



Mise à jour de la recommandation « Choix d'un type de soutènement en galerie »

GT 7 – Recommandation R1 F3
Octobre 2019



La recommandation actuelle



- 1ere recommandation de l'AFTES à être publiée
- 1ere publication en 1974, réactualisée après 1982
- Recommandation structurée de la manière suivante :
 1. Objet de la recommandation
 2. Classification des modes de soutènement
 3. Les critères
 4. Choix du soutènement
 - Deux exemples d'illustration
 5. Synthèse des résultats - conclusion

« Principe actif » de l'actuelle recommandation

- Tableaux à double entrée confrontant :
 - Une série de critères liés :
 - au terrain
 - à la nature de l'ouvrage et son mode de réalisation
 - à l'environnement
 - Et une liste de soutènements type :
 - Béton projeté
 - Cintres
 - Voussoirs
 - Tubes préforés
 - Bouclier ou pousses-tubes
 - « Procédés spéciaux » (traitements de terrain)

Bild 48: Montage des Verbauschildes beim U-Bahn-Bau Frankfurt

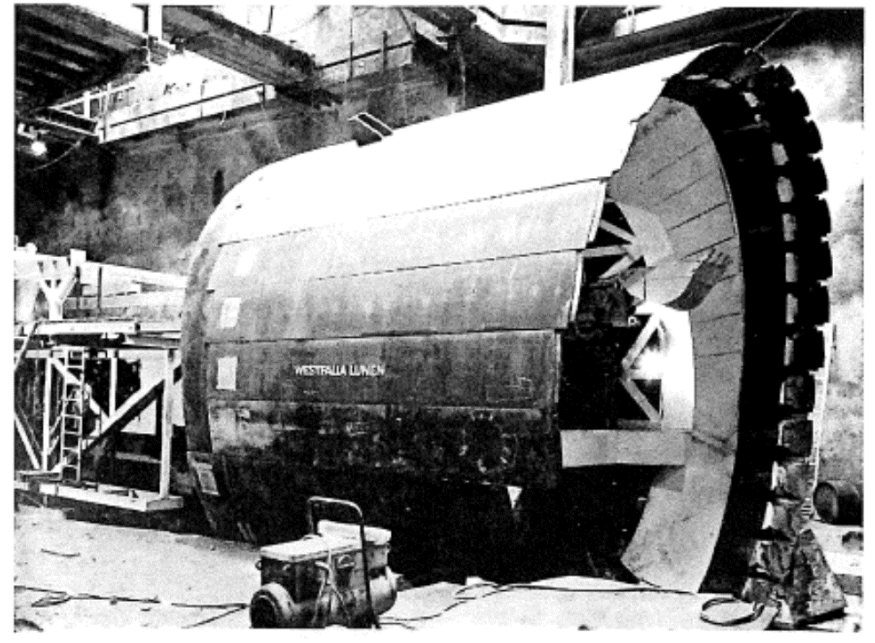


Tableau-type de choix du soutènement figurant dans l'actuelle recommandation

Type de Soutènement

Tableau 1

| Comportement mécanique | Types de soutènement | Boulons | | | Cintres | | Voussoirs | | Tubes préforés | Bouclier ou pousse-tube | Procédés spéciaux | | | |
|------------------------|----------------------|---------------|--------------------|-------------------|----------------|---------|--------------------|--------------------------|----------------|-------------------------|-------------------|-----------|--------------|------------|
| | | Béton projeté | à ancrage ponctuel | à ancrage réparti | barres foncées | lourds | légers coulissants | plaques métal assemblées | | | béton | injection | air comprimé | compaction |
| | | | | | | | | | | | | | | |
| R1 | • | | • | | X | | | X | X | X | X | X | X | |
| R2a | • | | • | | X | | | X | X | X | X | X | X | |
| R2b | | • | • | • | X | | | | | | | | | |
| R3a | | • | • | • | X | | | | | | | | | |
| R3b | | • | | • | X | | | | | | | | | |
| R4 | X | • | X | | | • | • | | | | | | | |
| R5a | X | • | X | | | • | • | | | | | | | |
| R5b | X | | X | X | | • | • | | | | | | | |
| R6a | X | X | X | X | X | Enf | Enf | Enf | Bcl | | • | • | | |
| R6b | X | X | X | X | X | Enf Bif | Enf Bif | Enf Bif | Bcl Bif Bif | Bif | • | • | • | |

Critères

- Recommandé
- Possible
- x Très mal adapté
- X Impossible

Légende

Enf : avec enfilage

Bif : avec blindage du front

Bcl : avec bouclier



Limites de l'actuelle recommandation pointées par le GT



- Le titre « en galerie » est trop exclusif
 - *exclut les ouvrages type puits ou caverne,*
 - *galerie = ouvrage provisoire de petite dimension*
- (Pré)Dimensionnement du soutènement : exclu de l'actuelle recommandation - *de l'avis des participants au GT, constitue un frein à son emploi par rapport à des recommandations type Q BARTON ou RMR*
- Recommandation à utiliser de fait en phase faisabilité / AVP,
 - *Impossible de dimensionner avec ce texte en phase d'exécution*
 - *Interface avec le rôle du **chargé de soutènement sur projet** ?*
- Interfaces avec les autres recommandations de l'AFTES parues depuis
- Intégration de concepts apparus depuis 1974 (Convergence-confinement, noyau au front, stabilité du front de taille...)

- Le texte actuel s'applique aux ouvrages revêtus ultérieurement d'un revêtement :
 - *exclut donc les ouvrages réalisés à l'aide d'un tunnelier posant des voussoirs*
 - *N'aborde pas la « temporalité » du soutènement*
- Les modes d'action du soutènement présentés dans le texte demandent à être actualisés (soutènement actif, passif, confinement, supportage, consolidation...)
- Concerne le soutènement radial et exclut le soutènement du front de taille
- Texte actuel divergent par rapport aux concepts actuels de « pré-soutènements » et de « traitements de terrain »
- Le texte actuel s'adresse principalement au cas des terrains rocheux

- Soutènement = tout dispositif réalisé depuis l'excavation
 - **Inclus** dans le **cycle d'avancement**
 - Destiné à garantir **la sécurité du personnel** et **l'intégrité de l'excavation**
 - Devant également garantir **l'intégrité des avoisinants** en milieu urbain
 - Pendant un **délai variable** suivant le contexte du projet
- 3 enjeux fondamentaux :
 - Bloquer ou non les déformations du massif : soutènement **rigide** ou soutènement **souple** ?
 - Accepter ou non les écoulements d'eau: soutènement « **étanche** » ou non (confinement du front) ?
 - Quelle action du soutènement dans le temps : soutènement à **caractère provisoire** ou **définitif** ?



Nouvelle rédaction relative aux types de soutènement



- Objectif : décrire de façon synthétique les techniques d'aujourd'hui et faire le lien avec les recommandations AFTES (et / ou AITES) existantes
 - Béton projeté : reprise sommaire des concepts exposés dans la recommandation du GT 20
 - Boulons : lien avec la recommandation du GT 30
 - Cintres : lien avec diverses recommandations (GT7, GT 23 pour les cintres réticulés)
 - Voussoirs (GT 18)
- Définition des pré-soutènements (pré-voûtes, voûtes parapluie...)
- Confinement du front de taille (tunnelier) et consolidation du front (traditionnel)
- Traitement de terrains réalisés à l'avancement

Volonté de disposer d'illustrations didactiques et synthétiques

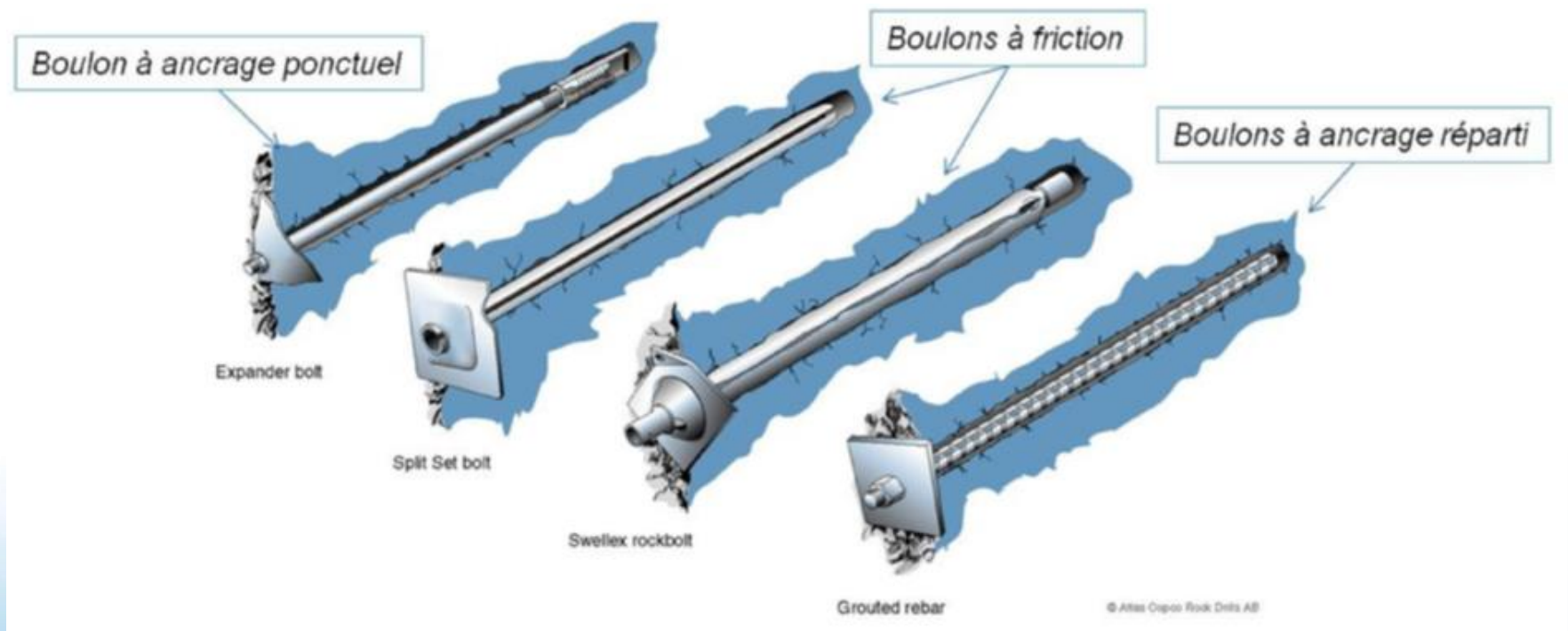


Tableau de synthèse des soutènements (extrait)

| Type de soutènement | Description | Dimensionnement et caractéristiques usuelles | Recommandation AFTES | Observations |
|----------------------------------|--|--|---|--|
| Béton projeté type 1 | Type « peau protectrice », non structurel, action superficielle | Faible épaisseur (5 cm) | GT6 R3 GT20 R1 | Caractéristiques des bétons projetés : Résistance : 2 à 15 MPa à 24 h, 10 à 20 MPa à 3 jours Module court terme : 7 000 à 15 000 MPa |
| Béton projeté type 2 | Type « peau résistante », associé à des armatures (treillis soudé, fibres) | Épaisseur comprise entre 10 et 20 cm. | | Peut être associé à des saignées / éléments compressibles pour laisser le terrain se déformer sans / avec confinement |
| Béton projeté type 3 | Type « anneau de structure » continu et concave | Épaisseur pluridécimétrique généralement comprise entre 20 et 30 cm | | |
| Boulon à ancrage ponctuel | Ancrage à expansion | Diamètre : 16 à 32 mm Longueur 1.2 à 6 ml, Maille 1 u / 2 à 6 m ² | GT6 R2 GT6 R4 GT6 & GT7 R3 GT30 R1 | Possibilité d'injecter ultérieurement un boulon à ancrage ponctuel en cas de soutènement définitif → boulons dit « mixtes » |
| Boulon à ancrage réparti | Scellement sur toute la longueur à la résine ou au mortier | (1.5m *1.5m à 2.5m*2.5m) Acier HA 500 | | |
| Boulon à friction | Interaction par frottement de la tige sur toute la longueur | Boulons « SWELLEX » ou « SPLIT-SET » | | |



Nouvelle rédaction des critères de choix liés aux terrains



- Accent mis sur la **distinction massif rocheux / sols**
- Nécessité de mettre en avant **l'état de contraintes** (tunnels superficiels / tunnels profonds)
- Distinction entre le comportement de **milieu continu** de celui de **milieu discontinu régi par des discontinuités**
- Accent mis le **comportement hydraulique des terrains à l'excavation** (terrain à comportement drainé / non drainé, temps de rétablissement d'un régime permanent, influence du drainage)
- Classification des terrains à mettre en conformité avec les recommandations GT1 AFTES (roches) et à reprendre (sols) en rapport avec des classifications existantes plus « normalisées » type Eurocode 7

Nouvelle rédaction des critères liés à la géométrie de l'ouvrage et au mode d'exécution

- Conception de l'ouvrage :
 - optimisation de la **forme et la dimension de l'excavation** au bénéfice du soutènement
 - ne pas se cantonner à la pure section fonctionnelle requise
 - Caractère provisoire ou définitif du soutènement
- Influence de la dimension et de la forme de l'excavation
 - Forme circulaire, elliptique (Eviter les angles vifs)
 - Prise en compte de la distribution des contraintes
- Creusement en section divisée :
 - articulation entre eux des différents éléments du soutènement (exemple – type : cintres à pattes d'éléphant)
- tunnelier > section circulaire et soutènement en voussoirs (à l'exception du tunnelier roche dure à grippers)
- Prise en compte de certains aspects sécurité spécifiques



Nouvelle rédaction des critères liés à l'environnement



- Définition de la Z.I.G (Zone d'Influence Géotechnique)
- En zone urbaine, limitation des déplacements
 - Lien avec recommandations du GT 16
- Impact sur l'hydrogéologie :
 - création d'un tunnel drainé ou non drainé
 - Effet barrage
- Vibrations et bruit
 - Influence du mode d'abattage
 - Lien avec recommandations du GT 3
- Pollution
 - Traitement de terrains : migration d'agents polluants
 - Rejet des eaux d'exhaure

- Relecture des 3 premiers chapitres par le Comité Technique de l'AFTES fin 2018
- Principales observations des relecteurs :
 - Quelle méthodologie pour le chapitre 4 « choix du soutènement » ?
 - Fournir des éléments de pré-dimensionnement ou rester qualitatif (recommandé / neutre / inadapté) ?
 - Prise en compte des traitements de terrains préalables ?
 - Compatibilité avec les systèmes RMR / Q BARTON ?
 - Introduction d'un critère de choix lié à la sécurité en phase travaux ?
 - Insister sur le rôle des drains
 - Détailler la distinction tunnel superficiels / tunnels profonds – faibles déformations – forte déformations avec formulation de critères paramétriques simples



Orientations actuelles du GT pour cette recommandation



- Intégration des observations des relecteurs (ch. 1 à 3)
- Travail sur l'élaboration d'un guide méthodologique du choix du soutènement : tableaux, abaques, graphes, logigrammes... en intégrant des éléments de prédimensionnement (ch.4)
- Développer les exemples d'application au chapitre 5 à partir du REX d'ouvrages réalisés,
- Introduire un chapitre de synthèse 6 sur le choix définitif du soutènement (intégration des aspects sécurité et conditions économiques)
- Lister une bibliographie conséquente

| Type de Tunnel : Dimensions : Contexte géologique : Hydrologie : Méthode de creusement : | Pas de soutènement | Soutènement | | | | | | | | | | | Pré-soutènement | | | Traitement de terrain à l'avancement | | | | | | |
|--|--------------------|-----------------------------|----------------------------|--------------------------------|--------------------|-------------------|-------------------|------------|-----------|------------|--------|---|-----------------|---------------|----------------------|--------------------------------------|----------|----------|----------|-----------|--------------|-------------|
| | | Béton projeté | | | Boulons | | | | Cintres | | | | Voussoirs | Confinement** | Soutènement du front | Voûte parapluie | Enfilage | Prévoûte | Drainage | Injection | Jet-grouting | Congélation |
| | | Type 1 « peau protectrice » | Type 2 « peau résistante » | Type 3 « anneau de structure » | à ancrage ponctuel | à ancrage réparti | Mixtes / hybrides | à friction | Réticulés | Couissants | Lourds | | | | | | | | | | | |
| | | Critères | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Explosif | | • | • | | • | • | • | • | | | x | X | X | x | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Excavation mécanisée (type attaque ponctuelle) | x | x | • | • | x | • | | x | • | • | • | x | X | • | • | • | | | | | | |
| Tunnelier ouvert à appui radial | | | | | | | | | | | | X | X | X | X | x | X | X | x | X | X | |
| Tunnelier à confinement | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | • | • | X | X | x | X | X | x | X | X | |

* Hormis traitement d'étanchéité

** du front

- Légende :**
- Particulièrement recommandé (nettement favorable)
 - Possible à condition que d'autres critères soient particulièrement favorables (plutôt favorable)
 - x Très mal adapté bien qu'éventuellement possible (plutôt défavorable)
 - X En principe impossible (nettement défavorable)



Merci de votre attention