

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT, DES TRANSPORTS ET DU LOGEMENT
DIRECTION DES ROUTES

dossier pilote des tunnels génie civil

section 1
introduction

Juillet 1998

CENTRE D'ÉTUDES DES TUNNELS
25, AVENUE FRANÇOIS-MITERRAND - CASE N°1 - 69674 BRON CEDEX - FRANCE
TEL : 04 72 14 34 00 - TELECOPIE : 04 72 14 34 30

I.S.B.N. 2-11-084743-3

SOMMAIRE

Préambule	7
Chapitre 1 Etudes de génie civil d'un projet de tunnel	9
1.1 Consistance générale des études.....	9
1.2 Contenu des études de génie civil	10
1.2.1 Etudes préliminaires	10
1.2.2 Etudes d'avant-projet sommaire	10
1.2.3 Etudes de projet.....	11
1.3 Organisation des études.....	11
1.4 Retour d'expérience de la construction des tunnels	12
Chapitre 2 Contenu du dossier pilote génie civil	13
2.1 Généralités.....	13
2.2 Section 2 - Géologie - Hydrogéologie - Géotechnique	13
2.3 Section 3 - Conception et dimensionnement.....	13
2.4 Section 4 - Procédés de creusement et de soutènement	14
2.5 Section 5 - Etanchement et revêtement.....	14
2.6 Section 6 - Génie civil lié aux équipements et à l'exploitation ..	14
2.7 Section 7 - Assainissement, drainage et réseaux divers.....	14
2.8 Section 8 - Chaussées.....	14
2.9 Section 9 - Impact de la construction sur l'environnement.....	14
Chapitre 3 Limites d'emploi du dossier pilote génie civil	15
3.1 Types d'ouvrages souterrains.....	15
3.2 Procédés de construction.....	15
3.3 Tunnels en site urbain.....	16
3.4 Tunnels à grande profondeur.....	16
Glossaire	17
Bibliographie générale	25

Préambule

D'une manière générale le dossier-pilote des tunnels (1) a pour objectifs :

- d'informer les maîtres d'œuvre de la nature et de l'importance des problèmes posés par les tunnels routiers et de les aider à organiser les études nécessaires à l'établissement des projets ;
- de guider les ingénieurs dans l'élaboration des projets, en définissant et ordonnant les problèmes à examiner, en mettant en lumière leurs incidences multiples et en proposant des méthodologies d'études ;
- de donner les principaux éléments utiles à la conception des tunnels dans les différents domaines nécessitant des études.

Le dossier-pilote génie civil a plus précisément pour objet de répondre aux questions ayant trait :

- à la détermination des reconnaissances à effectuer aux différents stades d'études, en vue de fixer le tracé du tunnel et de maîtriser les aléas liés à la géologie et à l'hydrogéologie des terrains traversés,
- aux choix principaux de conception, concernant la méthode de creusement, le soutènement et le revêtement,
- à la connaissance de base des procédés de construction et de leurs conditions d'emploi,
- à la prise en compte des éléments secondaires du génie civil (étanchement, drainage et assainissement, chaussée, ouvrages annexes), fondamentaux pour l'exploitation du tunnel.

Sur bon nombre des points ci-dessus les indications données peuvent être utiles à l'étude de tunnels autres que routiers, sous réserve toutefois des limites énoncées au chapitre 3 de la présente section.

Il convient de souligner que le dossier-pilote génie civil s'applique aux phases d'études des projets et ne traite pas les phases de consultation des entreprises et d'exécution des travaux. D'autre part le dossier est plus axé sur la partie amont des études (études préliminaires et d'avant-projet) que sur les études et justifications détaillées à produire après que les caractéristiques des ouvrages ont été arrêtées.

Enfin, le dossier-pilote génie civil ne donne pas d'éléments concernant le coût de réalisation des ouvrages (2). Quelques éléments sont fournis pour situer les cadences d'exécution pouvant être obtenues avec certains procédés, mais de manière non exhaustive.

Le dossier pilote ne constitue pas un manuel de conception des tunnels et ne se substitue pas aux règles et recommandations utilisées par les hommes de l'art – telles que les recommandations de l'Association Française des travaux en Souterrain (A.F.T.E.S.), auxquelles il est fait largement référence ici. Dans chaque section sont fournies un certain nombre de références bibliographiques permettant à ceux qui le souhaiteraient d'approfondir certains points.

Le recours à des spécialistes est nécessaire pour mener à bien un projet de tunnel. Il appartient aux ingénieurs, face à un projet particulier, de sélectionner les paramètres à prendre en considération et le poids qu'il convient de leur accorder, en se référant notamment à l'expérience tirée de projets antérieurs. Cette expérience est particulièrement utile pour apprécier les aléas susceptibles de peser sur un projet et proposer des solutions aptes à les maîtriser.

(1) La composition du dossier-pilote est donnée en bibliographie.

(2) pour cela, se référer au dossier-pilote "Coûts".

Etudes de génie civil d'un projet de tunnel

Un tunnel routier n'est souvent qu'un élément dans l'aménagement d'ensemble d'un itinéraire, ou une solution-variante parmi d'autres. Il est toutefois nécessaire de porter très tôt une attention particulière aux études des tunnels car leur prise en compte dans le projet d'ensemble peut influencer largement sur les choix principaux - de tracé notamment. Le concepteur des tunnels doit être associé très en amont aux études.

1.1 - Consistance générale des études

Les projets de tunnels routiers comportent toujours les études suivantes, plus ou moins poussées à chaque stade du projet selon les cas et qui interfèrent largement entre elles :

◆ **trafic, type d'exploitation** : en vue de déterminer notamment les caractéristiques géométriques du profil en travers de l'ouvrage et les besoins en équipements d'exploitation et de sécurité. S'il y a lieu, il convient d'examiner le **phasage** éventuel de l'opération, qui peut être déterminant pour le choix des caractéristiques géométriques et des équipements.

◆ **géométrie** (tracé en plan, profil en long, profil en travers) : en vue d'intégrer le tunnel dans l'itinéraire routier en tenant compte de la géologie des terrains traversés et des contraintes particulières imposées par le passage en tunnel : visibilité, pentes et rampes admissibles.

◆ **environnement** : aussi bien en ce qui concerne l'impact de la construction sur l'environnement (cf. section 9 du présent dossier) que l'impact de l'exploitation (pollution due aux rejets d'air vicié, bruit...).

◆ **géologie, hydrogéologie et géotechnique** (1) : on se référera à la section 2 du présent dossier.

◆ **génie civil** (1) : portant sur les points suivants, traités dans les sections 3 à 8 du présent dossier :

- méthode de creusement,
- soutènement,
- étanchement et revêtement,
- drainage, assainissement, chaussée,
- génie civil secondaire lié aux équipements et à l'exploitation.

◆ **équipements** : ventilation, éclairage, sécurité.

◆ **gestion des équipements et conditions d'exploitation**.

Pour ce qui concerne les études de géométrie, d'environnement et d'équipements, on peut se référer aux dossiers-pilotes correspondants (cf. bibliographie à la fin de la présente section).

Le contenu des études et reconnaissances géologiques, hydrogéologiques et géotechniques est détaillé au chapitre 3 de la section 2. L'articulation de ces études aux différentes phases d'un projet est détaillée dans l'annexe 2.0 de cette section.

Le contenu des études de génie civil est précisé en 1.2 ci-après. Ces études ne peuvent pas être menées indépendamment des autres études ; c'est la démarche d'étude progressive qui permet d'assurer la cohérence du projet.

L'attention du concepteur est tout particulièrement attirée sur l'étroite complémentarité des dispositions relatives au génie civil d'une part, et aux équipements d'autre part, et cela d'autant plus que l'ouvrage est important (longueur, trafic qui l'emprunte). L'association du futur exploitant à la conception générale est de ce point de vue essentielle.

(1) On opère ici une distinction entre, d'une part les reconnaissances et études géologiques, hydrogéologiques et géotechniques, d'autre part les études de génie civil. Les premières fournissent des données interprétées qui sont utilisées par les secondes pour justifier les choix de conception.

1.2 - Contenu des études de génie civil

Les études de tunnels se prêtent difficilement à la présentation d'un schéma unique qui soit valable pour tous les ouvrages, en raison de leur complexité, du grand nombre de techniques mises en jeu et des caractéristiques essentiellement variables du milieu traversé.

D'une manière générale, cependant, l'objectif final fixé au maître d'œuvre comporte deux volets qui doivent l'aider, à chaque stade du projet, à définir le contenu et le degré de précision des études et reconnaissances, à savoir :

◆ Décider :

- l'implantation et le type d'ouvrage le mieux adapté,
- les caractéristiques de celui-ci,

◆ Evaluer :

- la consistance des études postérieures et les difficultés des travaux,
- leur coût.

Pour définir le contenu des études de génie civil on se réfère aux trois stades d'études envisagés par la circulaire du 5 Mai 1994 qui s'applique à l'établissement des projets routiers sur le réseau routier national non concédé.

1.2.1 - Etudes préliminaires

A ce stade, il s'agit – pour les tunnels qui constituent des ouvrages d'art non courants – de s'assurer de la faisabilité technique et de cerner les principaux aléas susceptibles de peser sur les délais de construction et sur l'estimation.

Les études de génie civil se limiteront généralement à la production d'un mémoire présentant les principales conséquences, en matière de choix des méthodes de construction, des difficultés et contraintes liées au terrain (identifiées par les premières reconnaissances géologiques menées à ce stade des études - cf. annexe 2.0, 1^{ère} étape) et à l'environnement, par exemple :

- maîtrise des problèmes majeurs liés à l'eau souterraine,
- nécessité d'avoir recours à un bouclier à front pressurisé ou à un pré-soutènement,
- nécessité d'un traitement préalable du terrain dans des zones présentant des difficultés particulières,
- solutions envisageables pour la réalisation des têtes de tunnels et, éventuellement, d'attaques intermédiaires.

Ce mémoire pourra se référer à des tunnels existants réalisés dans un contexte similaire, notamment pour justifier les quelques éléments de coûts et de délais fournis à ce stade d'étude.

Le mémoire doit bien sûr donner la liste des études jugées nécessaires pour la suite en liaison avec les reconnaissances de terrain préconisées.

Il ne sera généralement pas envisageable de fournir à ce stade d'études le dossier d'étude préliminaire d'ouvrage d'art (E.P.O.A.) compte tenu de l'importance des reconnaissances qu'il implique. Si la faisabilité de l'ouvrage ne peut être établie sans recourir à des reconnaissances plus poussées, il convient de l'indiquer clairement.

1.2.2 - Etudes d'avant-projet sommaire

Ces études doivent permettre de choisir une solution de base et d'arrêter un coût d'objectif "plafond". S'agissant d'un tunnel la méthode d'exécution doit être complètement définie, y compris les choix principaux de soutènement, de façon à définir des profils-types (cf. section 3, chapitre 1.4) qui serviront de base à l'estimation.

C'est à ce stade d'étude qu'est normalement établi l'E.P.O.A.

Les études de génie civil doivent conduire à produire, parallèlement au dossier géologique et géotechnique (cf. annexe 2.0, 2^{ème} étape) :

- un dossier inventariant et justifiant les contraintes auxquelles doit satisfaire l'ouvrage ; profils en travers, équipements, ouvrages annexes, contraintes d'environnement (vibrations, tassements, pollution),
- un mémoire justifiant la solution proposée et comparant s'il y a lieu différentes variantes ou différentes méthodes d'exécution.

La justification des ouvrages ne s'appuie pas nécessairement sur des calculs, particulièrement à ce stade d'étude (cf. section 3 - chapitres 2 et 3). On peut avoir recours à des méthodes simples permettant un pré-dimensionnement, en prenant soin de rappeler les limites de la modélisation utilisée. Le cas échéant, on présentera des résultats d'études paramétriques portant sur les caractéristiques essentielles du terrain qui n'auraient pas encore pu être déterminées avec toute la précision souhaitée.

Les limites d'emploi des profils de soutènement proposés doivent être clairement indiquées. La démarche utilisée pour fixer les longueurs prévisionnelles d'application de ces profils-types (utilisation de classifications géomécaniques,) doit être complètement explicitée.

Les zones singulières (têtes, difficultés particulières)

doivent faire l'objet d'études spécifiques : par exemple vérification de la stabilité des versants aux têtes de tunnel, pré-dimensionnement d'un traitement du terrain pour traverser un accident géologique, zones de terrain susceptibles de gonflement nécessitant un radier, etc

Les ouvrages de génie civil secondaire (drainage, assainissement, dalles, niches ...) doivent être répertoriés et figurés sur des documents-types.

1.2.3 - Etudes de projet

En matière de génie civil, les études de niveau projet consistent essentiellement à affiner les dispositions arrêtées – en principe – au stade de l'APS et à détailler le processus de construction de façon à préciser le délai d'exécution et l'estimation de l'ouvrage.

Pour un tunnel les études de projet conduisent à l'établissement du dossier de projet d'ouvrage d'art (P.O.A.)

La justification des profils-types de soutènement doit être reprise et détaillée s'il y a lieu par tronçon de tunnel, en fonction des caractéristiques du terrain et de la hauteur de couverture. Si des calculs doivent être produits à l'appui des justifications, il est souhaitable de modéliser la géométrie réelle de l'ouvrage. On peut se limiter à fournir des calculs correspondant aux hypothèses les plus défavorables et renvoyer les calculs plus complets aux études d'exécution.

Les méthodes d'exécution doivent faire l'objet d'une analyse ayant pour but de préciser :

- les cadences d'exécution,
- les précautions d'emploi,
- les aléas à envisager.

Pour chaque ouvrage de tête, il convient de mener une étude particulière prenant en compte les contraintes architecturales éventuelles, étude ayant le niveau de définition attendu pour un projet d'ouvrage d'art. (tel que défini dans l'annexe à la circulaire du 5 mai 1994).

Dans le cas des tunnels en site urbain, le projet doit comporter, s'il y a lieu, une prévision des tassements générés par le creusement et l'indication de leurs conséquences éventuelles sur les constructions en surface. Une analyse des niveaux de tassements admissibles par ces constructions doit figurer par ailleurs au titre des études d'environnement.

Les ouvrages annexes doivent faire l'objet de plans adaptés au cas particulier du tunnel en projet.

1.3 - Organisation des études

L'organisation des études doit tenir compte des facteurs suivants :

- l'établissement d'un projet de tunnel nécessite d'engager des reconnaissances de terrain importantes dès les premiers stades des études et tout particulièrement dans la phase d'avant-projet sommaire (établissement de l'E.P.O.A. pour les projets routiers sur le réseau national non concédé) ;

- à chaque phase le contenu des reconnaissances doit pouvoir être adapté en fonction des résultats des premières reconnaissances effectuées ; il est donc vivement recommandé de disposer d'une marge de financement et de délais permettant d'engager les études complémentaires qui s'avèreraient nécessaires ;

- les études à engager pour une nouvelle phase du projet ne peuvent être entièrement définies qu'après analyse des résultats de la phase précédente ;

- les études géologiques, hydrogéologiques et géotechniques et les études de conception du génie civil nécessitent d'avoir recours à des spécialistes de disciplines différentes ; le pilotage de ces études doit être assuré par un ingénieur maîtrisant bien la démarche de conception d'un tunnel.

D'autre part l'intégration des reconnaissances et études de génie civil avec les autres études évoquées en 1.1 doit être une préoccupation constante du maître d'œuvre, notamment en vue de déterminer l'implantation optimale du tunnel – laquelle constitue presque toujours le facteur le plus sensible pour ce qui concerne la maîtrise des aléas en cours de construction et donc des coûts et délais.

Il ne faut pas hésiter à réorienter les études si nécessaire.

Le coût des études doit être mis en balance avec les risques liés à des aléas mal maîtrisés.

1.4 - Retour d'expérience de la construction des tunnels

Dans les travaux souterrains peut-être plus qu'ailleurs (en raison de la difficulté de prévoir la réponse du terrain au creusement) le retour d'expérience des travaux antérieurs apporte une contribution essentielle à la qualité des projets nouveaux.

Il est indispensable que les principales difficultés rencontrées lors des travaux et l'aptitude des procédés d'exécution utilisés à y faire face (ou leur adaptation dans ce but) soit décrites et analysées avec soin et intégrées dans le dossier d'ouvrage (*), qui constituera alors une source de renseignements précieux pour les futurs projeteurs.

L'analyse des cadences d'exécution réelles atteintes avec les différents procédés de creusement et de soutènement, dans des terrains variés, est également très utile pour constituer une base de données permettant de fixer de façon rationnelle et raisonnable les délais d'exécution des travaux de tunnel et leur estimation.

(*) *Instruction technique du 19.10.1979 pour la surveillance et l'entretien des ouvrages d'art (modifiée le 26.12.1995).*

Contenu du dossier pilote génie civil

2.1 - Généralités

Outre la présente section n° 1, le dossier pilote comporte huit sections dont le contenu est brièvement présenté dans les paragraphes 2.2 à 2.9 ci-après.

Les sections 5 et 6 d'une part, 7 et 8 d'autre part ont été regroupées dans un même fascicule.

Le découpage adopté a conduit à fragmenter certains thèmes, principalement ceux concernant :

- les problèmes liés aux tunnels urbains (voir chapitre 3.3 ci-après) ;
- les problèmes liés à la maîtrise de l'eau dans l'ouvrage en exploitation : étanchement en section 5, drainage et assainissement en section 7 ;
- l'auscultation des ouvrages, traitée en section 4 pour ce qui concerne la phase des travaux et en section 5 pour ce qui concerne la surveillance à long terme.

2.2 - Section 2

Géologie - Hydrogéologie - Géotechnique

Cette section explicite les reconnaissances à réaliser aux différentes phases d'études pour obtenir les éléments nécessaires à la mise au point d'un projet. Ces éléments sont décrits de manière méthodique, une

adaptation est bien sûr à faire pour chaque cas particulier de tunnel.

Les principaux procédés de reconnaissances sont présentés ; quelques indications concernant leurs conditions d'emploi sont données en annexe.

2.3 - Section 3

Conception et dimensionnement

Cette section décrit les principaux mécanismes mis en jeu lors du creusement d'un tunnel et précise le rôle du soutènement et du revêtement.

Différentes méthodes permettant de faire le choix des soutènements et de vérifier leur dimensionnement sont présentées dans leurs principes, avec l'indication de leurs limites d'emploi ; les problèmes de stabilité du front de taille et de pré-soutènement sont abordés.

Le dernier chapitre rappelle les règles de conception et de vérification des revêtements en béton non armé.

Des exemples de profils-types de soutènement sont donnés en annexe.

2.4 - Section 4

Procédés de creusement et de soutènement

Cette section fait une large place aux annexes décrivant les principaux procédés de construction utilisés en travaux souterrains ; pour chaque procédé des indications sont données sur le domaine d'application, les conditions d'emploi, éventuellement les performances.

Les indications concernant les principaux choix de construction (creusement mécanisé ou non, pleine ou demi-section, type de traitement de terrain, etc) sont utilisables aux phases préliminaires des projets, mais des comparaisons plus fines sont à effectuer dès que les données recueillies le permettent.

Le dernier chapitre porte sur l'auscultation pendant les travaux, qui constitue presque toujours un élément essentiel de la conduite des travaux ; certains choix de renforcement du soutènement peuvent être commandés par les observations et mesures faites sur l'ouvrage.

2.5 - Section 5

Etanchement et revêtement

La première partie de la section décrit les procédés d'étanchement des tunnels, par imperméabilisation ou par drainage, et donne des critères de choix.

Sont ensuite présentés les différents types de revêtement et d'habillage des parois des tunnels. Certaines des dispositions proposées sont bien adaptées aux projets de rénovation des tunnels anciens.

Le dernier chapitre est consacré à la surveillance à long terme des tunnels.

2.6 - Section 6

Génie civil lié aux équipements et à l'exploitation

Cette section donne les principales dispositions concernant le génie civil de second œuvre, c'est-à-dire essentiellement les faux plafonds et cloisons de ventilation, les communications entre les conduits d'air et le tunnel, les planchers supportant la chaussée.

Le troisième chapitre porte sur la prise en compte du cas de l'incendie pour la conception du génie civil ; les recommandations formulées seront à adapter le cas échéant après parution de la directive qui doit remplacer la circulaire du 29 décembre 1981 portant sur la sécurité des tunnels routiers.

2.7 - Section 7

Assainissement, drainage et réseaux divers

Le rôle, l'implantation et les principaux critères de dimensionnement des dispositifs d'assainissement et de collecte des eaux souterraines sont présentés dans cette section, de même que les dispositions à prendre pour assurer le stockage et le traitement éventuel des effluents.

On doit insister sur le fait qu'une conception inappropriée de ces dispositifs peut entraîner des conséquences regrettables en phase d'exploitation du tunnel.

Sont également donnés quelques exemples de dispositions-types des réseaux souvent nombreux qui cheminent en tunnel.

2.8 - Section 8

Chaussées

Cette section recense les spécificités des tunnels en matière de chaussée, tenant notamment à l'éclairage et à l'absence de nettoyage par les précipitations.

Des recommandations sont formulées pour adapter la structure de la chaussée aux différents types de support : bon rocher, rocher altéré, radier, etc

2.9 - Section 9

Impact de la construction sur l'environnement

Cette section traite essentiellement des impacts suivants :

- tassements,
- bruits et vibrations,
- impact sur les eaux profondes et superficielles.

Limites d'emploi du dossier pilote génie civil

Il paraît presque inutile de rappeler que le présent dossier-pilote ne constitue en aucune sorte une étude "toute faite" car chaque tunnel nécessite une étude "sur mesure". En outre, le dossier pilote génie civil a été établi pour une application aux tunnels et aux méthodes de construction relativement courants.

Certains tunnels peuvent poser des problèmes particuliers en raison de leur fonction, de leurs dimensions, de leur profondeur, de leur environnement ou des procédés de construction utilisés.

renforcements du terrain et aux soutènements, pourraient s'avérer mal adaptés dans le cas de réalisation de galeries de petite section.

On peut d'autre part observer que des critères de dimensionnement différents peuvent être retenus pour des ouvrages non destinés à être empruntés par des personnes pendant une longue période. A l'inverse, des critères importants pour certains usages (galeries hydrauliques, stockages souterrains) ne sont pas traités dans le dossier-pilote.

Enfin, les ouvrages où l'on ne cherche pas, ou très peu, à s'opposer aux déformations même importantes du terrain et à caractère provisoire (galeries de mines par exemple) relèvent d'une conception assez différente de celle des tunnels routiers.

3.1 - Types d'ouvrages souterrains

Le dossier-pilote génie civil s'applique aux tunnels creusés de **grande section** (très généralement comprise entre 60 et 110 m² pour un tunnel routier).

Les ouvrages réalisés en tranchée couverte ou par assemblage de caissons immergés ne sont que très brièvement décrits en annexe de la section 4 "Procédés de creusement et de soutènement".

En général les principales difficultés d'exécution croissent très vite avec la taille de la section excavée et sont, par exemple dans le cas des massifs rocheux, étroitement liées à la maille relative des discontinuités (diaclasses, joint de stratification,) vis-à-vis de la section de l'ouvrage. C'est pourquoi les critères de choix énoncés dans le dossier, notamment quant aux

3.2 - Procédés de construction

Le dossier pilote traite principalement du cas des tunnels creusés de manière séquentielle, c'est-à-dire où les opérations de creusement et de soutènement sont effectuées séparément par mise en œuvre de moyens bien différenciés. Le cas du creusement au tunnelier, où les différentes fonctions sont intégrées sur une même machine n'est abordé que de manière assez succincte.

Les expériences en matière de creusement des tunnels routiers au tunnelier sont encore peu nom-

breuses en raison de la taille de machines nécessaires (plus de 11 mètres de diamètre pour un tunnel à deux voies de circulation). Les informations données dans le dossier s'appuient donc largement sur des retours d'expériences provenant de chantiers en plus petite section (notamment les ouvrages de métro pour les boucliers à front pressurisé) et devront être complétées à l'avenir.

Par ailleurs, les méthodes de conception et de dimensionnement et les procédés de construction sont abordés dans l'optique d'un creusement en pleine ou demi-section, presque toujours possible maintenant, même dans les terrains très difficiles, en raison de l'évolution des techniques. L'attaque en section divisée, suivie de la mise en place d'éléments partiels de soutènement ou de revêtement, se trouve maintenant réservée à des cas particuliers.

Enfin, le dossier pilote ne s'applique que très partiellement au cas des tunnels anciens, pour la raison évoquée ci-dessus mais aussi parce que ces tunnels font appel pour leur construction à des matériaux différents (boisages, maçonneries, ...) de ceux qui sont utilisés actuellement et ont pu subir de fortes évolutions depuis leur construction. On peut s'inspirer surtout des indications données aux sections 5 à 8 en cas de modernisation du tunnel(*).

3.3 - Tunnels en site urbain

Les tunnels urbains présentent des caractères spécifiques que l'on peut résumer comme suit :

- tracé généralement imposé, peu profond, traversant des sols ;
- présence de constructions aux têtes et à l'aplomb de l'ouvrage ;
- présence d'aménagements souterrains à proximité (caves, réservoirs, collecteurs, métro ..) ;
- contraintes environnementales fortes.

Les études doivent être adaptées en conséquence :

- en ce qui concerne les reconnaissances : ne pas hésiter à avoir recours à des puits ou galeries et aux reconnaissances à l'avancement en cours de travaux, pour pallier l'insuffisance des reconnaissances depuis la surface ;
- en ce qui concerne le choix des procédés de construction : privilégier les procédés permettant la mise en place rapide d'un soutènement complet, peu sensible aux hétérogénéités du terrain, facile à renforcer si nécessaire (ou du revêtement définitif) ;

- en ce qui concerne l'impact du creusement du tunnel sur les constructions et ouvrages de surface ou enterrés : analyser les différentes sources de tassement et les moyens d'y remédier : renforcement des soutènements, limitation du drainage, traitements de terrain, injections de compensation, prévoir les moyens de limiter les vibrations produites lors du creusement, etc ;

- en ce qui concerne l'incidence des ouvrages annexes : intégrer très en amont du projet ces ouvrages qui peuvent constituer des contraintes fortes (émergences de sécurité, stations de ventilation, etc).

Le dossier pilote ne traite que succinctement ces questions, essentiellement en section 3 "Conception et dimensionnement" et 9 "Impact de la construction sur l'environnement". Des développements plus substantiels peuvent être trouvés dans les ouvrages ou documents cités en bibliographie, à la fin de la présente section ou dans le corps des autres sections.

3.4 - Tunnels à grande profondeur

Il s'agit des tunnels longs assurant le franchissement des chaînes de montagnes à une altitude assez faible, donc avec des couvertures de terrain très importantes.

Ces ouvrages posent des problèmes spécifiques :

- en ce qui concerne les reconnaissances : réalisation de sondages profonds, détermination de l'état de contrainte du terrain, etc ;
- en ce qui concerne les méthodes d'exécution : contrôle des phénomènes liés à la décompression du massif, problèmes liés à la longueur et à la profondeur du tunnel (température, ventilation, exhaure) ;
- en ce qui concerne les ouvrages annexes : les besoins de ventilation ou de sécurité en exploitation par exemple peuvent nécessiter la construction de puits de grande hauteur ou de galeries inclinées.

Pour ce type de tunnels, la phase d'étude conduit à l'engagement de dépenses importantes, voire de travaux ayant un impact important : puits, galeries de reconnaissance de grande longueur. Ceci doit être pris en compte dans l'organisation des études.

(*) Se référer également au Guide pour la surveillance, l'entretien, la conservation des tunnels routiers (CETU - Mars 1998).

Glossaire des principaux termes utilisés pour le génie civil

◆ Abattage

Opération de désagrégation du terrain à excaver provoquant sa chute au pied de la paroi attaquée où les déblais sont repris par les engins de marinage.

Ce terme est également employé, notamment au pluriel, pour désigner certaines phases d'exécution en section divisée (abattages latéraux).

◆ Aléseur

Machine à appui radial réalisant la section définitive par alésages successifs à partir d'un avant-trou axial.

◆ Anneau

Tranche élémentaire du revêtement d'un tunnel creusé au moyen d'un tunnelier.

◆ Anneau universel

Tranche élémentaire du revêtement d'un tunnel creusé au tunnelier dont les faces avant et arrière ne sont pas parallèles de manière à prendre une direction dépendant de la position de la clé.

◆ Avancement

Longueur de tunnel sur laquelle une opération est effectuée pendant un temps donné (heure, jour, mois, poste).

L'opération peut être une opération élémentaire (excavation, petite galerie, bétonnage, demi-section supérieure) ou l'ensemble d'un cycle d'opérations concourant à l'exécution de tout ou partie d'un tronçon d'ouvrage.

◆ Blindage

Opération consistant à bloquer les terrains instables autour de l'excavation. Le blindage est obtenu la plupart du temps à l'aide de plaques en métal ou en béton, jointives ou non, bloquées au terrain encaissant et s'appuyant sur les cintres.

Ce terme peut aussi désigner le matériel utilisé pour cette opération.

◆ Blocage

Opération de mise en place d'un matériau (généralement du béton) utilisé pour le remplissage de l'espace vide entre un soutènement et la surface excavée.

◆ **Bouchon**

En galerie ou en puits les mines disposent d'un plan unique de dégagement, constitué par le front d'abat-tage.

Le bouchon est le plus petit ensemble de mines susceptible d'engendrer une seconde surface de dégage-ment en créant une cavité de forme donnée dont la profondeur atteint la longueur choisie pour l'abatta-ge. Le bouchon peut être creusé manuellement, mécaniquement ou à l'explosif.

◆ **Bouclier**

Système de protection constitué d'une structure métallique complète ou partielle à l'abri de laquelle s'ef-fectuent les opérations de terrassement. Le soutènement ou le revêtement peuvent également être mis en œuvre à l'abri du bouclier.

◆ **Bouclier à air comprimé**

Bouclier travaillant sous enceinte d'air comprimé. La pression d'air comprimé peut être limitée, soit au seul front de taille soit à l'ensemble du chantier d'avancement.

◆ **Bouclier à boue**

Bouclier utilisant une boue qui, placée dans la partie avant du bouclier, assure à la fois la stabilité provisoire des parois et le transport des déblais.

◆ **Bouclier à front pressurisé**

Bouclier à front fermé dont la chambre d'abattage est mise en pression contrôlée.

◆ **Bouclier à pression de terre**

Bouclier à front pressurisé dont la pression sur le front de taille est exercée par le terrain excavé.

◆ **Boulon**

Tige métallique destinée à renforcer la roche. Mise en place dans un forage, elle est ancrée dans la roche à une extrémité ou sur toute sa longueur et serrée sur la surface rocheuse au moyen d'une plaque et d'un écrou à l'autre extrémité qui est filetée. Pour renforcer le front de taille des tunnels on utilise des boulons en fibre de verre de grande longueur, faciles à détruire lors de l'abattage.

◆ **Boulonnage radial**

Opération consistant à renforcer le terrain autour d'une galerie par des boulons disposés radialement en auréoles successives.

◆ **Bulle d'air**

Dans les boucliers à pression de boue, système de régulation par pression d'air comprimé de la pression de boue au front de taille.

◆ **Cake**

Fine membrane d'imprégnation de boue se formant sur la surface du front de taille et assurant sa stabilité.

◆ **Calotte**

Partie supérieure et centrale de la voûte.

◆ **Chambre d'abattage**

Espace du bouclier, en contact avec le front où est réalisé l'abattage du matériau. Dans le cas du bouclier fermé, cet espace est clos à l'arrière par une cloison dite "cloison étanche", cet espace peut alors être pressurisé.

◆ **Cintre**

Support en forme d'arc réalisé au profil du tunnel et mis en place contre la paroi pour soutenir le terrain, soit directement avec des calages, soit par l'intermédiaire d'un blindage. Il est généralement en acier.

◆ **Cintre lourd**

Cintre réalisé à partir d'un profilé métallique (généralement de type IPN, HEA, HEB).

◆ **Cintre réticulé**

Cintre constitué de barres d'acier à haute limite élastique (généralement armatures pour béton armé) liaisonnées par des aciers secondaires constituant une "réticulation".

◆ **Clé (de voûte)**

Section de la voûte située dans son plan de symétrie.

◆ **Confinement (contrainte de)**

Contrainte qui apparaît à l'interface entre le terrain encaissant et le soutènement (ou le revêtement) et qui résulte de leur interaction.

◆ **Confinement**

Désigne le phénomène générateur des contraintes de confinement et éventuellement les moyens mis en œuvre pour le provoquer.

◆ **Confinement (pression de)**

Pression appliquée au front de taille dans les boucliers à front pressurisé.

◆ **Convergence**

Variation de longueur de toute corde d'une section droite d'une cavité souterraine, mesurée après excavation. S'utilise aussi pour désigner le déplacement radial d'un point de la paroi.

Désigne également le phénomène qui provoque ces variations de longueur.

◆ **Couverture**

Distance verticale mesurée entre la cote de la surface du terrain naturel et la cote de la clé de voûte.

La couverture latérale est la plus petite distance entre la surface du versant et la paroi de l'excavation.

◆ **Creusement**

Ensemble des opérations d'abattage et de marinage.

Au sens large, peut désigner l'ensemble des opérations de réalisation d'un tunnel.

◆ **Cuvette de tassement**

Dépression provoquée à la surface du sol par le creusement d'un tunnel.

◆ Décompression (zone décomprimée)

Phénomènes qui accompagnent la modification des contraintes naturelles dans le terrain au voisinage de l'excavation. Dans les roches, la décompression peut se traduire par l'ouverture ou la création de fissures dans certaines zones et par le dépassement de la limite de rupture en compression dans d'autres zones.

◆ Déconfinement

Phénomène de diminution de contrainte à la paroi d'une cavité.

◆ Découpage soigné

Adaptation du plan de tir consistant à rapprocher les trous de couronne, à limiter la charge d'explosif et à la répartir tout le long des trous en vue de diminuer les irrégularités de la surface de dérochement. Le tir des charges de couronne est effectué en dernier dans la mise à feu de la volée.

◆ Demi-section

Le creusement en demi-section désigne le creusement d'un tunnel en deux phases décalées dans le temps et dans l'espace. On réalise d'abord le creusement de la demi-section supérieure puis celui de la demi-section inférieure (ou stross).

◆ Direction (creusement en)

Cas où l'axe du tunnel est sensiblement parallèle aux couches successives ou aux principales discontinuités.

◆ Enfilage

Soutènement réalisé avant abattage par enfoncement dans le terrain de barres ou profilés métalliques en pourtour de la future excavation.

◆ En profil (ou sous profil)

Volume de terrain situé, après excavation, à l'intérieur du contour prévu. Peut également s'appliquer au volume de revêtement qui serait à l'intérieur du contour prévu pour l'intrados.

◆ Erecteur

Dispositif mécanique permettant la mise en place du soutènement provisoire ou définitif (et notamment des anneaux de voussoirs dans le creusement au tunnelier).

◆ Etanchement

Opération visant à limiter à une valeur acceptable ou à annuler le débit d'eau qui traverse un revêtement.

◆ Excavation

Ensemble des deux opérations d'abattage et de marouflage. Peut désigner le résultat c'est-à-dire le volume vide laissé par celles-ci.

◆ Extrusion

Déplacement axial vers la cavité du noyau de terrain non encore excavé situé en avant du front de taille.

◆ Foration

Opération consistant à réaliser un trou à l'aide d'un outil animé d'un mouvement de rotation et/ou de percussion (pour mise en place de mines ou de boulons).

◆ Grippeur

Ensemble destiné à supporter la poussée d'un tunnelier en bloquant la machine contre le terrain au moyen d'un patin d'appui mû par un vérin. S'utilise sur les machines pleine face en roche dure.

◆ Habillage

Structure légère (ou même simplement peinture) mise en place contre la paroi du tunnel et n'ayant pas de rôle de soutènement.

◆ Hors-profil

Volume excavé à l'extérieur d'un contour prévu.

◆ Injection de bourrage

Injection de remplissage du vide annulaire laissé à l'arrière du tunnelier, à l'échappement du joint de queue, dans le cas d'un tunnel revêtu par voussoirs.

◆ Joint de queue

Joint assurant l'étanchéité entre la jupe et les anneaux de voussoirs.

◆ Jumbo

Matériel utilisé pour la perforation des trous de mines. Le jumbo, quand il est assisté par ordinateur, assure l'implantation, le guidage et la perforation automatique de la volée.

◆ Jupe

Partie cylindrique arrière d'un bouclier, servant de protection et pouvant n'intéresser qu'une partie de la section. Le revêtement par voussoirs est généralement mis en place à l'abri de celle-ci.

◆ Machine à attaque ponctuelle

Machine n'attaquant qu'une partie du front de taille et dont la conception initiale n'est pas liée à une forme de section déterminée a priori.

◆ Machine pleine face

Machine excavant en une seule fois la totalité du front de taille et assurant le ramassage des déblais.

On emploie aussi le terme : machine foreuse pleine section.

◆ Marinage

Opération comprenant le chargement et l'évacuation à l'extérieur du tunnel des déblais provenant de l'abat-tage, ou "marin".

◆ Outil

Outil de creusement monté sur la roue de coupe et servant à la désagrégation du terrain (de type molette, pic, dent, couteau).

◆ Piédroits

Parties verticales de la section transversale du tunnel, comprises entre la voûte et le sol de fondation de l'ouvrage. Par extension, parties latérales de la section transversale d'un tunnel.

◆ Plan de tir

Plan donnant la position, la profondeur, le diamètre et la direction des trous de mine dans le front de taille d'un tunnel ou d'un puits. Le plan de tir indique les charges mises en place dans chaque trou, le bourrage et l'amorçage utilisés.

◆ Plein cintre

Profil voûté dont la fibre moyenne de la voûte est un cercle.

◆ Pleine section

Creusement en une seule phase de la totalité de la section d'un tunnel.

◆ Prédécoupage

Réalisation d'une saignée ou d'une ligne de découpe le long du contour de l'excavation avant l'abattage de celle-ci ; elle peut être réalisée :

- soit à l'explosif (prédécoupage à l'explosif) ;
- soit par havage mécanique (prédécoupage mécanique), notamment en vue de réaliser une prévoûte par remplissage de béton dans la saignée.

◆ Pré-soutènement

Soutènement mis en place à la périphérie de la section à excaver, en avant du front de taille (par exemple : prévoûte; voûte-parapluie).

◆ Prévoûte

Voûte réalisée par mise en place de béton dans une saignée pratiquée dans le terrain en avant du front de taille selon le contour de la section à excaver.

◆ Profils types

Coupes types d'un ouvrage souterrain linéaire qui s'appliquent à des tronçons où les caractéristiques du terrain sont sensiblement uniformes. Les profils types fixent les caractéristiques géométriques de l'excavation et de son revêtement ainsi que les dispositions de principe du soutènement.

◆ Purge

Élimination des blocs instables de la paroi de l'excavation.

◆ Radier

Partie inférieure du tunnel située entre les deux piédroits. Le radier peut être laissé brut ou être constitué par une dalle ou un arc en béton.

◆ Radier contre-voûté

Radier bétonné en forme de voûte inversée, le point le plus bas du radier étant situé dans le plan de symétrie de l'ouvrage.

◆ Rein

Partie de la voûte comprise entre la calotte et les naissances.

◆ Revêtement

Ensemble des dispositifs à ajouter au soutènement pour assurer la stabilité définitive de l'ouvrage souterrain. Le revêtement constitue la structure résistante placée le plus à l'intrados du tunnel.

◆ Roue de coupe

Voir tête de foration.

◆ Section divisée

Méthode de creusement consistant en l'ouverture d'une (ou plusieurs) galerie (s) de petite section dont une partie du soutènement participe au soutènement de l'excavation totale à réaliser.

◆ Séquentiel (creusement)

Désigne une méthode d'exécution où les opérations de creusement et de soutènement sont bien distinctes, par opposition au creusement au tunnelier où la même machine réalise les deux opérations en continu.

◆ Soutènement

Ensemble des dispositifs assurant la stabilité provisoire (jusqu'à la mise en place d'un revêtement définitif) de l'excavation et la sécurité du chantier : boulons, cintres, blindage, béton projeté. Opération consistant à mettre en œuvre ces dispositifs.

◆ Stross

Terrain à excaver situé dans la partie inférieure du profil comprise, en hauteur, entre la demi-section supérieure et le radier et, en largeur, entre les piédroits.

◆ Terrain encaissant

Terrain dans lequel est réalisé un ouvrage. Le terrain encaissant peut être surmonté par des couches de terrain de nature différente.

◆ Tête de foration

Partie d'un tunnelier qui porte les outils de creusement du terrain et éventuellement le dispositif de ramassage des déblais. Autre dénomination : Roue de coupe.

◆ Tir

Opération consistant à mettre à feu l'explosif.

◆ Tir séquentiel

Système d'amorçage programmé des différentes lignes d'un plan de tir.

◆ Travers banc (creusement en)

Cas où l'axe du tunnel se rapproche de la direction normale aux couches de terrain ou principaux plans de discontinuités.

◆ Tunnelier

Machine destinée à réaliser des tunnels assurant des fonctions étendues pouvant aller de l'excavation à la pose du revêtement final.

◆ Vide annulaire

Vide situé entre l'extrados de l'anneau de revêtement et le terrain à la sortie de la jupe.

◆ Vis d'extraction

Vis sans fin assurant l'extraction des déblais de la chambre d'un tunnelier ainsi que le maintien de la pression dans celle-ci en mode fermé.

◆ Volée

Ensemble des trous de mine chargés.

Désigne également le volume de terrain abattu au cours d'un tir ou la longueur de l'excavation correspondante.

◆ Voussoirs

Éléments préfabriqués dont l'assemblage constitue le soutènement et/ou le revêtement d'un tunnel (généralement creusé au moyen d'un tunnelier). Ils peuvent être en acier, en béton, en fonte ou en fonte ductile.

◆ Voûte active

Procédé consistant à réaliser une voûte constituée d'éléments de voussoirs préfabriqués mis en place par un portique de pose et mis en compression contre le terrain par l'intermédiaire d'une clé de voûte munie de vérins.

◆ Voûte-parapluie

Voûte constituée de tubes métalliques disposés en couronne subhorizontale suivant le contour de la section qui sera excavée et prenant appui sur des cintres posés au fur et à mesure de l'avancement ; la voûte peut également être constituée de colonnes de jet-grouting armées.

Bibliographie générale

On s'est limité à citer ci-dessous quelques ouvrages généraux et les principales recommandations existantes dans le domaine des travaux souterrains. Des éléments bibliographiques complémentaires sont donnés dans chaque section.

◆ Ouvrages

- K. SZECHY.
Traité de construction des tunnels (Dunod, Paris 1970)
- Z.T. BIENIAWSKI.
Rock Mechanics Design in Mining and Tunnelling (Balkema, Rotterdam 1984)
- P.B. ATTEWELL, J. YEATES, A.R. SELBY.
Soil Movements Induced by Tunnelling and their Effects on Pipelines and Structures (Blackie, Glasgow-Londres 1986)
- A. BOUVARD-LECOANET, G. COLOMBET, F. ESTEULE.
Ouvrages souterrains : conception, réalisation, entretien (Presses de l'ENPC, Paris 1988)
- J.A. HUDSON.
Comprehensive Rock Engineering (5 volumes, Pergamon Press 1993)
- B. MAIDL, M. HERRENKNECHT, L. ANHEUSER
Mechanized Shield Tunnelling (Ernst & Sohn, Berlin 1996)
- C. LOPEZ JIMENO.
Manual de Túneles y Obras Subterráneas (Entorno Grafico, Madrid 1997)

◆ Recommandations AFTES

(voir liste page 27 et 28)

Service documentaire du CETU

Pour consulter les documents cités dans le dossier-pilote ou procéder à des recherches bibliographiques on peut s'adresser au service documentaire du CETU.

Tél : 04 72 14 33 75

E-mail : doc@cetu.equipement.gouv.fr

◆ Autres recommandations

- CETU : Dossier-pilote des tunnels (ancienne version de 1976 pour mémoire)
- Projet national Clouterre : Recommandations CLOUTERRE 1991 (Presses de l'ENPC, Paris 1991)
- Projet national ITELOS : Télésurveillance des ouvrages d'art et des sites (Ed.KIRK, 1994)
- Directives autrichiennes portant sur la construction des tunnels (Forschungsgesellschaft für das Verkehrs - und Straßenwesen, VIENNE)
- Norwegian Design Guide - Road Tunnels (Public Road Administration (décembre 1990)
- Sprayed Concrete Linings (NATM) for Tunnels in Soft Ground (ICE Design and practice guides, 1996)
- Travaux souterrains - Norme SI A 198 (Société Suisse des ingénieurs et architectes, mai 1993)
- Projet national italien (réunissant les associations suivantes : AGI, ANIM, GEAM, IAEG, ITCOLD, SIG, SIGI).
Guidelines for Design, Tendering and Construction of Underground Works (revue Gallerie e Grandi Opere Sotterranee n° 51 (mars 1997)

◆ Textes à caractère réglementaire

- Cahier des Clauses Techniques Générales
 - fascicule n° 69. Travaux souterrains (17 juin 1982)
 - fascicule n° 67. Titre III. Etanchéité des ouvrages souterrains (16 janvier 1992)
- Circulaire sur la sécurité dans les tunnels routiers (29 décembre 1981, en cours de révision).
- L'Eurocode 7 - partie 1 (Calcul géotechnique) n'est pas actuellement applicable aux tunnels.

◆ Composition du dossier-pilote des tunnels

- Géométrie - décembre 1990
(complété par les notes suivantes de décembre 1993 :
 - Profil en travers : application de la circulaire du 29 août 1991 aux tunnels routiers
 - Profil en long : éléments d'appréciation des pentes et rampes admissibles).
- Génie civil - juillet 1998
- Environnement - décembre 1990
- Eclairage - en cours de révision
- Ventilation - en cours de révision
- Alimentation électrique - septembre 1994
- Equipements d'exploitation et de sécurité - septembre 1994
- Exploitation - septembre 1994
- Coûts - à paraître

◆ Liste des recommandation de l'A.F.T.E.S

La liste ci-dessous est celle des recommandations publiées par l'A.F.T.E.S. depuis sa création. Cette liste est donnée dans l'ordre de sa publication dans la revue Tunnels et Ouvrages Souterrains. Le numéro de la revue de parution est indiqué dans la deuxième colonne.

La dernière colonne «observations» indique dans quel numéro spécial a été reprise la recommandation et son année de parution ou de dernière mise à jour.

Les numéros spéciaux sont identifiés par leur mois de parution ; à savoir : 10.84, 05-88 et 05.93.

Le numéro 07.82, épuisé, a été pratiquement repris dans le numéro 05.93.

TITRE	Parution	Observations
Recommandations relatives à la technologie et à la mise en œuvre du béton projeté dans les travaux souterrains	*3 TOS 1	Sp.05.93 93
Recommandations relatives au choix du soutènement en galerie	*3 TOS 1	Sp. 05.93 93
Recommandations concernant l'étude des effets sismiques de l'explosif	*3 TOS 2	Sp. 05.93 93
Propositions relatives aux mesures et essais réalisés dans le cadre d'un chantier de creusement mécanisé. Caractéristiques des roches sur échantillons	*3 TOS 5	Sp. 05.93 74
Technologie du boulonnage	TOS 6	74
Réflexions sur les méthodes usuelles de calcul	*3 TOS 14	Sp. 05.93 76
Coefficients d'utilisation et de disponibilité, indice de fiabilité des machines à pleine section	TOS 16	76
Utilisation du sous-sol du domaine public urbain pour la desserte des immeubles	TOS 23	77
Utilisation du sous-sol urbain pour l'extension des villes	TOS 24	77
Utilisation du sous-sol urbain pour l'aménagement des transports publics en site propre	TOS 25	77
Marinage dans les travaux souterrains	TOS 25	77
Recommandations relatives à l'emploi des cintres dans la construction des ouvrages souterrains	*3 TOS 27	Sp. 05.93 78
Recommandations pour une description des massifs rocheux utile à l'étude de la stabilité des ouvrages souterrains	*3 TOS 28	Sp. 05.93 78
Présentation de la méthode de construction des tunnels avec soutènement immédiat par béton projeté et boulonnage	TOS 31	79
Conditions d'emploi du boulonnage	TOS 31	79
Recommandations sur l'étanchéité des ouvrages souterrains.	35&36	Sp. 10.84 84
Les appareils de mesure des vibrations ; tendances et évolution	TOS 36	Sp. 10.84 84
Recommandations sur la sécurité de la circulation des personnels et matériels pendant l'exécution des travaux souterrains	TOS 39	Sp. 10.84 80
Recommandations sur la sécurité dans la perforation et l'utilisation des explosifs en souterrain	TOS 39	Sp. 10.84 80
Réflexions sur le marinage dans les travaux souterrains	TOS 40	80

Recommandations sur les méthodes de diagnostic pour les tunnels revêtus.	TOS 44	Sp. 10.84	81
Recommandations sur la sécurité du soutènement dans les travaux souterrains	TOS 44	Sp. 10.84	81
Recommandations sur les explosifs à l'usage des mines, travaux publics et carrières commerciales en France	TOS 45	Sp. 10.84	81
Recommandations sur le plan hygiène et sécurité	TOS 55	Sp. 10.84	83
Recommandations sur la lutte contre la pollution atmosphérique en travaux souterrains	TOS 55	Sp. 10.84	83
Recommandations sur les travaux d'entretien et réparation	TOS 58	Sp. 10.84	83
Recommandations sur l'emploi de la méthode convergence-confinement	*3 TOS 59	Sp. 05.93	83
Recommandations sur les installations électriques en chantiers de travaux souterrains	TOS 61	Sp. 05.88	84
Recommandations sur le choix d'un type de tunnelier ou de bouclier mécanisé	TOS 76	Sp. 05.88	86
Recommandations relatives aux travaux d'injection pour les ouvrages souterrains	*4 TOS 81	Sp. 05.88	87
Recommandations sur les réparations d'étanchéité en souterrain	TOS 82	Sp. 05.88	87
Recommandations sur les revêtements préfabriqués des tunnels circulaires au tunnelier	TOS 86		83
Recommandations sur la standardisation des profils des tunnels circulaires	TOS 88		88
Recommandations sur les venues et les pertes d'eau dans les ouvrages souterrains en exploitation	TOS 89		88
Recommandations sur la sécurité pour l'utilisation des explosifs dans les travaux souterrains	TOS 105		91
Recommandations pour l'établissement des plans d'assurance qualité pour les travaux d'étanchéité	TOS 113		92
Guide pour la mesure et le contrôle de l'effet des vibrations sur les constructions	TOS 115		93
Recommandations pour l'informatisation de l'archivage et de l'exploitation des données pour les tunnels en service	TOS 116		93
Recommandations sur les joints d'étanchéité entre voussoirs	TOS 116		93
Recommandations pour le choix des paramètres et essais géotechniques utiles à la conception, au dimensionnement et à l'exécution des ouvrages creusés en souterrain	TOS 123		94
Recommandations relatives à la technologie et à la mise en œuvre du béton projeté renforcé de fibres	*1 TOS 126		94
Recommandations pour l'utilisation et la mise en œuvre d'un compartimentage associé à un dispositif d'étanchéité par géomembrane synthétique	TOS 130		95
Recommandations relatives aux méthodes de diagnostic pour les tunnels revêtus	*2 TOS 131		95
Recommandations relatives aux tassements liés au creusement des ouvrages en souterrain	*2 TOS 132		95
Recommandations relatives à l'étanchéité des voussoirs préfabriqués en béton	TOS 132		95
Recommandations concernant la méthode de préparation des pré-charges	TOS 134		96
Recommandations concernant la lutte contre les nuisances dans les travaux souterrains	TOS 134		96
Recommandations relatives à l'emploi de rondelles PVC pour la fixation des membranes d'étanchéité en tunnels	TOS 138		96
Recommandations relatives à l'emploi des injections pour la réhabilitation d'ouvrages souterrains visitables	TOS 146		98
Recommandations relatives à la conception, le dimensionnement et l'exécution des revêtements en voussoirs préfabriqués en béton armé installés à l'arrière d'un tunnelier	TOS 146		98