

Tunnels : les différentes méthodes d'exécution

Novembre 2020

Le choix de la technique à employer résulte d'un compromis entre les exigences liées à la géométrie de l'ouvrage à réaliser, les caractéristiques du terrain à creuser, les spécificités du site et de son environnement et les contraintes géologiques et hydrogéologiques (présence ou non de la nappe phréatique).

Les différentes méthodes d'exécution des tunnels

Quatre principales méthodes d'exécution des tunnels peuvent être utilisées.

- Tunnel dans le rocher :
- méthode traditionnelle à l'explosif ;
- méthode par attaque ponctuelle.
- Tunnel en terrain difficile :
- méthode par prédécoûpage mécanique ;
- méthode de creusement au tunnelier.

Les progrès de ces dernières années dans les techniques de creusement, de soutènement et de revêtement permettent maintenant de réaliser des ouvrages dans tous les types de terrain.

La méthode traditionnelle à l'explosif

Cette méthode est adaptée à une roche saine et **homogène** aux caractéristiques géotechniques élevées. L'abattage à l'explosif nécessite la perforation préalable de trous de mine (constituant la volée) à l'aide de marteaux perforateurs (robots de forage assistés par ordinateur permettant une automatisation intégrale des opérations). Le plan de tir doit être adapté aux caractéristiques du terrain afin d'assurer un découpage soigné de l'excavation et de limiter les ébranlements. Après excavation, la voûte est généralement renforcée par un soutènement, provisoire à l'avancement des travaux, puis définitif lorsque l'ouvrage est entièrement creusé.

Le choix du soutènement provisoire est fonction de l'état des parois, suite aux dégradations provoquées par les tirs d'explosifs et aux déformations liées aux phénomènes de décompression du terrain.

Divers types de soutènement provisoires sont utilisés :

- boulonnage d'ancrage ;
- boulonnage associé à un **treillis** métallique ;
- boulonnage associé à une faible épaisseur (5 cm) de **béton projeté** renforcé par un treillis ;
- boulonnage associé à la mise en place d'un béton projeté jusqu'à 20 cm d'épaisseur ;
- mise en place de cintres métalliques.

Le béton projeté à base de fibres métalliques se substitue, de plus en plus, au béton projeté associé à un treillis soudé.

Le revêtement définitif est, en général, constitué par une voûte en **béton armé**, coulée en place sur un **coffrage** métallique.

La méthode par attaque ponctuelle

Si la roche est friable, l'excavation est exécutée par une machine qui attaque ponctuellement et progressivement le sol.

Ces machines à attaque ponctuelle, automotrices sur pneus ou chenilles sont équipées de bras orientables, à l'extrémité desquels est placé l'appareil d'attaque (godet excavateur, brise-roche, tête de havage à axe longitudinal ou transversal).

Les déblais sont évacués vers l'arrière.

La paroi est équipée à l'avancement d'un soutènement provisoire.

Cette technique est adaptée à tous les profils d'excavation.

La méthode par prédécoûpage mécanique

Cette méthode consiste à réaliser une succession de saignées d'épaisseur 15 à 30 cm et de 3 à 5 m de longueur dont le tracé suit le profil théorique de l'extrados de la voûte à réaliser, à l'aide d'une heuseuse (machine de prédécoûpage constituée d'un bâti support rigide auquel est fixé un chariot mobile pouvant se déplacer sur le contour de la **section** à excaver et équipé d'une scie spéciale).

La saignée est remplie de **béton à prise** rapide, mis en place par projection (**béton projeté** par voie sèche et éventuellement armé de fibres métalliques), afin de constituer une voûte porteuse dans le **massif** encaissant. Après **durcissement**, cette prévoûte en béton assure le soutènement de la cavité dont le **terrassement** peut-être entrepris en pleine section.

Elle permet d'assurer pendant les travaux, la sécurité des ouvriers.

Chaque prévoûte à une forme légèrement tronconique pour permettre la réalisation de la prévoûte suivante (**recouvrement** entre voûtes successives : 0,50 m à 2 m).

NOTA : Le béton utilisé est un béton à très haute résistance à court terme. Ces performances sont de l'ordre de 8 MPa à 4 heures et de 24 MPa à 24 heures.

La méthode de creusement au tunnelier

Le creusement mécanisé des tunnels a connu des développements importants durant les vingt dernières années, en particulier grâce à l'apparition et aux évolutions technologiques des tunneliers. Ils ont permis d'élargir le domaine de réalisation des tunnels dans des conditions géologiques délicates, pour une grande gamme de diamètres et de terrains (sols meubles, roches tendres, argiles molles, terrains instables ou aquifères, etc.) en améliorant considérablement la productivité et la sécurité des chantiers.

Le tunnelier est une machine complexe qui assure en continu les fonctions suivantes :

- excavation du terrain ;
- **stabilisation** et soutènement du front de taille ;
- soutènement provisoire des parois du tunnel juste derrière le creusement ;
- évacuation des déblais ;
- mise en place du soutènement provisoire ou du revêtement définitif ;
- guidage selon l'axe théorique prévu ; avancement automatique à l'aide de vérins.

Il permet de creuser des tunnels de diamètre compris entre 2 et 20 mètres. Il est particulièrement adapté pour le creusement de terrains meubles sur de grandes longueurs, du fait de son coût d'investissement important. Sa vitesse d'avancement est de l'ordre de 10 à 50 mètres par jour.

On distingue trois types de tunneliers, qui sont choisis en fonction de la nature du terrain à creuser.

1. Tunneliers avec machine d'attaque ponctuelle ou d'attaque globale (tunneliers à appui radial, aileuseur). Ils sont utilisés dans le cas de terrain de tenue suffisante ne nécessitant pas de soutènement immédiat.
2. Tunnelier à boucliers classiques (à front ouvert, boucliers mécanisés à appui radial, à appui longitudinal, à appui mixte) qui assurent simultanément les fonctions d'excavation et de soutènement latéral du terrain. Ils comportent une structure cylindrique rigide (jupé) qui progresse au fur et à mesure du creusement et assure la stabilité du tunnel. Ils sont utilisés pour le creusement des terrains meubles.
3. Tunneliers à confinement (ou à front pressurisé). Ces machines assurent simultanément un soutènement latéral et frontal du terrain (terrain meuble et aquifère). Elles sont utilisées dans les terrains alluvionnaires en présence d'eau. La partie avant du tunnelier (chambre d'abattage) peut être mise sous pression afin d'assurer la stabilité du front de taille. A l'intérieur de la chambre, une roue de coupe munie de dents au carbure de tungstène grignote le terrain. Les déblais sont évacués par marlage **hydraulique** à l'aide de conduite de marlage et de pompes. Selon le type de terrain, le confinement peut être assuré par de l'air comprimé, par pression de terre ou généralement par une boue bentonique (la boue est formulée en fonction de la **granularité** et de la perméabilité du terrain). Le soutènement de l'excavation est exécuté à l'avancement par la mise en place de voussoirs

Principales machines d'excavation

De nombreuses techniques d'excavation mécanisée du terrain sont aujourd'hui disponibles ; le choix de la technique et de la machine d'excavation adaptée résulte d'un compromis entre l'environnement de la nature du projet et les contraintes géologiques (nature des sols à excaver) et hydrogéologiques (présence de la nappe phréatique).

Machines n'assurant pas le soutènement

Ces machines les plus simples n'assurent pas le soutènement du terrain

1. Machine à attaque ponctuelle :
Ces machines sont équipées d'un bras d'excavation à l'extrémité duquel est monté un outil d'abattage (godet excavateur, brise-roche, tête de havage à axe longitudinal ou transversal).
2. Tunnelier à appui radial :
Ce type de tunnelier est équipé d'une tête d'abattage qui excave en une seule fois le front de taille. Il prend appui sur l'excavation par l'intermédiaire de vérins s'appuyant radialement.
3. Aleseur :
Cet outil réalise un trou axial (galerie pilote) dans lequel il prend appui pour excaver la [section complète](#).

Machines assurant un soutènement latéral

Ces machines sont des tunneliers ouverts qui assurent simultanément les fonctions d'excavation et de soutènement latéral du terrain.

1. Boucliers mécanisés ouverts à appui radial :
Ces tunneliers assurent le soutènement de l'excavation en prenant appui radialement sur l'excavation.
2. Boucliers mécanisés ouverts à appui longitudinal :
La machine prend appui à l'aide de vérins de poussée sur le soutènement mis en œuvre à l'arrière à l'aide d'un érecteur.
3. Boucliers mécanisés ouverts à appui mixte :
Ce type de bouclier excave le fond de taille en pleine section. Il est équipé d'appuis radiaux et longitudinaux.

Machines assurant simultanément un soutènement latéral et frontal

Ces machines sont des tunneliers fermés qui assurent simultanément les fonctions d'excavation, de soutènement latéral et frontal du terrain.

Elles sont équipées d'une « chambre d'abattage », séparée de l'arrière du tunnelier par une [cloison étanche](#), dans laquelle est exercée une pression de confinement qui maintient l'excavation en équilibre. Elles prennent appui grâce à des vérins sur le revêtement monté à l'arrière à l'aide d'un érecteur.

1. Bouclier mécanique à soutènement mécanique :
Le soutènement est assuré par la mise en pression du sol excavé devant la tête d'abattage.
2. Bouclier mécanique à confinement d'air comprimé :
Le confinement est assuré par mise en pression de l'air contenu dans la « chambre d'abattage ». Cette machine est adaptée aux terrains imperméables.
3. Bouclier mécanique à confinement de boue :
Le confinement est assuré par mise en pression d'une boue bentonique dans la « chambre d'abattage ». Cette machine est particulièrement adaptée à des terrains granulaires.
4. Bouclier mécanique à confinement de terre :
Le confinement est assuré par mise en pression des matériaux excavés. Cette technique est adaptée pour les terrains fins et cohérents.
5. Bouclier mécanique à confinement mixte :
Il peut fonctionner en mode ouvert ou fermé.

Auteur

Patrick Guiraud



Retrouvez toutes nos publications
sur les ciments et bétons sur
[infociments.fr](#)

Consultez les derniers projets publiés
Accédez à toutes nos archives
Abonnez-vous et gérez vos préférences
Soumettez votre projet