du milieu encaissant suivant dimensionnement du soutènement
- Injections, effets thermiques, outil coffrant, etc.
- Bonne pratique : prise en compte de 2 combinaisons
 - Maximisation des efforts internes
 - Maximisation des efforts externes



Principes généraux de la conception

Distribution des efforts sous l'effet de la pression interne (1/2)

Principe général des calculs analytiques → le système mécanique est une succession d'anneaux, c-a-d de ressorts (milieu élastique, homogène, circulaire & isotrope)



Conception des revêtements

Distribution des efforts sous l'effet de la pression interne (2/2)

Méthodologie générale :

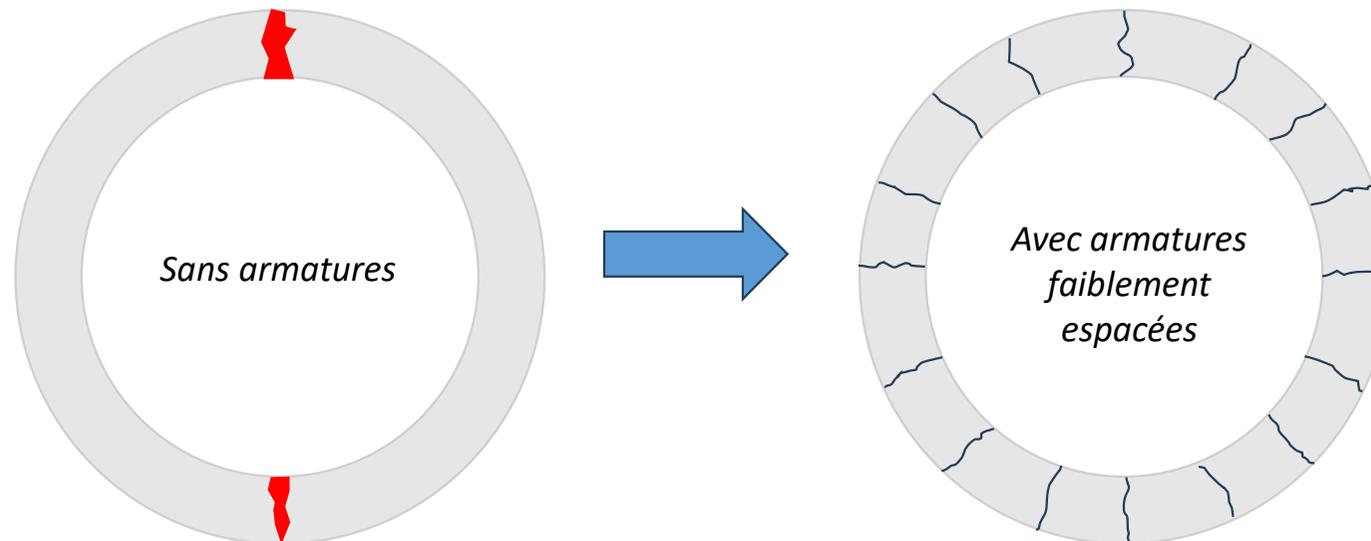
1. Continuité des déplacements radiaux à l'interface entre chaque anneau (+ prise en compte d'un vide éventuel)
2. Estimation du % d'efforts repris dans chaque élément
3. Formule du tube mince / épais
4. Détermination des contraintes dans le revêtement
5. Détermination de l'ouverture de fissure si revêtement béton armé

Dimensionnement des revêtements béton

Revêtements béton armé (1/2)

- Philosophie du dimensionnement :
 - Déformation imposée : anneau en expansion → pure traction
 - Une grande partie des efforts est reprise dans le rocher
 - Les armatures n'empêchent pas la fissuration
 - Les armatures servent à maîtriser la fissuration pour limiter les fuites

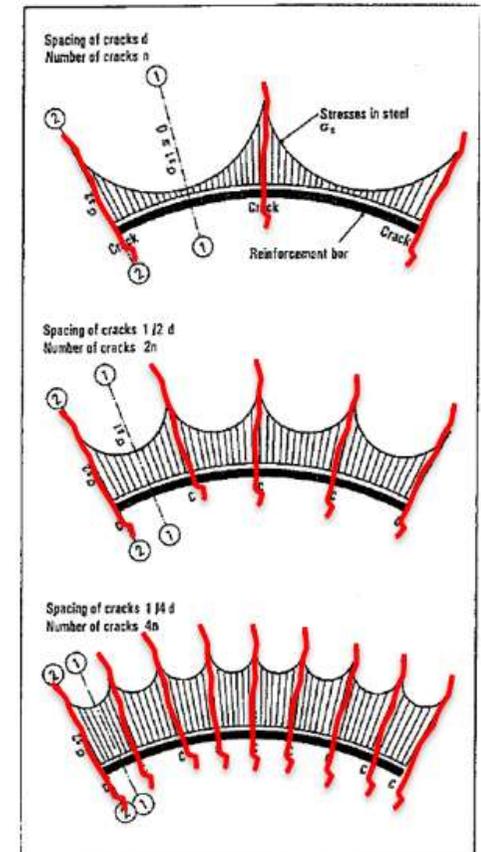
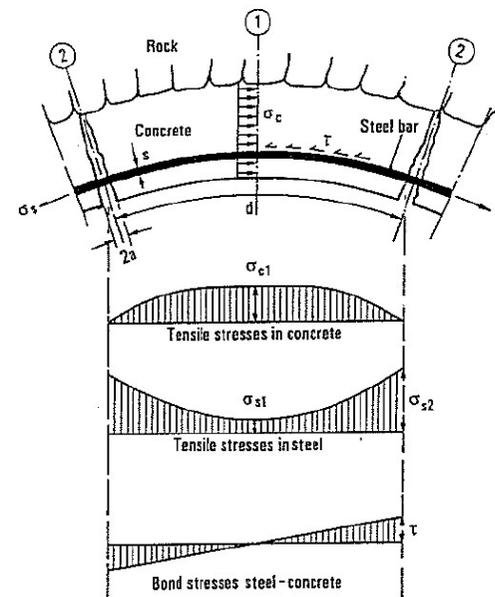
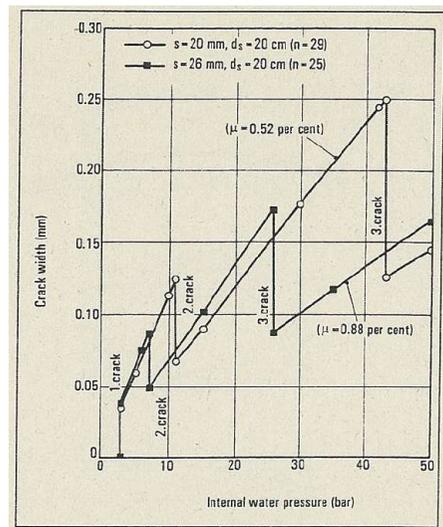
→ Préférer des espacements faibles pour « répartir » la fissuration



Dimensionnement des revêtements béton

Revêtements béton armé (2/2)

- Méthode analytique plus poussée : méthode A. Schleiss
 - Philosophie : les fuites à travers le revêtement génèrent une contre-pression à l'extrados
 - Prise en compte étapes successives de fissuration
- Equilibre hydromécanique instantané



Dimensionnement des revêtements béton

Revêtements béton précontraint (1/2)

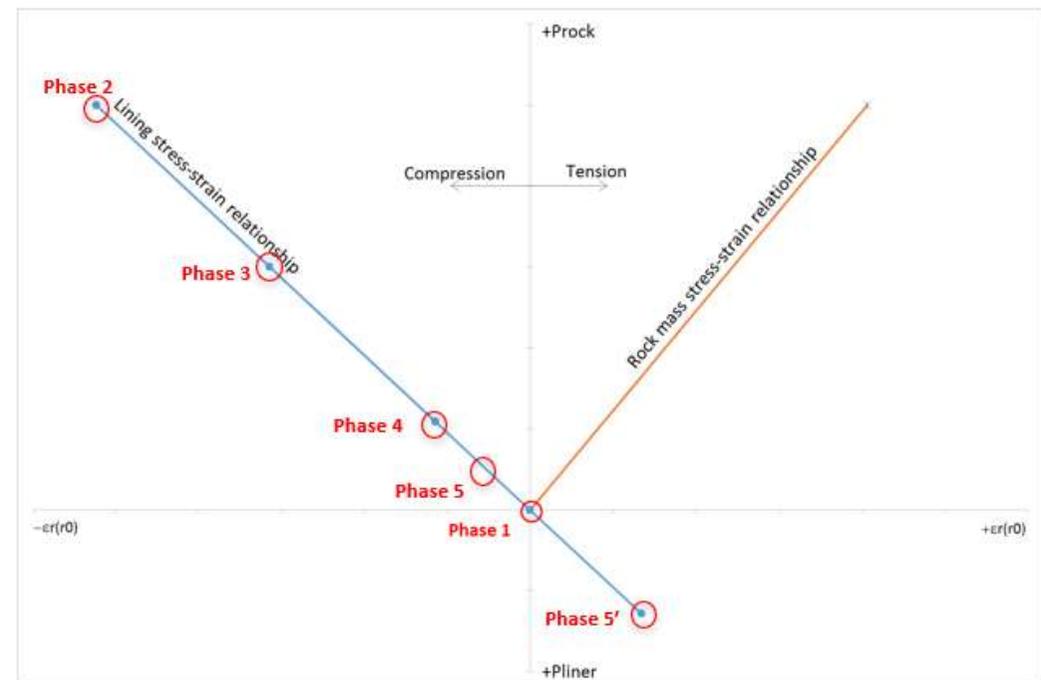
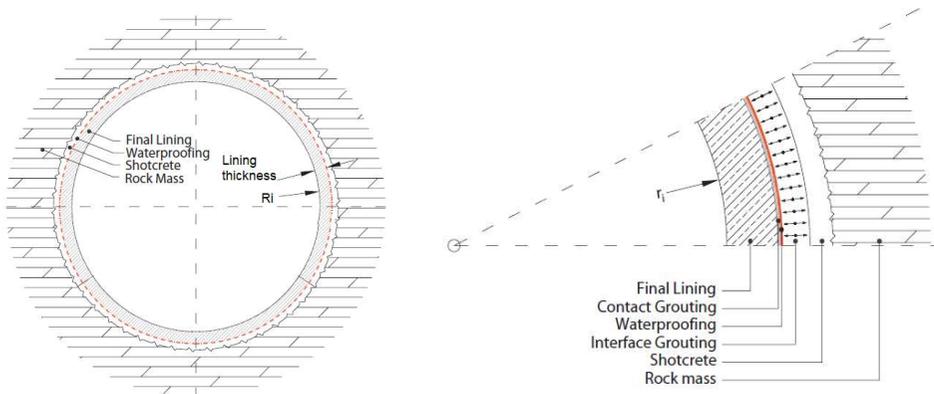
- Nécessite une matrice rocheuse compétente
- Précontrainte par câble ou par injections → attention à la contrainte in-situ
- Permet d'intégrer une membrane d'étanchéité PVC / HDPE → précontrainte permet d'éviter le déchirement de la membrane
- Plus complexe à réaliser que la solution BA : préparation du support, homogénéité de la précontrainte, risque de perforation/poinçonnement de la membrane, mais peut permettre l'atteinte d'une étanchéité.



Dimensionnement des revêtements béton

Revêtements béton précontraint (2/2)

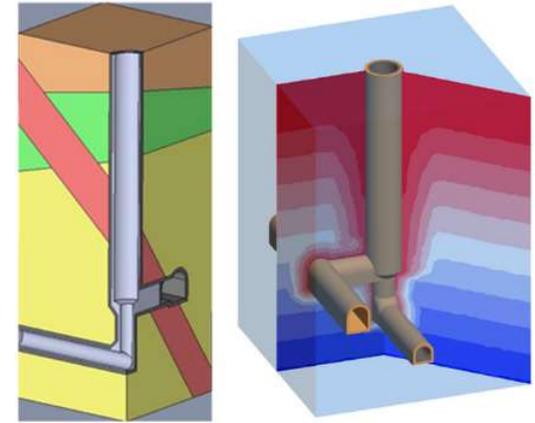
- Méthode analytique
 1. Injection de collage
 2. Précontrainte
 3. Perte de précontrainte = ~40%
 4. Refroidissement
 5. Mise en eau (5' si mise en traction)



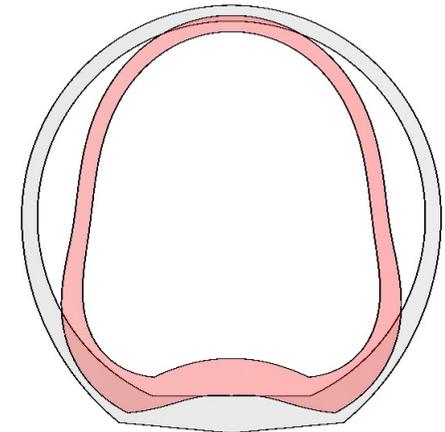
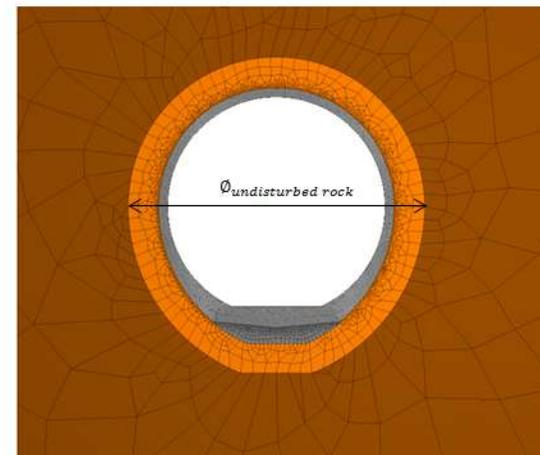
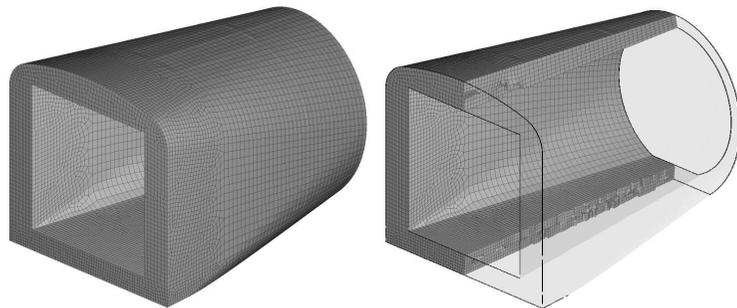
Dimensionnements des revêtements béton

Limitation des calculs analytiques

- Limitations → système idéalisé :
 - Tunnel circulaire en milieu isotrope
 - Chargement homogène
 - Choix de la formule pour déterminer la fissuration
 - Une seule nappe d'acier



- Si nécessaire → **Modèle numérique**



Dimensionnement des blindages

Principes généraux

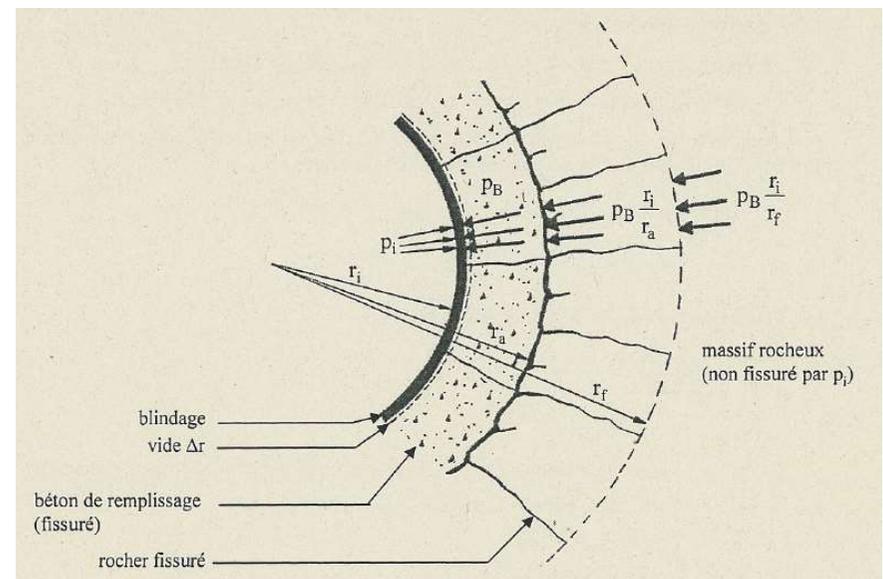
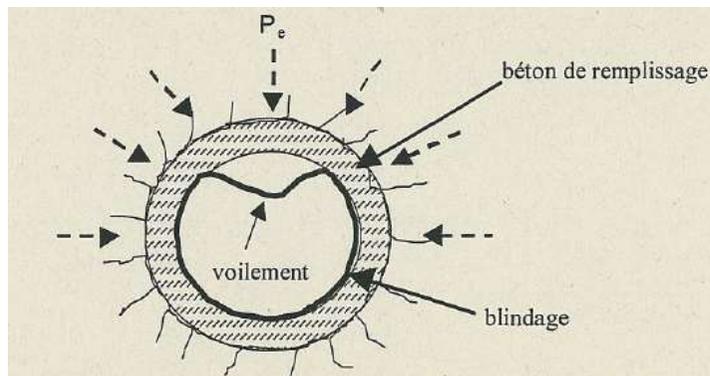
- Tôle d'acier d'une à plusieurs dizaines de mm
- Entourée par du béton : mini 50 cm pour réaliser les soudures
- **Le cas de charge dimensionnant est souvent le chargement externe** (structure élancée = risque de flambement) → nécessité de raidisseurs



Dimensionnement des blindages

Principes généraux

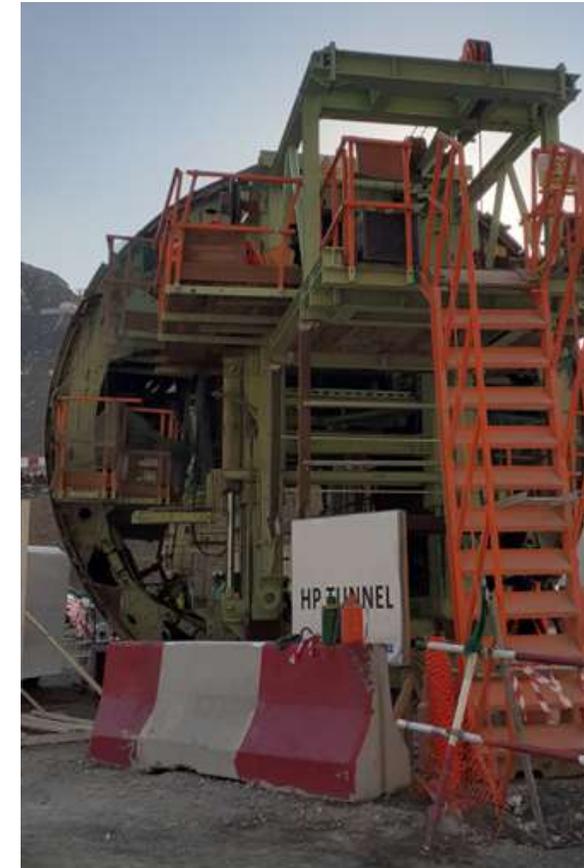
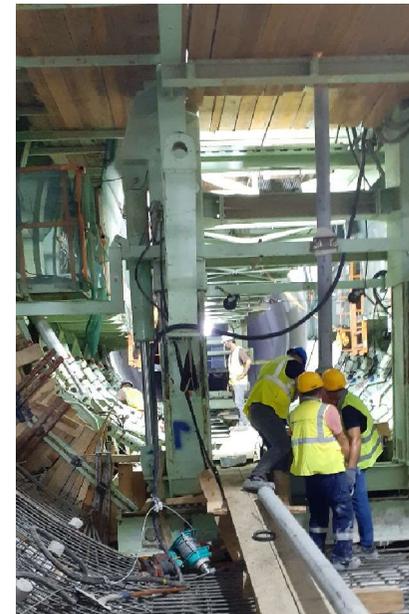
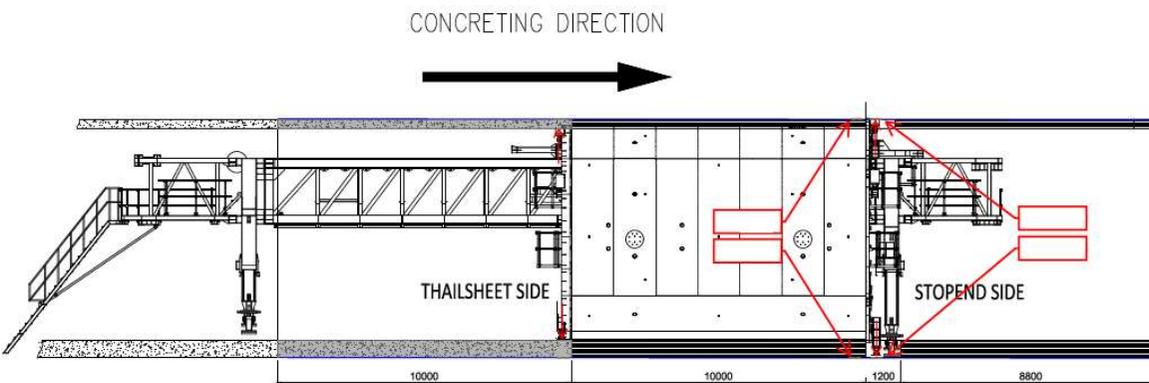
- V-a-v pression interne : prise en compte ou non du béton / rocher. Souvent non-dimensionnant
- V-a-v pression externe : importance du « vide » entre l'acier et le béton (=cas dimensionnant).
Peut être influencé par :
 - Le retrait du béton
 - Les injections au contact béton / rocher
 - Les effets thermiques à la mise en eau



Réalisation

Bétonnage (1/2)

- Le plus souvent coffrage glissant pour maximiser les cadences
- Attention aux efforts transmis par l'outil coffrant sur les tronçons adjacents



Réalisation

Injections

Plusieurs types d'injections / grouting :

- Void grouting : injection à basse pression pour combler les défauts de bétonnage, le plus souvent en voûte. **A réaliser systématiquement**
- Consolidation grouting : « régénération » de la matrice rocheuse, amélioration de l'étanchéité
- Contact grouting : à l'interface entre le béton / rocher, acier / béton. Peut nécessiter qq bars de pression pour s'infiltrer dans les interstices

➔ **Importance de l'adéquation des injections réalisées avec le dimensionnement + la possibilité réelle d'injection (p-e gêné par les raidisseurs ou autre)**





www.arteliagroup.com