

dossier pilote des tunnels génie civil

section 8 chaussées

Décembre 1997

**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

Chapitre 1	Préambule	5
1.1	La couverture	5
1.2	L'éclairage	5
1.3	L'espace disponible	6
1.3.1	La conception des structures	6
1.3.2	L'organisation du chantier	6
1.4	L'eau	6
1.5	Le fond de forme	6
Chapitre 2	Principes généraux de dimensionnement des chaussées	7
Chapitre 3	Construction des chaussées neuves en tunnel	9
3.1	Généralités	9
3.2	Politique de dimensionnement et d'entretien	9
3.3	Couche de surface - Relation avec l'éclairage	10
3.3.1	Chaussées en béton de ciment	10
3.3.2	Chaussées à couche de surface bitumineuse	11
3.4	Plate-forme support	12
3.4.1	Dalle béton (armé ou précontraint)	12
3.4.2	Radier formant contre-voûte (ou tunnel à section circulaire)	13
3.4.3	Fondation rocheuse saine	14
3.4.4	Sol meuble ou rocher altéré	15
3.4.5	Dispositions pratiques	16
3.5	Drainage	16
3.6	Vérification au Gel-Dégel	16

Préambule

La conception des chaussées en tunnel suit les principes généraux de conception et de dimensionnement des chaussées rappelés au chapitre 2 ci-après.

Cependant, ces structures présentent un certain nombre de particularités qui les distinguent des chaussées à l'air libre, et qui doivent être prises en compte lors de l'établissement des projets.

1.1 - La couverture

Dans le tunnel lui-même, **la surface des chaussées est moins soumise qu'à l'air libre à l'agression directe des agents atmosphériques**, et notamment du rayonnement solaire et de la pluie, ce qui a tendance à ralentir son vieillissement. Les cycles thermiques journaliers et saisonniers ont une amplitude plus réduite qu'à l'air libre, ce qui contribue également à augmenter la durabilité de la chaussée (pour les matériaux bitumineux, moindres risques d'orniérage par fluage, par exemple). **En revanche, la surface n'est pas nettoyée** par les eaux de pluie ; les corps gras, poussières, dépôts de gomme des pneumatiques, suies, boues, s'y accumulent. Il importe donc de veiller particulièrement aux caractéristiques superficielles du revêtement, d'autant plus que les manœuvres de freinage peuvent être fréquentes. Ces caractéristiques superficielles devraient être contrôlées plus fréquemment qu'à l'air libre et ceci pourra amener, le cas échéant, à des opérations de régénération plus fréquentes, soit par simple nettoyage du revêtement, soit par d'autres techniques, pouvant aller jusqu'au renouvellement de la couche de roulement.

A l'approche des têtes, cependant, des problèmes analogues à ceux qui se posent à l'air libre peuvent être rencontrés : glissance du fait de la pénétration des eaux de pluie, en hiver verglas quelquefois assez loin de la sortie, orniérage par fluage sur quelques dizaines de mètres.

1.2 - L'éclairage

L'objectif de l'éclairage est d'avoir une luminance suffisante et plus la chaussée sera claire plus cela pourra être obtenu avec des niveaux d'éclairement faibles. Il n'est pas prouvé qu'en section courante il soit intéressant de consentir un investissement élevé pour réaliser une chaussée de couleur très claire, du fait notamment **qu'un tel revêtement s'assombrit au bout de quelques années** par les dépôts de toutes sortes dus à la circulation (suies des gaz d'échappement, huile des organes moteurs, gomme des pneumatiques, etc...). Il est, par contre, très intéressant de réaliser dans les zones d'entrées de tunnel (sur environ 200 à 300 mètres) une chaussée claire, puisque, d'une part, c'est dans ces zones que le gain sur l'éclairage est le plus fort (zones d'éclairage renforcé), et que, d'autre part, le phénomène d'encrassement décrit ci-avant est moins marqué en tête de tunnel, du fait que l'eau de pluie entraînée par les véhicules produit un certain lessivage du revêtement.

Les dispositions relatives à l'éclairage doivent être examinées globalement (installation d'éclairage et caractéristiques photométriques de la chaussée) en vue d'assurer de bonnes conditions de visibilité, de confort visuel et de guidage des usagers. On se reportera pour cet examen au chapitre 3 ci-après ainsi qu'à la Section Eclairage du Document Equipement du Dossier Pilote.

1.3 - L'espace disponible

Il reste limité, tant en largeur qu'en hauteur et tant pour la construction que pour l'entretien et l'exploitation.

1.3.1 - La conception des structures doit être telle que l'entretien ultérieur soit aussi peu fréquent et aussi réduit (en épaisseur, en surface et en durée) que possible. En effet, la gêne occasionnée aux usagers par les travaux d'entretien entraîne des risques d'accidents plus grands qu'à l'air libre : éclairage plus faible, largeur disponible réduite, pollution atmosphérique par les engins de travaux et par les véhicules ralentis, qui contribue à diminuer la visibilité.

En outre, la limitation de hauteur disponible réduit les possibilités de rechargements ultérieurs de la chaussée (le choix de la revanche de construction et d'entretien est traité dans le dossier-pilote "Géométrie").

1.3.2 - L'organisation du chantier : circulation des engins et le choix de ceux-ci (encombrement) doivent être compatibles avec l'espace disponible. Dans le cas de gabarit réduit, il peut être nécessaire de faire appel à des engins spéciaux, par exemple pour l'alimentation de la machine de mise en œuvre.

1.4 - L'eau

Le corps de chaussée, ou au moins son support, se trouve assez fréquemment dans un milieu proche de la saturation : venues d'eau saisonnières ou permanentes par la forme du terrassement, parfois en pression, voire même, lorsque l'étanchéité en voûte de l'ouvrage n'est pas parfaite, par la surface de la chaussée.

Le recueil et l'évacuation revêtent donc une importance particulière pour la durabilité de la chaussée.

1.5 - Le fond de forme

Par ailleurs, le nivellement et l'assainissement provisoire (en cours de chantier) de la forme de terrassements sont beaucoup moins maîtrisables qu'à l'air libre, bien que celle-ci soit à l'abri de la pluie : l'excavation se fait souvent à l'explosif, ce qui entraîne des écarts par rapport à la cote théorique souvent supérieurs à 20 centimètres ; dans ce cas, la partie supérieure des terrassements, ébranlée, devient plus fragile ; les roches mises à l'air sont parfois altérables ; les venues d'eau en cours de chantier sont fréquentes ; les engins de chantier contribuent au broyage des roches superficielles et à la détérioration de la forme, et entraînent des boues, même sur les zones saines et sèches ; tous ces éléments font que l'obtention d'une forme de terrassements de bonne qualité demande beaucoup de précautions.

A contrario, il arrive fréquemment que la chaussée d'un tunnel soit fondée sur du rocher sain surmonté d'un béton de propreté, dont la réalisation est imposée pour la construction de l'ouvrage lui-même. Dans ce type de cas, il est - bien entendu - inutile de réserver a priori 50 centimètres pour la réalisation de la chaussée, alors que, sur un tel support, moyennant certaines précautions, il serait possible d'économiser 20 ou 25 centimètres de déroctage et de corps de chaussée. L'enjeu financier peut être très important.

Citons enfin le cas des ouvrages où la chaussée est directement supportée par une dalle en béton armé ou précontraint (cas des sections circulaires, creusées au tunnelier notamment), assimilable au cas des ponts.

En définitive, et en se plaçant volontairement du point de vue de l'utilisateur, le tunnel doit s'intégrer le mieux possible à l'itinéraire parcouru, en évitant les transitions brutales. Ce qui est vrai pour l'éclairage l'est également pour les caractéristiques superficielles de chaussée, qui influent très directement sur la sécurité et le confort.

Principes généraux de dimensionnement des chaussées

Sans reprendre ici l'exposé des méthodes de dimensionnement des chaussées, développé par ailleurs, rappelons simplement que la méthode Française, semi-empirique, reste basée à la fois sur l'expérience pratique et sur des modèles mathématiques.

Ce dimensionnement dépend :

- du trafic que va devoir supporter la chaussée pendant sa durée de service,
- de la portance de la plate-forme,
- des performances mécaniques des matériaux.

Par ailleurs, le choix de la structure de chaussée correspond à la politique routière suivie par le maître d'ouvrage, visant à un équilibre entre investissement initial et entretien. On conçoit parfaitement qu'on ne fera pas le même choix pour la chaussée d'un tunnel autoroutier et pour celle d'une voie communale...

Le guide technique "Conception et Dimensionnement des Structures de chaussées" (SETRA-LCPC 1994) expose plus en détails les principes, les hypothèses et les modalités d'utilisation de la méthode française.

Pour un tunnel, on s'orientera préférentiellement vers un investissement initial important, de façon à minimiser l'entretien, difficile et coûteux à réaliser.

Par ailleurs, un certain nombre de documents d'application utilisant cette méthode permettent au projeteur de concevoir de façon simple des structures de chaussées, en intégrant toutefois un certain nombre d'hypothèses implicites :

- le **Catalogue 1977 des Structures Types de Chaussées Neuves**, de la Direction des Routes,

actualisé en 1988, utilisé sur le Réseau National non concédé, fournit des structures-types de chaussées en fonction d'une classe de portance de plate-forme et d'une classe de trafic à la mise en service [la croissance du trafic (7 % l'an, géométrique), son agressivité, ainsi que les risques (variables suivant la classe de trafic) et la durée de calcul de service sont implicites] ;

- le **Manuel de Conception des Chaussées d'Auto-routes** (dernière révision 1988), élaboré par Scetauroute pour les autoroutes concédées est basé sur des principes analogues, mais avec des hypothèses différentes.

Ces deux documents fixent en fait la politique d'investissement pour les ouvrages gérés ou concédés par l'Etat.

Mais on peut également se référer à d'autres publications, comme par exemple :

- le **Manuel de Conception des Chaussées Neuves à Faible Trafic** (SETRA-LCPC Juillet 1981) orienté vers les réseaux routiers à faible trafic (en général voies départementales et communales),
- le **Guide Technique "Dimensionnement des Renforcements de chaussées souples"** (SETRA-LCPC - Juin 1978).

qui laissent plus d'hypothèses de calcul au libre choix du projeteur : croissance du trafic, durée de service notamment.

Une certaine évolution dans la conception des chaussées pourra être cependant prise en compte, notamment au niveau du choix préliminaire de la couche de roulement (choix qui est actuellement très large) et qu'on intégrera ensuite dans le choix de la structure.

Construction des chaussées neuves en tunnel

3.1 - Généralités

La terminologie utilisée dans le présent chapitre reste conforme à celle en vigueur. Le lecteur se reportera utilement au Catalogue des structures types du SETRA.

Le projeteur adoptera de préférence, ne serait ce que pour des raisons d'organisation de chantier, un type de chaussée unique, adapté aux zones les plus faibles, en jouant le cas échéant sur la couche de fondation, (et en veillant à ce qu'il ne reste pas de points bas non drainés, là où l'épaisseur change).

Il conviendra également de veiller à ce que la hauteur libre permette de recharger ultérieurement la chaussée (en général 5 cm).

On pourra adopter la démarche suivante pour le choix de la chaussée :

- en premier lieu, le choix de la couche de roulement, en tenant compte notamment :
 - du trafic (dont la proportion de poids lourds),
 - de la géométrie de l'ouvrage (rampes, sinuosité, etc...),
 - de l'environnement (urbain, autoroutier, continuité avec l'air libre, etc...),
 - de la politique d'entretien envisagée,
 - du niveau d'éclairage,
- ensuite, choix de la structure, en fonction :
 - du trafic lourd attendu (en tenant compte de sa valeur initiale, du taux d'accroissement, de la durée de service, de l'agressivité du trafic...)

- des performances attendues (à long terme) de la plate-forme support,

- en dernier lieu, vérification au gel-dégel.

Cette démarche conforme à celle proposée par le guide technique Conception et Dimensionnement répond aussi aux préoccupations du gestionnaire de voirie et de l'utilisateur.

3.2 - Politique de dimensionnement et d'entretien

Compte-tenu de la difficulté (et donc du coût) pour réaliser des chantiers de chaussée sous tunnel après mise en service, on cherchera à repousser le plus possible et à minimiser les travaux d'entretien :

Les désordres peuvent avoir leur origine :

- soit dans la couche de surface (défauts d'origine superficielle, voir 3.3 ci-après),
- soit dans les couches d'assises de la chaussée (défauts d'origine structurelle).

Pour limiter les dégradations d'origine structurelle, on pourra prendre en compte un trafic supérieur à celui qui est réellement escompté ou une classe de plate-forme support de chaussée inférieure à celle du pro-

jet. Suivant la nature des documents de dimensionnement, on retiendra les dispositions suivantes :

- Catalogue des Structure de Chaussées Neuves : prise en compte de la classe de trafic immédiatement supérieure. Pour la classe de trafic t_0 , on retiendra la classe de plate-forme immédiatement inférieure (la classe PF_1 étant à éviter pour les trafics lourds).
- Manuel de Conception des Chaussées d'Auto-roues : prise en compte de la classe complète de trafic immédiatement supérieure (par exemple pour t_{1+} , on retiendra t_{0+}). Pour la classe de trafic on retiendra la classe de plate-forme immédiatement inférieure.
- Documents ayant pour paramètre d'entrée le trafic cumulé (par exemple Manuel de Conception des Chaussées Neuves à Faible Trafic) : prise en compte d'un nombre cumulé d'essieux N multiplié par 2,5.

L'augmentation d'épaisseur de chaussée qui en résulte est relativement limitée (de l'ordre de 10 à 20 %). Elle devrait, sauf cas très particuliers, permettre de repousser à très long terme les entretiens de type structurel.

3.3 - Couche de surface - Relation avec l'éclairage

La couche de surface est constituée de la couche de roulement et, le cas échéant, d'une couche de liaison. Dans le cas des chaussées en béton de ciment une même couche peut jouer à la fois le rôle de couche de surface et de couche de base.

La couche de roulement doit assurer la qualité d'usage de la chaussée en garantissant les fonctions suivantes :

- offrir une **bonne adhérence** chaussée-pneumatique, quelles que soient les conditions climatiques, en évitant les pertes d'adhérence dues aux intempéries ; cette adhérence doit être conservée dans le temps ;
- **limiter les projections** d'eau ;

ces deux fonctions peuvent paraître moins importantes en tunnel qu'à l'air libre, mais il ne faut cependant pas oublier que par forte pluie les véhicules peuvent entraîner de l'eau sur des longueurs très importantes, quelquefois supérieures au kilomètre ; toutefois, généralement, les quantités d'eau sont relativement peu importantes et les problèmes d'aquaplanage et de projections restent marginaux ;

Cette question pourra mériter un examen approfondi dans le cas d'ouvrages longs, et plus particulièrement

en site urbain. En effet, le coefficient de frottement pneu-chaussée, qui dépend largement de l'état humide du support, intervient directement dans le calcul des distances de freinage et de stabilité du véhicule dans les tracés sinueux.

La couche de roulement contribue aussi à la pérennité de la structure de la chaussée (protection mécanique de la couche de base et étanchéité vis-à-vis de l'assise).

C'est dire que la qualité de la couche de roulement peut influencer directement sur la géométrie, donc le coût de l'ensemble de l'ouvrage ;

- présenter une surface **plane et confortable**, c'est-à-dire présenter un bon uni transversal (pas d'orniérage) et longitudinal, offrir un bon confort dynamique ;
- **limiter** le niveau de **bruit** de roulement pneumatique-chaussée ;
- pour le cas spécifique des tunnels et plus particulièrement de leurs entrées, présenter de bonnes **caractéristiques photométriques** en relation avec le type d'éclairage mis en place. Le caractère diffusant ou spéculaire du revêtement influe peu sur les performances d'une installation de type symétrique alors qu'un système à contre-flux sera plus efficace avec un revêtement spéculaire. Les caractéristiques à prendre en compte sont celles obtenues après plusieurs mois d'utilisation).(se reporter à ce sujet au chapitre 6 de la section 4 (Eclairage) du dossier-pilote "Equipements des tunnels).
- assurer une **étanchéité** aux produits dangereux déversés accidentellement ;
- enfin avoir une **longévité** suffisante.

3.3.1 - Chaussées en béton de ciment

Pour les chaussées en béton de ciment, le lecteur pourra se reporter aux documents - types relatifs à l'exécution des chaussées, notamment le guide technique "Chaussées en béton" du SETRA.

Les principaux éléments de choix peuvent être résumés comme suit :

- le module élevé du matériau béton permet de s'affranchir des problèmes de déformation sous trafic,
- pour préserver l'uni dans le temps, dans le cas de structures en dalles, il faut éviter l'érosion du support qui peut conduire à des décalages, voire des fissures d'angle. Il faut donc prévoir une fondation en matériaux non érodables et un drainage efficace des interfaces. Les sujétions d'entretien des joints sont également à prendre en compte,
- l'adhérence sera obtenue soit par dénudage chimique, soit par striage ou rainurage, de façon classique. Le niveau de bruit sera à apprécier en conséquence.
- il faut également signaler les caractéristiques photométriques intéressantes qui peuvent être obtenues par le choix de gravillons et de ciment de couleur claire.

Cet intérêt sera éventuellement limité, si les travaux d'entretien de la couche de surface conduisent à recourir à une couche de roulement bitumineuse, mince ou très mince.

3.3.2 - Chaussées à couche de surface bitumineuse

Les différents types de béton bitumineux actuellement disponibles :

- bétons bitumineux semi-grenus (BBSG) en forte épaisseur (5 à 9 cm) ;
- bétons bitumineux minces (BBM , épaisseur comprise entre 3 et 5 cm) ;
- bétons bitumineux très minces (BBTM , entre 2 et 3 cm) ;
- bétons bitumineux ultra-minces (BBUM , moins de 2 cm),

peuvent être utilisés en tunnel, avec une réserve sur les enrobés drainants (épaisseur voisine de 4 cm) comme indiqué ci-après :

Cette technique est largement développée dans les diverses publications du SETRA, auxquelles le lecteur se reportera.

Notons qu'en tunnel, on aura intérêt à mettre l'accent sur les points suivants :

- **La microtexture** importe plus que la macrotexture, puisqu'il n'y a pas de film d'eau épais à évacuer ;
- **la durabilité du revêtement** est essentielle puisque les travaux de renouvellement s'effectueront toujours dans des conditions délicates.

Ceci devrait logiquement conduire à la réalisation de couches de roulement plus fermées que celles qui se réalisent généralement «à l'air libre».

Notons également que le choix de gravillons clairs permet, pour un coût relativement modeste, l'obtention d'une surface de chaussée qui s'éclaircit par décapage du film de liant, sous l'effet du trafic (chaussée dite «éclaircie»). Toutefois ce trafic ayant tendance à être canalisé, on constate souvent un décapage uniquement dans les traces de roulement. Des expériences de décapage chimique ou mécanique du film de liant ont été tentées, avec des résultats inégaux. Il convient donc d'être prudent.

Une autre voie consiste à avoir recours, en plus des gravillons clairs, à un liant clair, constitué d'un bitume de synthèse (de couleur « miel ») et d'oxydes métalliques (en principe oxyde de titane), pour obtenir une surface la plus claire possible.

Le coût, relativement élevé, d'une telle formule, doit être apprécié en fonction de l'amélioration attendue sur le niveau d'éclairement du tunnel, ou du moins, sur l'impression de confort qu'en retirera l'usager. Une étude particulière devra être entreprise dans ce cas.

Là encore, rappelons que la chaussée, même claire au départ, se salit assez rapidement, et que lors des opérations de rechargement, la politique affichée au départ devrait être poursuivie, si le dimensionnement du système d'éclairage en tient compte.

- La technique des **bétons bitumineux drainants**, très séduisante au premier abord :

- absence de projections ;
- réduction du niveau sonore ;
- meilleures caractéristiques d'adhérence ;

n'est, en fait, pas adaptée au cas des tunnels :

- les enrobés drainants se colmatent facilement et rapidement, surtout en milieu urbain et/ou confiné ; en l'état actuel de la technique, on ne sait pas les décolmater efficacement ;
- il y a peu d'eau en tunnel ; les avantages liés à l'absence de projections et aux caractéristiques d'adhérence à grande vitesse n'existent pratiquement pas en souterrain ;
- la réduction du niveau sonore en milieu confiné ne paraît pas significative ;
- de plus ces enrobés sont susceptibles, en cas de déversement accidentel de produits inflammables, de constituer une réserve de carburant alimentant l'incendie pendant une durée très allongée. Ce phénomène a été mis en évidence lors des essais de déversement accidentel réalisés en 1994 ;

⇒ Cette formule est donc fortement déconseillée.

3.4 - Plate-forme support

3.4.1 - Dalle béton (armé ou précontraint) (figure 3.1)

La constitution de la chaussée est identique à celle appliquée sur ouvrages d'art et se réduit à :

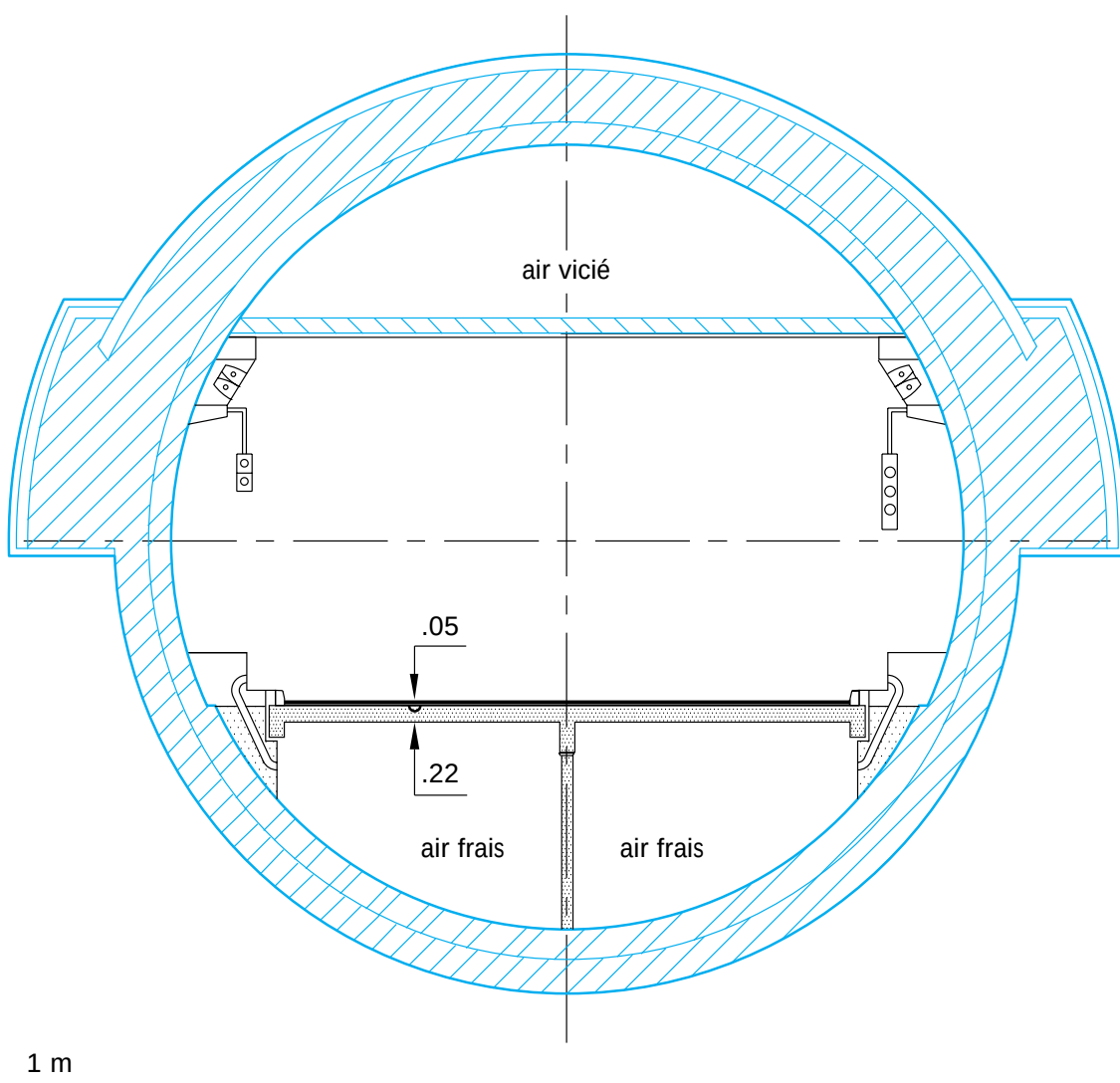
- une chape d'étanchéité, toujours nécessaire bien que la chaussée ne soit pas soumise aux eaux atmo-

sphériques ; en effet, il y a toujours, par temps de pluie, des eaux entraînées par les véhicules sur une certaine longueur, à partir de chaque tête. Des eaux peuvent suinter à l'intrados du revêtement, etc... ;

- une couche de reprofilage éventuelle, en béton bitumineux de formulation adaptée, si l'uni du béton de l'ouvrage n'est pas satisfaisant ;

- une couche de liaison éventuelle, notamment lorsque la couche de roulement est mince ou très mince ;

- une couche de roulement.



▲ Fig. 3.1

*Exemple de chaussée sur dalle béton
(tunnel de Fourvière)*

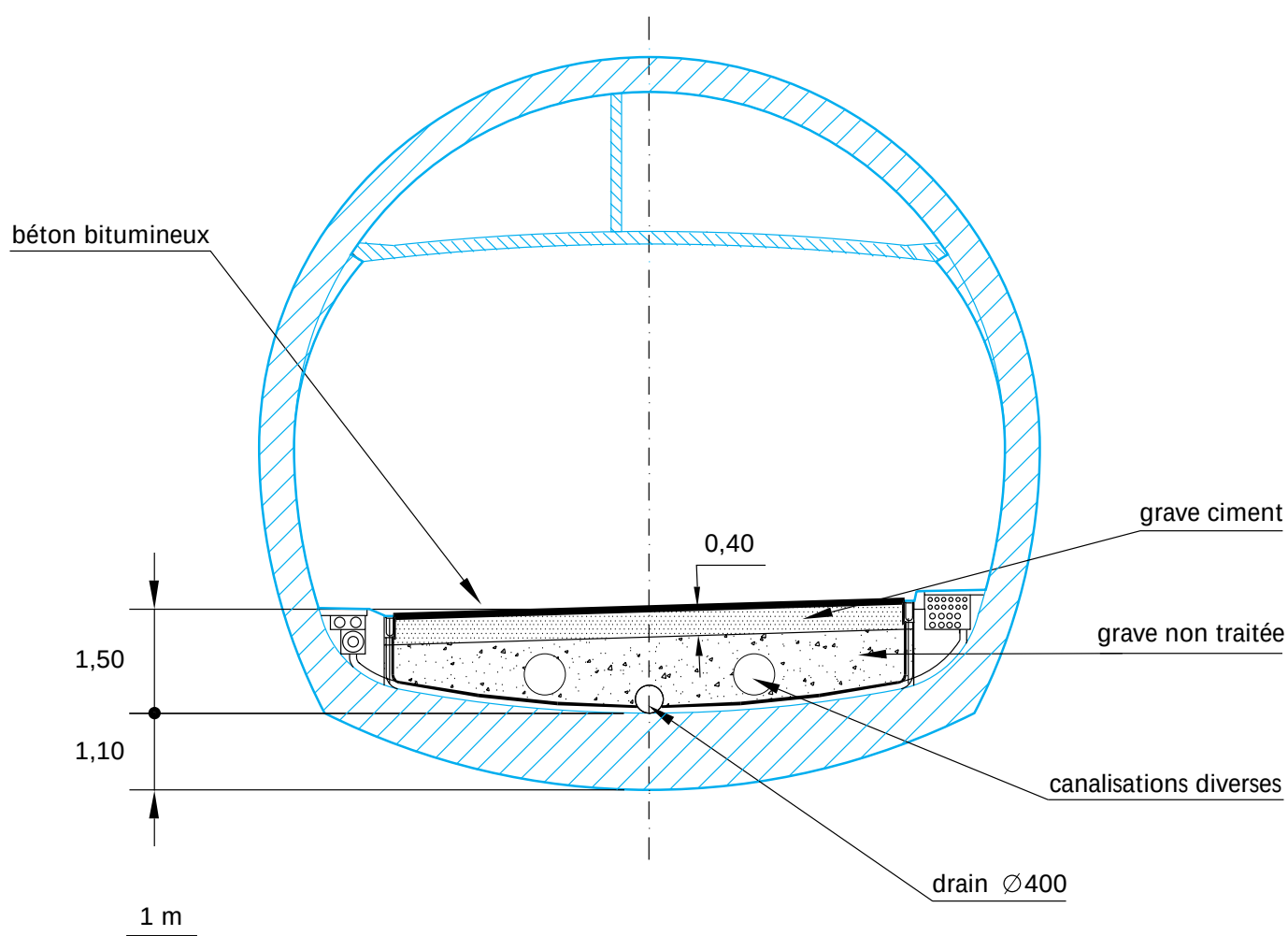
3.4.2 - Radier formant contre-voûte (ou tunnel à section circulaire)

(figure 3.2)

Lorsqu'une contre-voûte est réalisée (cas d'une pression hydrostatique, terrain gonflant) l'espace compris entre le radier et la chaussée est remblayé par une grave drainante propre, avec un système d'assainissement approprié.

Il convient de vérifier que la classe de plate-forme ainsi obtenue puisse être classée PF₃.

Il est souvent indiqué de fermer la surface de la partie remblayée par une couche de béton compacté (ou coulé en place) pour éviter les dégradations causées par le chantier.



▲ Fig. 3.2

*Exemple de chaussée sur contre-voûte
(traversée de Toulon)*

3.4.3 - Fondation rocheuse saine (figure 3.3)

On entend par rocher sain une roche dure, dont l'altération probable à l'échelle de vie de l'ouvrage est faible et qui, a fortiori, ne présente pas de modification de structure après la circulation des engins de chantier.

Le fond de forme terrassé présente généralement des écarts, par rapport à la cote théorique, de l'ordre de 20 cm, ce qui nécessite un reprofilage généralisé. Très souvent, ce reprofilage est rendu par ailleurs nécessaire pour la réalisation du génie civil du tunnel.

3.4.3.1 - Il est souvent judicieux de profiter de la portance naturelle élevée du rocher en place (support rigide) pour réduire l'épaisseur de la chaussée. Il faut alors réaliser un reprofilage en matériau de qualité équivalente à celle du rocher sain, c'est-à-dire en béton de ciment, et proscrire le reprofilage en matériau non traité.

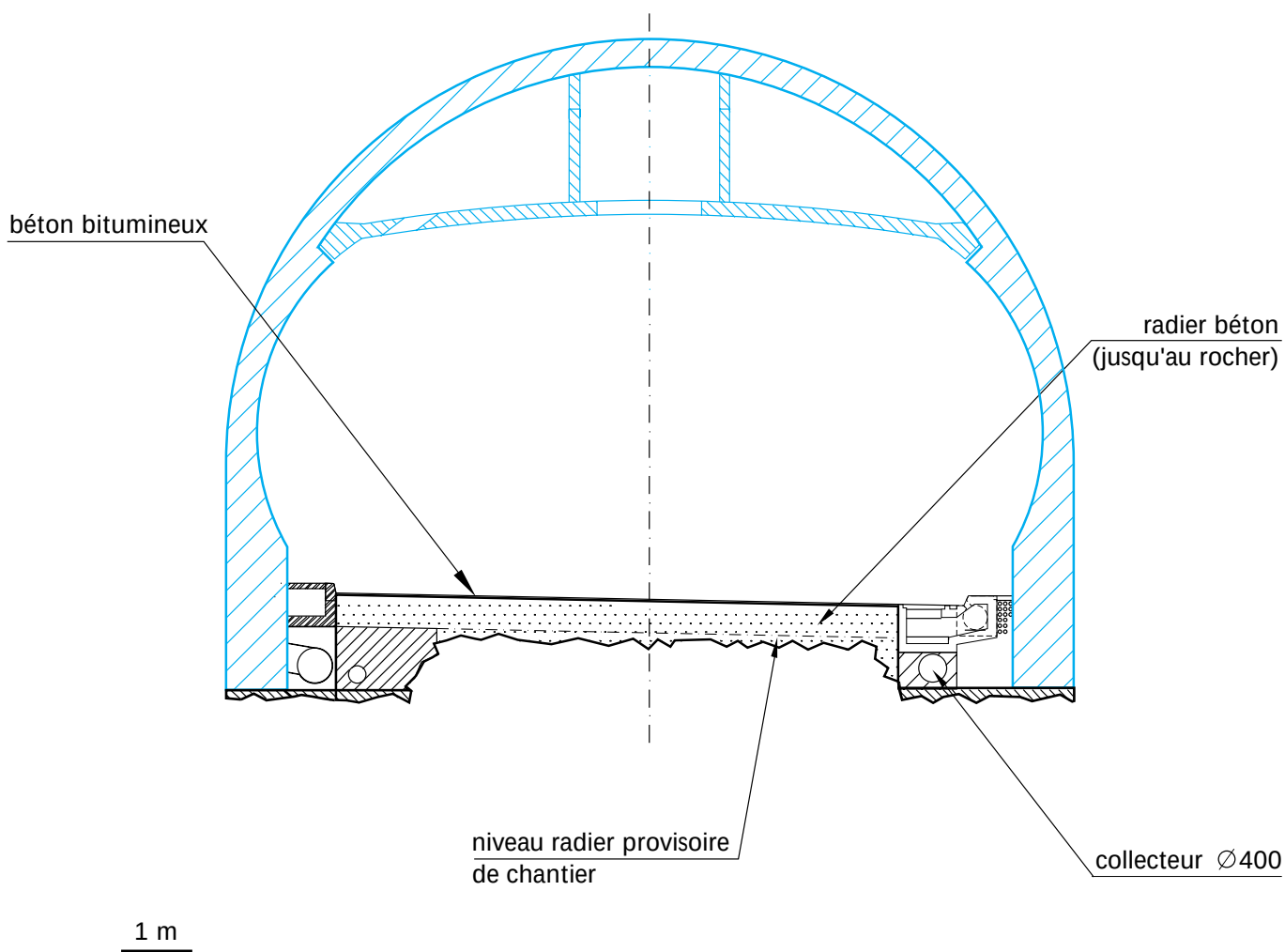
Pour atteindre le niveau de qualité désiré, un certain nombre de précautions doivent être prises :

- drainage soigné du fond de fouille, avec réalisation de saignées transversales reliant les flaches pouvant se prêter à une accumulation d'eau, pose de drains conduisant les eaux vers un collecteur longitudinal ;
- curage des zones moins compactes et nettoyage fin (à l'air comprimé) de l'ensemble du fond de fouille ;
- application d'un béton suffisamment dosé (250 à 300 kg/m³), pervibré, en épaisseur minimale de 10 à 12 cm sur les pointes.

Dans ces conditions, on pourra retenir une classe de plate-forme PF₃, en supprimant la couche de fondation.

3.4.3.2 - Si l'on estime ne pas pouvoir respecter les précautions relatives à la préparation du fond de fouille et à la qualité du béton, on applique les dispositions suivantes :

- purges localisées et drainage des flaches pouvant se prêter à une accumulation d'eau ;
- reprofilage en matériau granulaire non traité en épaisseur minimale de 20 cm sur les crêtes ;



▲ Fig. 3.3

*Exemple de chaussée sur rocher sain
(déviation de Foix)*

- l'utilisation d'un matériau granulaire de bonne qualité devrait permettre d'obtenir facilement une plate-forme de classe PF₃ ou une portance de classe P₄ ;

La première solution (3.4.3.1) permet d'économiser une épaisseur de déroctage importante (de l'ordre de 25 à 30 cm), ainsi que le coût de la couche de fondation. En revanche, les coûts de reprofilage, ainsi que ceux de préparation du fond de fouille, sont plus importants [Ceux-ci, cependant, sont souvent déjà justifiés par d'autres considérations de construction ; la première solution s'impose alors d'elle-même].

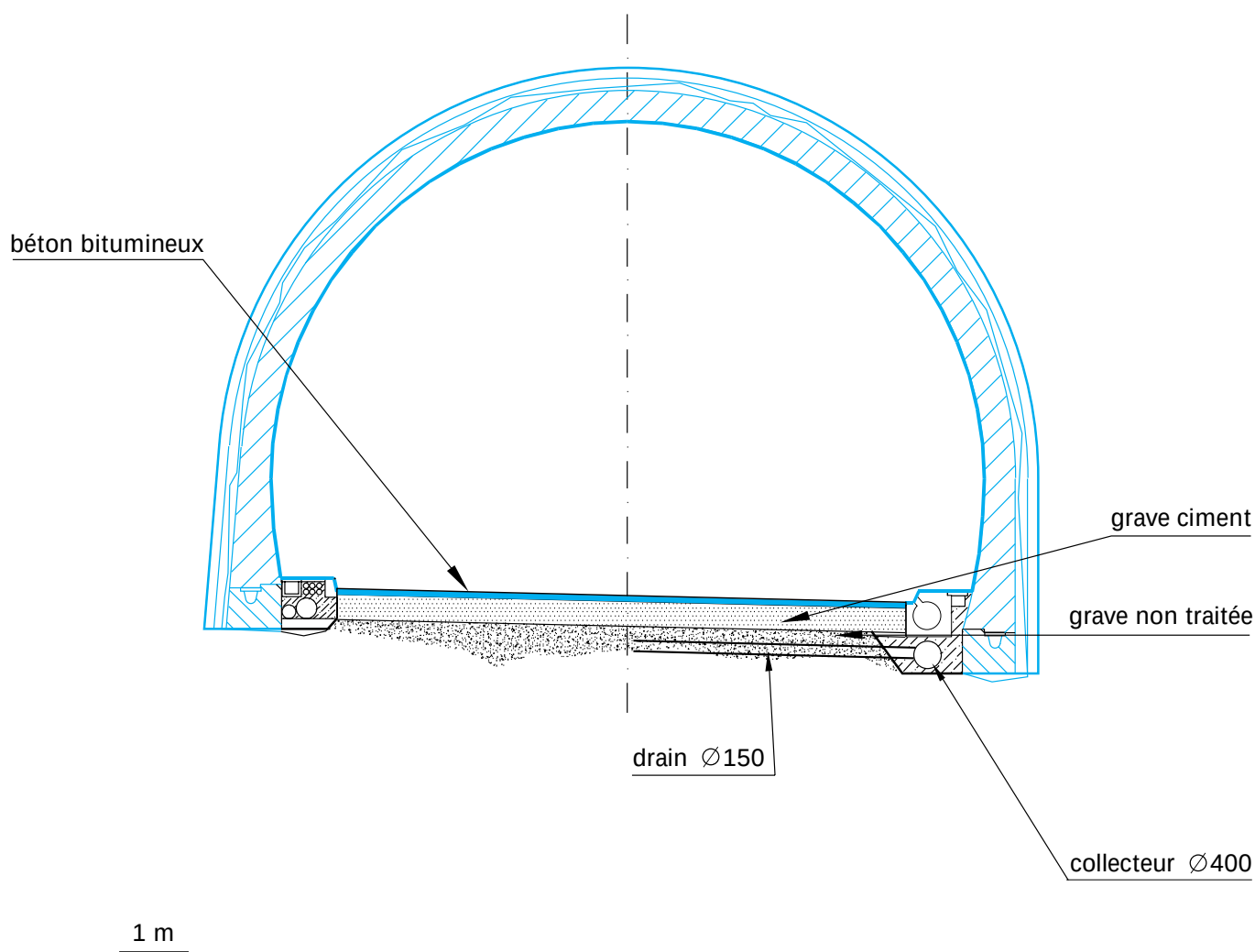
3.4.4 - Sol meuble ou rocher altéré (figure 3.4)

Sur des roches altérées ou altérables, on peut également :

- soit adopter le type de dispositions décrit précédemment en 3.4.3.1, en portant l'épaisseur minimale du béton sur les pointes à 20 cm, ce qui nécessite le plus fréquemment des purges localisées et des dépenses de nettoyage et d'assainissement du fond de forme importantes ;
- soit réaliser (après purges localisées et drainage des flaches) un reprofilage en matériau granulaire non traité.

L'épaisseur minimale sur crêtes sera fonction de l'état d'altération de la roche (25 à 30 cm) de façon à obtenir une plate-forme PF₃.

Sur sol meuble, les chaussées sont dimensionnées comme à l'air libre, sans omettre toutefois de majorer la classe de trafic, comme indiqué au paragraphe 3.2 ci-avant.



▲ Fig. 3.4

*Exemple de chaussée sur rocher altéré
(tunnel d'En Raxat)*

3.4.5 - Dispositions pratiques

Dans la pratique, la qualité des terrains rencontrés peut varier le long de l'ouvrage. On sera ainsi amené, par exemple, à prévoir localement (au passage de failles argileuses ou de zones broyées,...) des purges profondes entre zones de rocher sain, voire même parfois la réalisation sur de courtes longueurs (en particulier près des têtes) de radiers contre-voûtés si les poussées latérales ou les pressions verticales le justifient. Dans ce cas, il conviendra de prévoir des dispositions permettant le drainage des points bas.

En règle générale, on évitera autant que possible de modifier d'un tronçon de tunnel à un autre le parti prévu pour le reprofilage et la chaussée (sauf si la longueur d'application le justifie économiquement).

3.5 - Drainage

Ce sujet est traité dans la section 7 "Assainissement, drainage et réseaux divers".

3.6 - Vérification au Gel-Dégel

Le principe de la méthode de vérification au gel-dégel des chaussées exposée dans les différents documents de dimensionnement doit être conservé : détermination d'un indice de gel admissible par la chaussée, compte-tenu de sa constitution, de la plate-forme et de la gélivité du substratum, et comparaison de cet indice à l'indice de gel de référence, fixé par Circulaire Ministérielle pour le Réseau National ou choisi par le Maître d'Ouvrage pour les autres réseaux.

L'hiver de référence étant défini, on peut déterminer l'indice de gel correspondant à proximité de chaque tête du tunnel, en examinant ceux des stations météorologiques les plus proches et en consultant au besoin les services météorologiques locaux.

En tunnel, au-delà d'une distance de chaque tête variant de 100 à 500 mètres, selon le site, l'altitude, l'existence d'un courant d'air plus ou moins fort, l'intensité du froid extérieur, etc ... , la température ambiante reste positive en période de gel.

En première approximation, pour les tunnels d'une certaine longueur, on pourra donc retenir une règle-enveloppe simple, consistant à admettre, à partir de chaque tête, une variation linéaire de l'indice de gel de référence entre la valeur de celui-ci en tête de tunnel et une valeur nulle en un point situé à 500 mètres.