



Ministère  
de l'Aménagement  
du Territoire,  
de l'Équipement  
et des Transports

Direction  
des Routes

**RECOMMANDATIONS  
POUR LA CONCEPTION DES  
TUNNELS URBAINS A GABARIT RÉDUIT**

**RECTUR**



**Centre d'Études des Tunnelles**

**Page laissée blanche intentionnellement**

MINISTERE DE L'AMENAGEMENT DU TERRITOIRE  
DE L'EQUIPEMENT ET DES TRANSPORTS

---

DIRECTION DES ROUTES

---

CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS

**RECOMMANDATIONS POUR LA  
CONCEPTION  
DES TUNNELS URBAINS A GABARIT  
REDUIT**

Septembre 1995

**Page laissée blanche intentionnellement**

Les présentes recommandations ont été élaborées, à la demande de la Direction des Routes, afin de faire progresser la réflexion, et de formaliser un certain nombre de règles, dans le domaine des tunnels urbains à gabarit réduit et des ouvrages comportant des échanges en souterrain.

Cette demande ministérielle va de pair avec l'apparition de projets d'infrastructures souterraines de ce type, présentés récemment par des groupes d'entreprises privés dans le cadre de projets de concession de niveau national ou local.

Dans un premier stade, et en attendant les enseignements des premières réalisations, les recommandations ont été définies en référence aux réglementations et recommandations existantes, en les complétant si nécessaire et en envisageant des possibilités de dérogation.

Le CETU était chargé de l'animation et de la coordination de ce travail auquel ont participé les services et organismes compétents, et en particulier :

<b>CETU</b>	MM.	MAREC : animateur JULIEN : rapporteur BOYER CONSTANTIN DEFFAYET MORET PERARD PILLANT SCHWENZFEIER THIBOUD VINOT	<b>CERTU</b>	MM.	ALPHAND COSTILLES Mme. ICARD-BALAGUER MM. GAMBARD ROBIN-PREVALLEE
<b>DREIF-DIT</b>	M.	GOURDEL	<b>DSCR</b>	M.	BASCOUL
<b>DREIF-SIER</b>	M. Mme. MM.	DE BALINCOURT GARNIER LE DIEU DE VILLE MOTYKA WEIL	<b>SETRA</b>	MM.	BOIVIN BRENAC CAUBET PEJOAN
<b>INRETS</b>	MM.	COHEN LEURENT	<b>LCPC</b>	Melle.	BRUSQUE
<b>Ville de Paris</b>	MM.	BURNICHON DUPRESSOIR GUYOT LE LOCH NAU SANCHEZ	<b>CETE Normandie centre</b>	MM.	JOINEAU LECLERC VIOLETTE
<b>Ville de Nice</b>	MM.	CACAN MARTINEZ	<b>Société du Métro de Marseille</b>	MM.	LAVERGNE OSTORERO ROULAND

## PRESENTATION TYPOGRAPHIQUE DU DOCUMENT

*En caractères italiques*

les remarques

**En caractères gras**

les points importants

Avec une barre verticale

**les principaux points innovants**

qu'elle que soit leur importance

# SOMMAIRE

<b>PREAMBULE .....</b>	<b>1</b>
<b>CHAPITRE 1 - Introduction : Champ d'application des recommandations .....</b>	<b>3</b>
A - Intérêt des ouvrages urbains à gabarit réduit .....	3
B - Spécificité des tunnels urbains à gabarit réduit .....	4
C - Textes de référence .....	5
D - Ouvrages de référence .....	5
<b>CHAPITRE 2 - L'ouvrage dans son environnement - Les principaux choix à effectuer.....</b>	<b>7</b>
A - Typologie d'ouvrages - Vitesse de référence.....	7
B - Détermination du gabarit autorisé.....	8
C - Intégration du tunnel dans un réseau .....	8
<b>CHAPITRE 3 - L'importance des niveaux d'exploitation .....</b>	<b>9</b>
A - La démarche en cours de schéma directeur d'exploitation de la route.....	10
B - Niveaux d'exploitation pour les tunnels urbains à gabarit réduit .....	11
<b>CHAPITRE 4 - Les classes de gabarits - Eléments de choix .....</b>	<b>13</b>
<b>A - Le gabarit standard de 2 m.....</b>	<b>13</b>
1 - Véhicules particuliers .....	13
2 - Transports en commun .....	15
3 - Véhicules spéciaux et véhicules de secours .....	15
<b>B - Le gabarit standard de 2,70 m.....</b>	<b>16</b>
1 - Véhicules particuliers .....	16
2 - Véhicules de transport en commun .....	16
3 - Véhicules spéciaux et véhicules de secours .....	17
<b>C - Le gabarit standard de 3,50 m.....</b>	<b>17</b>
1 - Véhicules particuliers .....	17
2 - Véhicules de transport en commun .....	18
3 - Véhicules spéciaux et véhicules de secours .....	18
<b>D - Conclusions sur les gabarits.....</b>	<b>19</b>

## **CHAPITRE 5 - Conception géométrique du tunnel principal ..... 21**

<b>A - Débits de dimensionnement .....</b>	<b>22</b>
<b>B - Tracé en plan - Profil en long .....</b>	<b>22</b>
1 - Visibilité et distance d'arrêt .....	23
2 - Tracé en plan et devers .....	28
3 - Profil en long .....	31
4 - Combinaison de points durs .....	33
<b>C - Profil en travers .....</b>	<b>33</b>
1 - Largeur du profil en travers .....	33
2 - Hauteur du profil en travers .....	39

## **CHAPITRE 6 - Conception géométrique des raccordements entre tunnel principal et rameaux ..... 43**

<b>A - Implantation .....</b>	<b>43</b>
<b>B - Distances d'arrêt et de visibilité.....</b>	<b>44</b>
1 - Distance d'arrêt .....	44
2 - Distance de visibilité .....	45
<b>C - Dispositions géométriques .....</b>	<b>46</b>
1 - Vitesses de manoeuvre.....	46
2 - Sorties .....	47
3 - Entrées .....	49
4 - Géométries d'extrémité des bretelles .....	51

## **CHAPITRE 7 - Conception géométrique des rameaux de liaison..... 55**

<b>A - Avant propos .....</b>	<b>55</b>
<b>B - Capacités pratiques.....</b>	<b>56</b>
<b>C - Tracé en plan - Profil en long .....</b>	<b>56</b>
1 - Notion de vitesse pratiquée .....	56
2 - Visibilité et distance d'arrêt .....	58
3 - Conception et vérification du tracé en plan .....	59
4 - Profil en long.....	61
5 - Cas particulier des zones d'échanges.....	62
<b>D - Profil en travers .....</b>	<b>62</b>
1 - Largeur du profil en travers .....	63
2 - Hauteur du profil en travers.....	65

## **CHAPITRE 8 - Conception géométrique des trémies d'accès et de sorties ..... 67**

<b>A - Critères généraux de conception.....</b>	<b>67</b>
1 - Les sorties .....	67
2 - Les entrées .....	68
<b>B - Trémies d'extrémité du tunnel principal.....</b>	<b>69</b>
1 - Recommandations géométriques.....	69
2 - Cas particulier en site difficile .....	69



C - Trémies d'extrémité des rameaux de liaison .....	70
1 - Recommandations géométriques .....	70
2 - Cas particulier en site difficile .....	70
D - Postes de péage .....	71
<b>CHAPITRE 9 - Moyens d'exploitation Equipements de sécurité.....</b>	<b>73</b>
A - Les systèmes correspondants aux trois niveaux d'exploitation.....	73
1 - Le niveau TU1.....	73
2 - Le niveau TU2.....	74
3 - Le niveau TU3.....	75
B - Equipements de sécurité.....	76
C - Remarques sur la signalisation et spécificités des ouvrages à gabarit réduit .....	77
<b>CHAPITRE 10 - Equipements généraux .....</b>	<b>79</b>
A - Eclairage - Traitement de l'ambiance lumineuse.....	79
1 - Objectifs généraux fixes.....	80
2 - Critères de dimensionnement et de conception.....	80
3 - Traitement de l'ambiance intérieure du tunnel .....	82
4 - Animation du tunnel - Repérage des points singuliers.....	83
B - Alimentation électrique.....	83
C - Ventilation - Désenfumage .....	84
1 - Objectifs généraux fixes.....	84
2 - Systèmes de ventilation.....	84
3 - Critères de dimensionnement.....	85
4 - Principes et dimensionnement du désenfumage .....	86
5 - Installations de ventilation.....	87
D - Autres équipements.....	88
<b>Annexe 1 :</b>	
Exemple de dimensionnement du profil en travers dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel avec piédroits verticaux .....	89
<b>Annexe 2 :</b>	
Equipements d'exploitation .....	97
<b>Annexe 3 :</b>	
Bibliographie .....	103

**Page laissée blanche intentionnellement**

## PREAMBULE

En zone urbaine, les contraintes d'urbanisme en surface, la volonté d'améliorer l'environnement et de décongestionner les centres-villes poussent à rechercher des solutions souterraines pour la circulation automobile. Or, le tracé des ouvrages souterrains est contraint par les valeurs maximales admissibles des rampes d'accès vers la surface ainsi que par des difficultés techniques lorsque le tracé est trop peu profond ; leur coût augmente aussi très vite avec le volume creusé. Enfin, la puissance de la ventilation à installer et l'importance des incendies à craindre croissent fortement du fait de la présence de poids lourds. Par suite, il apparaît très tentant de réaliser des ouvrages à gabarit réduit, non accessibles aux camions, lorsque la part de ceux-ci, dans le trafic, est très faible. C'est pratiquement le cas dans toutes les agglomérations interdites au transit des poids lourds.

Aussi, le Directeur des Routes, en date du 02/08/1991, a confié au CETU l'animation d'un groupe de travail chargé de rédiger des recommandations sur la conception des tunnels urbains à gabarit réduit (RECTUR).

Le travail a été mené en collaboration avec différents partenaires, concepteurs ou gestionnaires d'ouvrages : le CERTU, la DREIF (DIT et SIER), la DSCR, le SETRA, le CETE Normandie-Centre, l'INRETS, le LCPC, la Ville de PARIS et la Ville de NICE.

Les principaux aspects traités concernent la géométrie, l'exploitation et les équipements généraux et de sécurité du tunnel et des rameaux de liaison éventuels entre celui-ci et la surface. Dans le mode de conception de ces ouvrages, géométrie et niveau d'exploitation sont intimement liés en ce sens qu'ils participent tous deux, et de manière complémentaire, à la recherche d'une solution adaptée au site et aux nombreuses contraintes en sous-sol urbain et c'est là une des originalités de ce travail.

Il convient de noter que ce qui touche à la signalisation directionnelle est peu abordé et devra faire l'objet d'une étude spécifique.

Les recommandations du présent document résultent des réflexions des groupes de travail successifs qui ont examiné les conditions de réalisation et d'exploitation des ouvrages souterrains à gabarit réduit. Elles constituent l'état actuel de l'information qui peut être donnée pour ce type d'aménagement routier, et elles pourront sans doute être améliorées dans l'avenir.

Ainsi, ces recommandations pourront être utilement réexaminées à la lumière des expériences qui seront mises en oeuvre dans les prochaines années, et en particulier pour ce qui concerne les conditions d'exploitation.

Il faut souligner à ce sujet que l'utilisation des caractéristiques de type TUI (cf. Chapitre III article 6) reste subordonnée à la capacité effective de pouvoir exploiter l'ouvrage à ce niveau.

Il convient également de rappeler que les ouvrages étudiés ici sont de type unidirectionnel. Les souterrains bidirectionnels posent en effet de délicats problèmes en matière de sécurité (accès des secours et extraction des fumées notamment). Une exploitation bidirectionnelle reste peu recommandée et devrait faire chaque fois l'objet d'un examen spécifique.

En retour, les rédacteurs de ce travail souhaitent recevoir des utilisateurs toutes les remarques et suggestions utiles à l'amélioration ultérieure du texte.

Le Directeur du CETU,



M. MAREC

# CHAPITRE 1

## INTRODUCTION

### CHAMP D'APPLICATION DES RECOMMANDATIONS

#### A - INTERET DES OUVRAGES URBAINS A GABARIT REDUIT

##### Notion de gabarit :

Lorsqu'on indique pour un ouvrage qu'il est à gabarit réduit, on entend celui de la hauteur des véhicules qui peuvent l'emprunter. La notion de gabarit en largeur n'intervient pas ici, même si les voies de circulation peuvent être également adaptées en largeur."

La plupart des axes routiers, en particulier urbains, sont fréquentés en très large majorité par des véhicules légers ; il s'avère ainsi qu'une limitation du gabarit n'interdit l'accès de l'ouvrage qu'à un nombre restreint de véhicules, tout en permettant de réduire notablement les coûts de construction (section réduite de tunnel, ventilation réduite). Cet argument doit cependant être utilisé avec prudence car il faut tout de même offrir une alternative acceptable aux véhicules "hors gabarit" et mettre en place des dispositifs de tri souvent complexes et consommateurs d'espace.

En second lieu, le caractère homogène des véhicules admis dans ce type d'ouvrage permet une certaine souplesse dans la conception géométrique du tunnel et en particulier des liaisons avec la surface. La plus faible emprise et le profil en travers réduit rendent plus aisée l'adaptation de l'ouvrage à des sites urbains déjà traversés par de nombreuses structures souterraines (métro, réseaux divers, ...).

Enfin, les zones urbaines sont très souvent situées sur des terrains récents, de type alluvionnaire, dans lesquels on cherchera toujours à réduire au maximum les sections d'ouvrages à creuser ; tout élargissement de section augmente les risques de tassement donc de désordre dans le bâti, et multiplie le besoin en soutènement donc le coût de l'ouvrage. Les développements récents des techniques de type "tunnelier" constituent un incontestable progrès, sections auxquelles le présent document ne se limite cependant pas.

## B - SPECIFICITE DES TUNNELS URBAINS A GABARIT REDUIT

Un tunnel urbain à gabarit réduit regroupe un certain nombre de spécificités qu'il convient de définir et dont il faut tenir compte dans la conception de l'ouvrage :

⇒ En souterrain, le conducteur adapte son comportement aux repères qu'il se donne, et à l'environnement qui lui est offert ; ces repères étant différents des repères habituels à l'air libre, et l'environnement variable selon la largeur et la hauteur de l'ouvrage, l'aspect des parements, la longueur du tunnel, son comportement va également être différent, et des notions telles que l'effet de paroi, la distance de visibilité, la lisibilité de la signalisation prennent une importance encore plus fondamentale.

De même, un ouvrage à gabarit réduit ponctuellement inscrit dans un linéaire à gabarit normal ne sera pas perçu de la même façon qu'un ouvrage à gabarit réduit de très grande longueur.

Enfin, aux caractéristiques plus ou moins serrées du profil en travers seront associés des conditions de circulation particulières qui pourront aller jusqu'à la définition d'un statut routier spécifique.

Les présentes recommandations s'appliquent aux ouvrages d'au moins 500 m, c'est-à-dire d'une longueur suffisante pour permettre l'adaptation de l'usager à l'environnement souterrain. En ce sens, les passages souterrains à gabarit réduit communément utilisés pour déniveler des carrefours sont exclus de leur champ d'application.

⇒ En zone urbaine ou péri-urbaine, le trafic apparaît, dans la plupart des cas, moyen à fort, avec des périodes à forte voire très forte densité de véhicules (heures de pointe en particulier) ; il en résulte des implications importantes sur la prise en compte des répercussions d'un incident et sur la rapidité des interventions de secours.

D'autre part, l'ouvrage pourra être intégré dans un ensemble, ou un réseau plus large de voies de circulation et de ce fait, son mode d'exploitation devra être examiné de façon plus globale, en liaison avec les systèmes d'exploitation déjà en place.

Les usagers seront en grande partie des habitués, sur le trajet domicile - travail, d'où une bonne connaissance de la configuration de l'ouvrage.

Enfin, la nature ou la densité de l'environnement urbain détermineront l'implantation des points d'échange, des trémies d'accès ou de sortie en surface, l'interdistance entre échangeurs souterrains et, par là même, la typologie de la voie souterraine.

⇒ La limitation du gabarit autorisé en hauteur restreint l'accès de l'ouvrage à certains types de véhicules ; de nombreuses questions en résultent et notamment le choix du gabarit le mieux adapté au contexte et au trafic locaux, ainsi que la conception des dispositifs d'information, de tri des véhicules et de renvoi vers le réseau de surface des véhicules hors gabarit.

Si la limitation du gabarit offre davantage de souplesse pour l'intégration d'un ouvrage dans un site difficile, ou à fortes contraintes, elle requiert cependant une attention particulière en terme de conception des points d'échange en surface d'une part, ainsi qu'en ce qui concerne l'accès des véhicules de secours ou d'intervention usuels, d'autre part.

## C - TEXTES DE REFERENCE

La conception géométrique des tunnels urbains se fonde sur l'ICTAVRU (Instruction sur les Conditions Techniques d'Aménagement des Voies Rapides Urbaines) et sur les recommandations du Dossier Pilote des Tunnels. Toutefois, ces textes ont été conçus pour les ouvrages acceptant l'ensemble du trafic et la notion de gabarit réduit y est seulement brièvement évoquée.

Le Dossier Guide des PSGR de 71 définit des gabarits réduits A et B mais dans le contexte d'ouvrages très courts, pour lesquels les problèmes de sécurité sont principalement liés aux trémies de part et d'autre.

L'objectif du travail du groupe était de réfléchir à des adaptations ou des compléments à apporter à ces textes en vigueur dans l'hypothèse d'ouvrages à gabarit limité, empruntés par des ensembles de véhicules de dimensions homogènes. Cette réflexion prolonge et généralise les discussions entreprises dans un cas précis (bouclage d'A.86 à l'Ouest de Paris) par la Commission Interministérielle de Sécurité dont le rapport final a été présenté en juin 1992, puis par la Commission de Sécurité créée pour le projet MUSE et dont le rapport final a été présenté en juin 1994.

## D - OUVRAGES DE REFERENCE

Parmi les ouvrages à gabarit réduit en exploitation qui ont servi de référence sinon d'expérience figurent :

- les PSGR des Tuileries et de l'Etoile à Paris,
- les tunnels urbains exploités par la Ville de Nice,
- le tunnel Prado-Carénage à Marseille,
- divers PSGR.

*ooOoo*

**Page laissée blanche intentionnellement**



## CHAPITRE 2

### L'OUVRAGE DANS SON ENVIRONNEMENT

#### LES PRINCIPAUX CHOIX A EFFECTUER

La conception d'un ouvrage bien adapté à un site donné est étroitement liée à une bonne connaissance de l'environnement et notamment de l'organisation du tissu urbain, du fonctionnement du réseau de circulation en surface, et des caractéristiques du trafic à écouler.

#### A - TYPOLOGIE D'OUVRAGES - VITESSE DE REFERENCE

L'organisation du tissu urbain entre dans la conception globale du projet : elle participe au choix du tracé du tunnel principal et si besoin est, de l'implantation des échangeurs intermédiaires et de la configuration des rameaux de liaison.

D'une façon comparable à l'ICTAVRU, il est possible de distinguer deux typologies extrêmes : l'une privilégiant le transit ou les relations d'échange entre deux pôles principaux et dans ce cas, les points d'accès ou de sortie intermédiaires seront peu fréquents, et l'autre, au contraire, privilégiant le nombre des points d'échange et les relations fonctionnelles au sein d'un site très urbanisé. Il apparaît d'emblée qu'à chacun de ces cas, correspond un comportement différent de l'utilisateur et en particulier vis-à-vis de la vitesse pratiquée.

**Dans les présentes recommandations, deux vitesses de référence ont été considérées : 80 et 60 km/h, chacune d'entre elles étant associée respectivement à une des typologies définies ci-avant.**

A la vitesse de référence de 80 km/h correspond normalement la vitesse autorisée de 70 km/h tandis qu'à celle de 60 km/h correspond celle de 50 km/h (70 km/h et 50 km/h étant les 2 vitesses autorisées en agglomération). Cette relation entre vitesse de référence et vitesse réglementaire prend en compte la spécificité de l'environnement dans les ouvrages souterrains.

## B - DETERMINATION DU GABARIT AUTORISE

Le choix d'un gabarit maximal autorisé en hauteur ne pourra être fait qu'après une étude détaillée des caractéristiques du trafic à écouler. Les pourcentages de poids lourds, de bus urbains, et de fourgons utilitaires varient en fonction des données locales, et sont à envisager dans un schéma plus vaste de développement, d'urbanisation et d'industrialisation du site.

**Il faut insister sur le fait qu'un ouvrage à gabarit réduit, moins coûteux en investissement, peut poser des problèmes d'exploitation sur les réseaux voisins ou conduire à d'autres aménagements pour satisfaire les besoins des véhicules non admis dans l'ouvrage.**

Il est également apparu très rapidement qu'un nombre restreint de gabarits standards était à retenir et à justifier très précisément ; cette standardisation est indispensable à une homogénéisation des ouvrages et une compréhension plus efficace de la part des conducteurs.

## C - INTEGRATION DU TUNNEL DANS UN RESEAU

Les ouvrages projetés pourront apparaître de nature très différente ; en effet, il peut s'agir par exemple d'un tunnel sur route nationale, d'un tunnel de rocade, d'un barreau de liaison rapide entre axes importants, ou encore d'un élément d'un réseau maillé.

**Il est fondamental d'admettre qu'un ouvrage à gabarit réduit ne doit pas venir en continuité directe d'une voie rapide, à moins que ne soit mis en place un dispositif de transition (péage notamment) qui matérialise le changement d'environnement.**

**En l'absence d'un tel dispositif, le tunnel sera accessible à partir des bretelles de sortie de la voie rapide.**

En matière d'exploitation, des solutions appropriées seront à rechercher en veillant à assurer une parfaite cohérence avec le mode de gestion du reste du réseau (voir chapitre 3).

*ooOoo*

## CHAPITRE 3

### L'IMPORTANCE DES NIVEAUX D'EXPLOITATION

De façon générale, la conception d'un tel tunnel à gabarit réduit devrait systématiquement s'accompagner d'une étude extrêmement poussée d'exploitation, qui explicite dans le détail le fonctionnement de toutes les trémies d'entrée et de sortie (en situations normales et dégradées), les dispositifs généraux de surveillance du trafic, d'information des usagers (PMV), de neutralisation des voies, l'aménagement d'itinéraires alternatifs, les procédures d'entretien des équipements, ainsi que les dispositifs généraux de surveillance du trafic, de neutralisation des voies et d'information des usagers. Les relations avec le réseau de surface aux extrémités, aux entrées et aux sorties devront être examinées avec un soin extrême. Il est d'ailleurs recommandé d'éviter absolument des raccords trop directs entre ces ouvrages et des axes routiers importants.

Il convient de noter :

- que le choix du niveau d'exploitation (intrinsèquement et par rapport à la voirie de surface... ) conditionne le reste de la réflexion (géométrie, équipements... ) ;
- l'obligation faite aux concepteurs de tels ouvrages de gérer le "tube" dans un ensemble de voirie plus large en amont et en aval.

**La faisabilité même d'un tunnel à gabarit réduit est conditionnée par la résolution de tous ces problèmes d'exploitation.**

L'état et les collectivités locales engagent des actions de plus en plus nombreuses afin d'offrir aux automobilistes un service performant sur le réseau routier, axées sur 3 objectifs : la sécurité, la fluidité et le confort. Ces actions, parfois très importantes comme dans les cas de SIRIUS en Ile-de-France ou CORALY autour de Lyon, s'inscrivent dans le cadre national du Schéma Directeur d'Exploitation de la Route (S.D.E.R.).

De façon générale, du point de vue de l'exploitation, tous les ouvrages souterrains constituent des points particuliers du réseau, et nécessitent des traitements spécifiques et un niveau d'exploitation supérieur aux sections à l'air libre ; en particulier, les tunnels sont caractérisés par :

- des opérations d'entretien plus fréquentes (en raison notamment des équipements de ventilation et d'éclairage) ;
- des risques particuliers en cas d'accident (incendie) et de congestion exceptionnelle (émission de gaz d'échappement).

A cet égard, un certain nombre de dispositions doivent être prises afin de faciliter les opérations de fermeture des accès et de permettre des interventions rapides sur accident et notamment :

- mettre en place des systèmes de surveillance du trafic et de détection automatique des incidents ;
- implanter des équipements d'information dynamique (Panneaux à Messages Variables), notamment aux accès ;
- installer des dispositifs de neutralisation ou de fermeture de voies (feux d'affectation de voies et feux tricolores) ;
- prévoir et aménager des itinéraires alternatifs de qualité, éventuellement équipés d'une signalisation spécifique (de type "S") ;

Ces impératifs, communs à tous les souterrains (en particulier en site urbain), sont bien sûr applicables aux tunnels à gabarit réduit qui, en surplus, posent des problèmes qui leur sont propres, et en particulier :

- le tri des véhicules interdits dans l'ouvrage (par exemple, parce qu'ils sont hors gabarit) : détection et recyclage ;
- le maintien souvent souhaitable et dans certains cas obligatoire de la fluidité du trafic dans le tunnel et les rameaux.

## **A - LA DEMARCHE EN COURS DU SCHEMA DIRECTEUR D'EXPLOITATION DE LA ROUTE (SDER)**

De nombreuses actions sont déjà mises en oeuvre par les différents gestionnaires de la route pour limiter les conséquences des difficultés du trafic et apporter aux usagers des informations sur les conditions de circulation qu'ils vont rencontrer.

Par instruction ministérielle du 23 décembre 1991, il a été décidé de mettre en oeuvre un cadre cohérent des interventions de l'Etat sur le réseau national dans le cadre d'un SDER qui définit, pour les différentes catégories du réseau, les objectifs de niveau d'exploitation.

Après avoir défini le domaine de l'exploitation de la route, c'est-à-dire :

- améliorer l'efficacité des interventions de viabilité (mission maintien de la viabilité) ;
- permettre, là où c'est nécessaire, une gestion efficace des flux de trafic (mission gestion du trafic) ;
- fournir une aide au déplacement des usagers en organisant l'information (mission aide au déplacement) ;

pour chacune de ces trois missions, une première étude a esquissé quatre niveaux d'exploitation permettant d'apporter des réponses adaptées au niveau de gêne rencontré par les usagers.

L'élaboration du SDER a consisté en un premier temps, au classement des réseaux selon les six niveaux d'exploitation retenus (deux niveaux en milieu urbain : AA et AB, quatre niveaux en interurbain : 2, 3A, 3B et 4).

Les niveaux d'exploitation sont définis d'abord en terme d'objectifs à assurer, puis de fonctions à mettre en oeuvre et enfin de systèmes à prévoir.

Dans le cadre du SDER, les objectifs retenus pour les quatre niveaux d'exploitation (par ordre décroissant d'ambition) sont les suivants :

- niveau 1 : optimiser en permanence l'utilisation du réseau. La différence principale avec le niveau 2 réside dans l'activation permanente de plans de gestion du trafic.
- niveau 2 : en cas de perturbation, maintenir en permanence les meilleures conditions possibles d'écoulement de l'ensemble du trafic, par une utilisation optimale du réseau ;
- niveau 3 : en cas de perturbations, rétablir rapidement une viabilité correcte sur l'itinéraire, et mettre en place des mesures de gestion du trafic en amont de la zone perturbée en évitant les déviations durables d'itinéraires ;
- niveau 4 : assurer essentiellement le maintien de la viabilité sur l'ensemble du réseau ;

## B - NIVEAUX D'EXPLOITATION POUR LES TUNNELS URBAINS A GABARIT REDUIT

Par analogie avec la démarche du SDER et afin de faciliter la recherche de solutions adaptées, trois niveaux d'exploitation, différents en termes d'objectifs, ont été envisagés.

→ Niveau TU1 : il est prévu une surveillance totale, permanente et individuelle de chacun des véhicules. Le trafic est complètement maîtrisé et les accès parfaitement gérés.

Ce niveau comprend le suivi des vitesses individuelles (contrôle des bornes inférieures et supérieures admissibles), des interdistances entre les véhicules et la détection instantanée des anomalies ou incidents. Dans chaque cas sont définies des actions spécifiques à mettre en place. C'est le niveau d'exploitation défini précisément par la Commission Interministérielle de Sécurité pour le tunnel à gabarit autorisé de 2 m de A.86 Ouest. Les exigences du cahier des charges des systèmes d'exploitation ne correspondent pas forcément à des matériels courant actuellement disponibles sur le marché et une phase de recherche s'avère donc nécessaire.

→ Niveau TU2 : il n'est pas admis de congestion récurrente au trafic dans le tunnel. Pour atteindre cet objectif :

- la surveillance devra être permanente mais par rapport au niveau TU1, elle peut se contenter d'observations macroscopiques (ensembles de véhicules et non véhicule par véhicule) ;
- les perturbations liées à un incident ou accident devront être traitées sans délai.

L'exploitant doit également se donner les moyens de gérer les accès à l'ouvrage. Les fonctions à assurer correspondent à des dispositifs techniques éprouvés (voir chapitre 9).

→ **Niveau TU3** : Ce niveau d'exploitation est du niveau de performances de celui affecté au réseau de surface. Généralement il s'agit du niveau 1A ou 1B du SDER.

Ce niveau prévoit une surveillance générale du réseau et une permanence des organisations.

S'il n'est pas prévu de répondre à l'exigence de non congestion des niveaux TU1 et TU2, il est en revanche indispensable de pouvoir répondre valablement à la mission du maintien de la viabilité.

Ce niveau s'applique logiquement à tous les tunnels urbains, quel que soit le gabarit autorisé.

Le niveau d'exploitation du tunnel doit faire partie intégrante de la gestion du réseau de surface et être défini en cohérence avec celui-ci et, tout à fait logiquement, être supérieur au niveau d'exploitation de la voirie de surface et nécessairement s'élever si des contraintes géométriques particulières l'exigent.

La description détaillée des équipements à mettre en place est explicitée aux chapitres 9 et 10.

*ooOoo*

# CHAPITRE 4

## LES CLASSES DE GABARITS ELEMENTS DE CHOIX

Trois gabarits standards ont été retenus (2 m ; 2,70 m ; 3,50 m). Ils correspondent aux hauteurs hors tout maximales des véhicules admis dans les ouvrages. Ces hauteurs se mesurent "véhicule à l'arrêt" et seront inscrites sur les panneaux de type B12 disposés à l'entrée.

### A - LE GABARIT STANDARD DE 2 m

#### 1 - VEHICULES PARTICULIERS

L'idée d'instaurer un gabarit réduit dans un ouvrage souterrain ouvert aux véhicules automobiles, repose sur plusieurs considérations, d'ordre statistique, économique et financier.

On peut en effet observer que sur le réseau routier traditionnel, pratiquement tous les types de véhicules proposés par les constructeurs sont admis : véhicules légers, fourgons, poids lourds, semi remorques etc..., sans restrictions autres que celles frappant les transports exceptionnels.

Cette flotte hétérogène, dont les éléments les plus encombrants justifient le dimensionnement des ouvrages, recouvre cependant différentes classes de véhicules, au sein desquelles ces mobiles ont tous des caractéristiques extrêmement voisines, et dont le nombre pose la question d'une infrastructure adaptée de façon spécifique à leur usage et à leurs performances.

Des enquêtes menées en 1990 à l'échelle nationale, ainsi que des comptages réalisés localement sur les Boulevards Périphériques de Paris et de Lyon ont montré que 94% des véhicules immatriculés avaient un gabarit en hauteur inférieur à 2 m, et que sur voie rapide urbaine, cette proposition atteignait encore 80 à 85%.

On voit bien l'intérêt de traiter de façon particulière une telle population de VL, dont la vitesse, la puissance, l'encombrement très homogènes autorisent, en l'absence du faible pourcentage des véhicules qui échappent à cette norme, la construction d'ouvrages optimisés et des conditions de circulation adaptées.

Tout particulièrement en milieu urbain, où le terrain est rare donc cher, où la préservation de larges gabarits pose d'innombrables problèmes liés à l'encombrement du sous sol et à la présence de nappes phréatiques, et à fortiori dans le cas d'ouvrages souterrains, l'adoption de voiries aux dimensions réduites apparaît comme une formule non seulement économique, mais répondant également de façon rationnelle à une part très importante de la demande en déplacement.

C'est pourquoi, sous réserve de pouvoir accueillir sur des itinéraires alternatifs les véhicules de dimensions plus importantes, la construction d'ouvrages à gabarits réduits standardisés reste particulièrement adaptée.

L'analyse statistique du parc met en évidence 3 classes :

- 2.00 m
- 2.70 m
- 3.50 m correspondant à des types de véhicules et des populations bien identifiées, comme cela est exposé ci-après. (voir graphique)

⇒ Le gabarit admissible de 2 m permet le passage :

- des voitures particulières, quelle que soit leur gamme (hauteur moyenne 1,40 m) ;
- des véhicules commerciaux conçus à partir de voitures particulières ;
- des fourgonnettes ;
- des véhicules 4 x 4 et des pick-up (sauf exceptions très rares).

⇒ Ce gabarit admissible ne permet pas le passage :

- des fourgons ou minibus ;
- des camions ;
- des autocars ou des bus urbains.

⇒ Un abaissement ou un accroissement de 10 cm de ce gabarit admissible concernerait moins de 2 % des véhicules.

⇒ Une augmentation de 10 cm aurait l'avantage d'offrir plus d'espace en hauteur aux véhicules courants, mais autoriserait alors physiquement le passage à des fourgons de largeur et d'encombrement plus importants, créant ainsi une hétérogénéité dans la silhouette des véhicules.

A l'ensemble des véhicules admis correspond en effet une silhouette voisine, se caractérisant par une largeur moyenne comprise entre 1,65 m et 1,70 m (rétroviseurs latéraux non compris) et une largeur maximale de 1,80 m. Cette dernière valeur (1,80 m) sera utilisée dans le dimensionnement du profil en travers.

Le gabarit de 2 m interdit également, pour des raisons de sécurité et d'homogénéité, l'admission des 2 roues, de quelque nature qu'ils soient.



## 2 - TRANSPORTS EN COMMUN

Seuls, les petits véhicules "type monocoque" transportant quelques personnes assises peuvent être admis. Ce gabarit apparaît très difficilement compatible avec un transport en commun d'envergure.

## 3 - VEHICULES SPECIAUX ET VEHICULES DE SECOURS

⇒ L'enquête menée nous montre qu'en véhicules de secours, seule l'ambulance dérivée de la voiture particulière pourra emprunter l'ouvrage. Sa hauteur est celle de la voiture particulière (1,40 m à 1,45 m) augmentée d'une rehausse et du feu gyrophare (0,30 m + 0,20 m), ce qui porte l'encombrement de 1,90 m à 1,95 m.

⇒ Les recommandations du COLITRAH (Comité de Liaison pour le Transport des Personnes Handicapées) s'orientent vers une hauteur de 1,98 m pour les taxis aménagés pour handicapés ; ces véhicules étant conçus à partir des mono-coques existants.

⇒ Les véhicules utilisés habituellement par les pompiers ont des hauteurs plus importantes et ne pourront pas accéder dans l'ouvrage.

**En conclusion**, le choix d'un gabarit autorisé de 2 m permet le passage physique d'un nombre très important de véhicules, homogènes dans la silhouette, mais implique, au niveau de chaque projet, une réflexion très approfondie quant aux moyens d'intervention et de secours à mettre en place pour répondre à l'hypothèse d'un incident, d'un accident, ou d'un incendie.

Un ouvrage de grande longueur, au gabarit limité à 2,00 m constitue donc bien plus qu'une liaison supplémentaire au sein d'un maillage routier ; c'est un ensemble autonome nécessitant pour les interventions et les secours, des techniques, des moyens et des véhicules spécifiquement conçus et adaptés à l'ouvrage.

## B - LE GABARIT STANDARD DE 2,70 m

### 1 - VEHICULES PARTICULIERS

Un gabarit "autorisé" à 2,70 m permet le passage de près de 98 % des véhicules du parc roulant français. Les mesures sous trafic, sur un grand Boulevard Urbain, situent ce pourcentage à 86 % (Lyon) et 92 % (Paris).

⇒ Le gabarit admissible de 2,70 m permet le passage :

- des véhicules déjà autorisés dans le cas du gabarit de 2 m (voir paragraphe précédent) ;
- d'une très large majorité des fourgons, que ce soit en équipement "carrosserie basse" ou "rehaussée". Les fourgons admis représentent 30 % de l'ensemble des véhicules utilitaires ;
- d'une très grande majorité des caravanes.

⇒ Ce gabarit admissible ne permet pas le passage :

- des camions ;
- des autocars et des bus urbains ;
- d'une grande partie des camping-cars.

La largeur maximale de l'ensemble des véhicules admis est voisine de 2 m tandis que la largeur moyenne reste proche de 1,70 m compte-tenu du nombre relativement faible de fourgons au sein du trafic.

### 2 - VEHICULES DE TRANSPORT EN COMMUN

Les autocars et les bus de forte capacité ont des hauteurs supérieures à 2,80 m et par conséquent ne seront pas admis dans l'ouvrage.

En matière de bus urbains, c'est-à-dire de moyens de transport collectif avec usagers debouts, l'UTP recommande un espace intérieur de 2 m à 2,20 m, ce qui peut conduire, avec une garde au sol de 50 cm, à des véhicules de 2,50 m à 2,70 m de hauteur. A l'heure actuelle, ce type de véhicule est encore peu répandu mais on trouve des mini-bus de capacité réduite (20 personnes au maximum), de hauteur inférieure à 2,70 m.

### **3 - VEHICULES SPECIAUX ET VEHICULES DE SECOURS**

⇒ L'ensemble des ambulances conçues à partir de voitures particulières, surélevées ou non, peut accéder à l'ouvrage. Il en est de même pour les fourgons bas.

Le fourgon VSAB (de secours aux asphyxiés et blessés) très couramment utilisé, a une hauteur commune hors tout, gyrophare compris, inférieure à 2,65 m. La norme actuelle NFS 61-530 fixe sa hauteur maximale à 2,80 m mais ces dispositions sont en cours de discussion dans le cadre de la normalisation européenne.

⇒ Pour les véhicules pompiers, la problématique est la même que pour les ambulances ; remarquons cependant que les véhicules habituels de lutte contre l'incendie ont des hauteurs supérieures à 2,90 m.

**En conclusion**, le choix d'un gabarit autorisé de 2,70 m favorise l'accès des petits utilitaires. Ce gabarit est légèrement supérieur à celui prescrit par le guide des PSGR pour le type B (2,60 m), mais la problématique est un peu différente du fait de la longueur plus grande des ouvrages (voir chapitre 1).

Notons cependant, que, comme dans le cas du gabarit de 2 m, une réflexion est à mener, pour chaque projet, afin de définir des procédures appropriées en cas d'accident ou d'incendies ; l'admission des fourgons peut également amener le transport des matières dangereuses ou inflammables nécessitant des moyens de lutte efficace.

## **C - LE GABARIT STANDARD DE 3,50 m**

### **1 - VEHICULES PARTICULIERS**

Un gabarit de 3,50 m permet le passage de plus de 98 % des véhicules immatriculés (étude menée sur 1990), et de plus de 93 % et 96 % des véhicules recensés au cours des campagnes de mesure respectivement sur les boulevards périphériques de Lyon et de Paris.

Le gabarit admissible de 3,50 m ne permet pas le passage des poids lourds dont la hauteur atteint habituellement 4 m. Même si un certain nombre de tracteurs routiers est susceptible, à vide, d'emprunter l'ouvrage, la hauteur des remorques excède 3,50 m.

La largeur maximale des véhicules admis est de 2,50 m.

## **2 - VEHICULES DE TRANSPORT EN COMMUN**

⇒ Une très large majorité des autocars a une hauteur comprise entre 3,20 m et 3,50 m. Les autocars non admissibles sont les autocars "grand tourisme" à vocation nettement interurbaine, adaptés aux grandes distances, ainsi que les véhicules comprenant 2 niveaux de passagers, dont la hauteur atteint 4 m.

⇒ L'ensemble des bus urbains peut être admis ; leur hauteur étant inférieure à 3,20 m.

## **3 - VEHICULES SPECIAUX ET VEHICULES DE SECOURS**

⇒ Un gabarit de 3,30 m est suffisant pour le passage de l'ensemble des véhicules d'intervention médicale recensés.

⇒ Les véhicules courants de lutte contre l'incendie, définis par la norme NFS 61-510, présentent en position de route une hauteur maximale hors tout de 3,30 m.

**En conclusion**, le gabarit autorisé de 3,50 m, déjà défini et retenu dans la circulaire n° 86-38 de mai 1986, ainsi que dans le Dossier Pilote des Tunnels, s'avère tout à fait adapté à un ouvrage à caractère urbain. Il permet le passage des véhicules de secours et celui des bus et autocars.

Il faut cependant remarquer que des ouvrages existent dont le gabarit autorisé est compris dans la fourchette 3,30 m - 3,50 m et qu'ils sont tout à fait satisfaisants du point de vue de l'exploitation. La principale différence entre 3,30 m et 3,50 m est relative à l'admission ou non des autocars ; les bus urbains étant de toute façon admis.

Les présentes recommandations, contrairement à ce qui a été fait pour les gabarits de 2 m et 2,70 m, laissent le choix du gabarit entre 3,30 m et 3,50 m à l'initiative des maîtres d'ouvrages en fonction des contraintes spécifiques auxquelles ils peuvent être confrontés.

## D - CONCLUSIONS SUR LES GABARITS

Le gabarit de 2 m convient tout à fait aux voitures particulières, mais il nécessite des moyens de secours et d'intervention spécifiques et adaptés.

Le gabarit de 2,70 m convient aux fourgonnettes et fourgons et autorise la circulation d'autobus à faible garde au sol. Il admet le passage des ambulances, des fourgons de première intervention, et des véhicules de secours aux asphyxiés et blessés.

Le gabarit de 3,50 m est adapté à une circulation urbaine ; les autocars et les autobus peuvent accéder à l'ouvrage ainsi que l'ensemble des moyens habituels de secours. Ce gabarit interdit le passage aux seuls poids lourds dont la remorque atteint généralement 3,50 à 4,30 m de hauteur, et aux bus de tourisme à deux étages.

*ooOoo*

**Page laissée blanche intentionnellement**

# CHAPITRE 5

## CONCEPTION GEOMETRIQUE DU TUNNEL PRINCIPAL

La conception géométrique abordée ici, dans le cadre des ouvrages à gabarit réduit, ne considère que le cas de tunnels à circulation unidirectionnelle.

Dans le cas général, les ouvrages souterrains peuvent être des structures complexes pour lesquelles nous distinguerons tour à tour :

- le tunnel principal ;
- les raccordements entre tunnel principal et rameaux ;
- les rameaux de liaison du tunnel principal à la surface ;
- les trémies d'accès ou de sorties.

L'ouvrage sera conçu en fonction de la vitesse de référence retenue (60 ou 80 km/h) et du gabarit en hauteur choisi. Nous examinerons également comment la stratégie et les moyens d'exploitation peuvent autoriser certaines adaptations géométriques rendues nécessaires dans le cas de contraintes liées au site sévères.

**L'ICTAVRU** constitue la référence de base dans la conception du tunnel principal. Le fait d'être en tunnel avec des véhicules homogènes rend possibles certaines réductions de caractéristiques géométriques qui concernent surtout le profil en travers et quelques aspects du tracé en plan et du profil en long ; ces réductions ne sont envisageables qu'avec l'assurance que les mesures d'accompagnement prescrites soient effectivement mises en oeuvre, à court et à long terme.

## A - DEBITS DE DIMENSIONNEMENT

En valeur linéaire, c'est-à-dire pendant une heure pleine, la capacité limite d'un ouvrage à caractéristiques géométriques réduites, peut être estimée entre 1.900 et 2.100 uvp/h/voie, avec une moyenne proche de 2.000 uvp/h/voie.

Dans le cas d'un gabarit autorisé de 3,50 m, le coefficient d'équivalence d'un poids lourd admis sera pris égal à 2 uvp pour des rampes inférieures à 4 % et à 4 uvp pour celles dont la déclivité est supérieure à 4 %.

Il est bien évident qu'un ouvrage souterrain ne doit pas être dimensionné à la valeur de la capacité limite car cela conduirait à certaines heures à des conditions de circulation instables, néfastes pour la sécurité, et à des risques de congestion.

La détermination des capacités pratiques se fait en considérant des conditions d'écoulement fluides.

Il va de soi que le dimensionnement de l'ouvrage dépend non seulement des capacités pratiques indiquées ci-dessus, mais aussi des considérations économiques d'écoulement de l'ensemble des trafics, en tunnel et en surface, intéressés par l'aménagement, ainsi que des conditions de réalisation et d'exploitation du

De ce fait, en valeur horaire, le débit de dimensionnement à prendre en compte se situe entre 1.400 et 1.600 uvp/h/voie, la valeur de 1.800 uvp/h constituant le seuil de saturation. Ces chiffres sont conformes aux recommandations de l'ICTAVRU.

## B - TRACE EN PLAN - PROFIL EN LONG

En matière de géométrie, la circulation en tunnel se différencie essentiellement de la circulation en surface par une visibilité latérale en courbe limitée, et par de fortes contraintes de largeur de plateforme relatives aux coûts et aux méthodes de creusement. En revanche, la chaussée en tunnel est hors intempérie, ce qui a permis, sous certaines réserves, d'envisager des coefficients d'adhérence plus élevés qu'à l'air libre.

Ce chapitre a pour objet de définir les caractéristiques géométriques minimales du tracé en plan et du profil en long en fonction des particularités énoncées ci-avant.



## 1 - VISIBILITE ET DISTANCE D'ARRET

### 1.1 - Calcul de la distance d'arrêt en section courante

La distance servant de base dans tous les calculs de visibilité est la distance d'arrêt. Elle varie en fonction de la vitesse et se décompose en :

- une distance parcourue pendant le temps de perception-réaction ;
- une distance de freinage.

Les normes actuelles considèrent que le temps de perception-réaction est de 2 secondes. Pour le cas des tunnels urbains à gabarit réduit, cette valeur est maintenue à 2 secondes.

En ce qui concerne la distance de freinage, les normes actuelles se réfèrent à un coefficient de frottement CFL estimé sur sol mouillé (pneu Europe - 1 mm d'eau). Dans les tunnels à gabarit réduit, il est proposé d'adopter un coefficient de frottement tenant compte de l'état particulier d'adhérence de la chaussée.

La détermination de ce coefficient de frottement se fait en distinguant :

- Les zones d'entrée dans le souterrain :

La zone d'entrée s'étend sur 1 km en aval de l'entrée du tunnel dans le cas des tunnels acceptant les PL (hauteur de 3,50 m), et sur 500 m seulement si le tunnel est réservé aux VL (gabarits de 2 m et de 2,70 m). Dans cette zone, les véhicules amenant de l'eau depuis l'extérieur en cas d'intempérie, l'hypothèse de sol mouillé est retenue ; la valeur du coefficient de frottement correspond à la valeur de **CFL préconisée par l'ICTAVRU**.

Cette disposition s'applique quel que soit le niveau d'entretien de la chaussée du tunnel.

- L'intérieur du tunnel :

La valeur du coefficient de frottement, à l'intérieur du tunnel (c'est-à-dire au-delà des zones d'entrée) dépendra du niveau d'entretien et de lavage de la chaussée :

→ si la chaussée est lavée régulièrement : (à ceci doit correspondre un engagement précis du gestionnaire de la voirie)

Dans un tel cas, pour tenir compte du caractère sec et "propre" de la chaussée, le coefficient de frottement sera déduit du CFL sur sol mouillé en augmentant ce dernier de 30 %,

→ si la chaussée n'est pas lavée régulièrement :

Compte-tenu de la présence possible de dépôts ou de matières grasses sur la chaussée, le coefficient de frottement correspond au CFL préconisé par l'ICTAVRU ou l'ICTARN.

Pour récapituler :

	<u>Vr = 60 km/h</u>		
	Zone de tête	Zone courante	
		Chaussée peu entretenue	Chaussée régulièrement entretenue avec engagement du gestionnaire de la voirie
CFL	0,46	0,46	0,60
Distance de perception réaction (2 secondes)	34 m	34 m	34 m
Distance de freinage en palier	31 m	31 m	24 m
DISTANCE D'ARRET	65 m	65 m	58 m

	<u>Vr = 80 km/h</u>		
	Zone de tête	Zone courante	
		Chaussée peu entretenue	Chaussée régulièrement entretenue avec engagement du gestionnaire de la voirie
CFL	0,42	0,42	0,55
Distance de perception réaction (2 secondes)	45 m	45 m	45 m
Distance de freinage en palier	60 m	60 m	46 m
DISTANCE D'ARRET	105 m	105 m	91 m

Ces valeurs sont associées à une pente nulle du profil en long. Il n'est pas envisagé de correction en courbe pour la section courante du tunnel principal (par contre, elle sera intégrée dans le calcul des distances de freinage dans les rameaux et les échangeurs - cf. chapitres 5 et 6).

Pour les pentes et les rampes de déclivité  $i$  (en m/m), une correction est à apporter sur la distance de freinage :

$$\text{On a : distance de freinage} = \frac{V_r^2}{2g(CFL \pm i)}$$

D'où les distances d'arrêt calculées ci après :

- Distances d'arrêt dans un tunnel dont la chaussée est lavée régulièrement, hors zone de tête en fonction de la déclivité.

déclivité	8 %	6 %	4 %	2 %	0 %	- 2 %	- 4 %	- 6 %	- 8 %
Vr = 60	55 m	55 m	56 m	57 m	58 m	58 m	59 m	60 m	61 m
Vr = 80	85 m	86 m	88 m	89 m	91 m	93 m	95 m	97 m	99 m

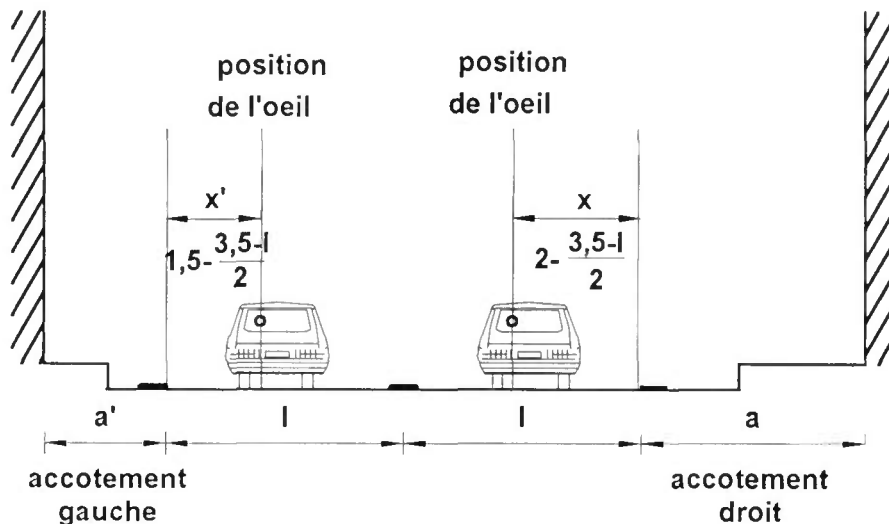
- Distances d'arrêt dans les autres cas en fonction de la déclivité.

déclivité	8 %	6 %	4 %	2 %	0 %	- 2 %	- 4 %	- 6 %	- 8 %
Vr = 60	60 m	61 m	62 m	63 m	65 m	66 m	68 m	69 m	71 m
Vr = 80	95 m	97 m	100 m	102 m	105 m	108 m	111 m	115 m	119 m

## 1.2 - Visibilité en courbe : dégagements latéraux

La visibilité à la distance d'arrêt  $d$  (voir § 1.1) doit être assurée en courbe par dégagement latéral d'obstacles visuels de façon à ce que l'oeil du conducteur puisse percevoir un véhicule à l'arrêt.

Dans le cas de voies de largeur 3,50 m, l'oeil du conducteur est supposé situé à 2 m du bord droit de la voie et 1,5 m du bord gauche. Dans le cas de voies de largeur  $l$  inférieure à 3,50 m, l'oeil sera placé à une distance  $2\text{ m} - \frac{3,50 - l}{2}$  du bord droit et  $1,5\text{ m} - \frac{3,50 - l}{2}$  du bord gauche.



La largeur minimale "e" à dégager le long d'une courbe de rayon  $R$  sur laquelle les deux points "oeil" et "objectif" sont distants de  $d$  est donnée par la formule :

$$e = \frac{d^2}{8R}$$

Il convient alors d'assurer :

$$a + x \geq e$$

avec  $a$  = largeur de l'accotement (entre le bord de la voie et la paroi)

$$x = 2m - \frac{3,5 - l}{2} \text{ (distance oeil-bord droit de la voie)}$$

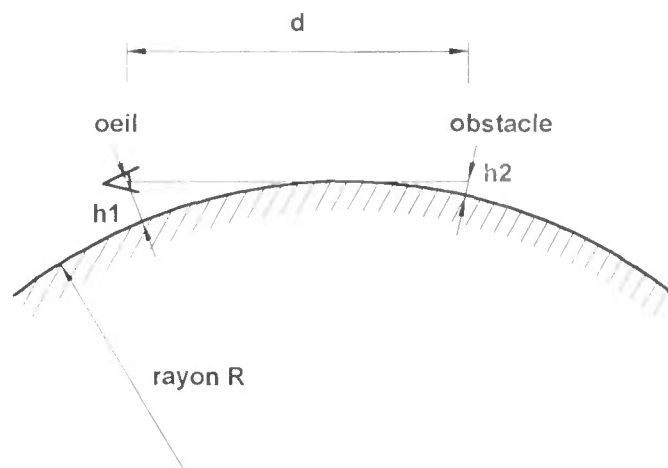
Dans le cas de virage à gauche  $a$  et  $x$  sont respectivement remplacés par  $a'$  et  $x'$  (voir schéma).

### 1.3 - Visibilité en angle saillant

En tout point, il conviendra d'assurer une distance de visibilité sur obstacle au moins égale à la distance d'arrêt.

La visibilité sur un rayon saillant sera à vérifier dans des conditions de positionnement identiques à celles définies pour la visibilité en courbe, c'est-à-dire :

- oeil du conducteur à une hauteur  $h_1$  par rapport au sol  
 $h_1$  est pris égal à 1 m ;
- obstacle de hauteur  $h_2$ .



Le respect de cette condition permet de calculer les rayons minimums en angle saillant du profil en long pour les différentes valeurs de  $d$ . On utilise la formule suivante :

$$R_{\min} = \frac{d^2}{2(h_1 + h_2 + 2\sqrt{h_1 h_2})} = \alpha \cdot d^2$$

- En section courante, les rayons doivent permettre, en tout point, d'assurer la visibilité sur un obstacle éventuel de hauteur  $h_2 = 0,15$  m.

On obtient alors  $R_{\min} = 0,260 d^2$ .

- Exceptionnellement, sous très fortes contraintes, on pourra admettre que la visibilité ne se fasse que sur les feux arrières d'un véhicule de hauteur  $h_2 = 0,35$  m,

d'où  $R_{\min} = 0,197 d^2$ .

- La visibilité au sol et sur le marquage au sol n'étant assurée que pour  $h_2 = 0$ ,

ce qui donne  $R_{\min} = 0,5 d^2$ .

Les valeurs des rayons minimaux obtenues par l'application de ces règles sont données au § 3.2.

#### 1.4 - Visibilité en angle rentrant

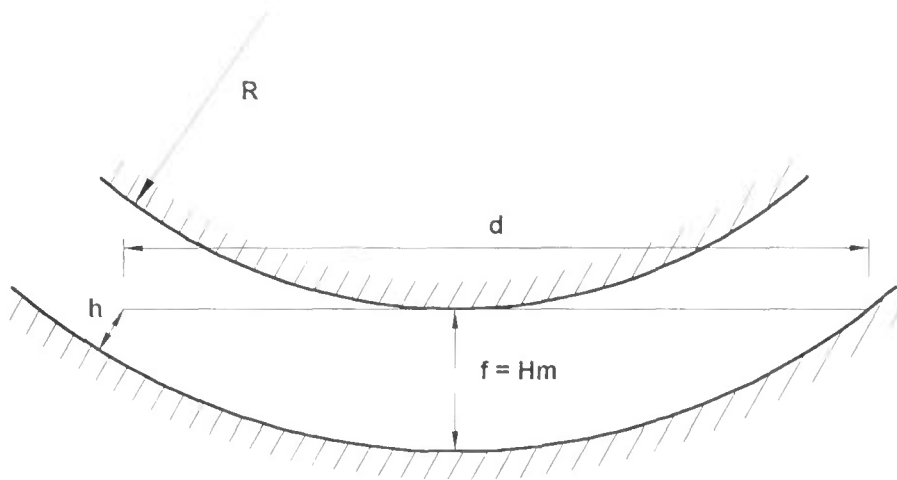
Pour les tunnels, il s'agit essentiellement de vérifier la visibilité sous ouvrage à la distance d'arrêt.

Dans les zones d'échanges, on veillera à ce que les panneaux de signalisation directionnelle soient lisibles dans leur totalité, à la distance parcourue par les véhicules pendant une durée de 3 secondes pour la présignalisation et de 5 secondes pour la signalisation de position.

Les conditions de l'ICTAVRU sont reprises en adaptant la position de l'oeil du conducteur en fonction du gabarit autorisé.

Au lieu de situer l'oeil à une hauteur de 2,5 m dans tous les cas, on propose de prendre les hauteurs suivantes :

- pour le gabarit 1 ( $G = 2,00$  m) :  $h = 1,00$  m ;
- pour le gabarit 2 ( $G = 2,70$  m) :  $h = 2,00$  m ;
- pour le gabarit 3 ( $G = 3,50$  m) :  $h = 2,50$  m.



L'ouverture  $f$  est prise égale à la hauteur libre minimale  $Hm$  qui vaut respectivement 2,15 m ; 2,85 m ; 3,70 m pour les gabarits 2,00 m ; 2,70 m et 3,50 m.

Le respect de cette condition de visibilité sous ouvrage permet de calculer les rayons minimums en angle rentrant donnés au § 3.3.

Avec  $Hm$  = hauteur libre minimale et  $h$  = hauteur oeil

$$R_{\min} = \frac{d^2}{2(2Hm - h + 2\sqrt{Hm(Hm - h)})}$$

avec	$Hm = 2,15 \text{ m}$	on a	$R_{\min} = 0,077 d^2$
	$Hm = 2,85 \text{ m}$		$R_{\min} = 0,074 d^2$
	$Hm = 3,70 \text{ m}$		$R_{\min} = 0,055 d^2$

## 2 - TRACE EN PLAN ET DEVERS

### 2.1 - Rayons du tracé en plan

Les rayons minimaux ou normaux non déversés à considérer sont conformes à l'ICTAVRU, à savoir :

- pour $Vr = 80 \text{ km/h}$	$R_{\text{minimal}}$	= 240 m
	$R_{\text{normal non déversé}}$	= 400 m

- pour $V_r = 60$ km/h	$R_{\text{minimal}}$	= 120 m
	$R_{\text{normal non déversé}}$	= 200 m.

Il est toutefois recommandé, dans le cas d'une vitesse de référence de 60 km/h, de ne pas descendre en-dessous de 240 m. En effet, la visibilité latérale devient alors très difficile à assurer, et les risques de perte de contrôle plus importants. Ajoutons également que les techniques de creusement au tunnelier ne permettent pas de négocier sans difficulté des courbes de rayon inférieur à 400 m.

## 2.2 - Dévers associés

Les courbes présentées dans la note technique du SETRA de janvier 1984 montrent que :

- pour des vitesses pratiquées inférieures à 80 km/h, le dévers a très peu d'influence sur les conditions de confort, et cela quelque soit le rayon considéré ;
- en outre, l'absence ou l'insuffisance de dévers n'apparaissent que très rarement comme des facteurs accidentogènes.

Il est donc recommandé de retenir les associations dévers/rayon suivantes :

⇒ Pour un rayon compris entre le rayon minimal et le rayon normal non déversé, le dévers doit être impérativement positif (vers l'intérieur du virage) et se situer dans la fourchette :

$$1 \% < d < 2,5 \%$$

Ce dévers positif doit régner sur la totalité de la courbe.

⇒ Pour un rayon supérieur au rayon non déversé, un contre-dévers peut être adopté à l'intérieur de la fourchette :

$$- 2,5 \% < d < - 1 \%$$

⇒ Pour les tunnels de gabarit autorisé égal à 3,50 m, il est préférable de maintenir sur la totalité du tracé (alignements droits y compris) un minimum de 2 % de dévers afin d'assurer un bon écoulement des liquides susceptibles de se déverser sur la chaussée. Dans le cas des gabarits de 2 m et 2,70 m, la valeur de 1 % est suffisante pour cela.

## 2.3 - Conditions d'enchaînement des courbes et des alignements droits

En référence à l'ouvrage "Sécurité des Routes et des Rues", nous recommandons :

- d'éviter les continuelles grandes courbes ( $R > 1000$  m) et leur préférer les tracés constitués d'alignements droits et de courbes moyennes.
  
- d'éviter les virages isolés de faibles rayons sur section apparemment sans difficulté : cas des courbes de  $R < 300$  m, en extrémité d'alignement droit de plus de 1 km ou des courbes de  $R < 200$  m, après plusieurs centaines de mètres d'AD.
  
- d'exclure les successions de courbes de même sens, constituées de plusieurs arcs de cercle (courbe multicentre, ove, courbe en C).
  
- d'introduire, entre deux arcs de cercles, de même sens, une longueur d'alignement droit (non compris les raccordements progressifs) au moins égale à la distance parcourue pendant 3 secondes à la vitesse de référence (en section courante) et à la vitesse pratiquée (dans les rampeaux).  
De plus, pour les arcs de cercle de rayons inférieurs à 500 m, après un rayon  $R_1$ , il est déconseillé d'introduire un rayon  $R_2$ , tel que  $R_2/R_1 < 0.67$ .
  
- de raccorder deux arcs de cercle de sens opposés par des arcs de clothoïde ; lorsque ces courbes sont de valeurs supérieures au rayon non déversé on pourra assurer cette transition par un alignement droit d'au moins cinquante mètres."

## 2.4 - Raccordements progressifs

Les raccordements progressifs se feront à l'aide de clothoïdes.

L'ICTAVRU précise qu'une clothoïde n'est obligatoire que pour introduire une courbe de rayon inférieur au rayon normal non déversé.

Nous recommandons, de plus, d'étendre cette obligation pour tous les rayons inférieurs à 1 000 m, dans le cas où les voies ont une largeur inférieure à 3 m.

La longueur minimale de la clothoïde est égale à  $6 R^{0.4}$  pour les ouvrages à 1 ou 2 voies de circulation et  $9 R^{0.4}$  pour le cas des ouvrages à plus de 2 voies.



### 3 - PROFIL EN LONG

#### 3.1 - Pentes et rampes

Pour ce qui concerne la section courante des tunnels urbains à gabarit réduit, les valeurs de déclivité maximale préconisées par l'ICTAVRU pour une voie de type U60 ou A80 sont à prendre en compte.

**Déclivité moyenne maximale = 6 %**

Des déclivités instantanées plus fortes peuvent être admises sur moins de 30 m de longueur sans qu'elles puissent excéder 9 %. Les chapitres 8 et 9 aborderont le cas particulier des rameaux de liaison et des trémies d'accès.

#### 3.2 - Rayons minimaux en angle saillant

Les rayons minimaux en angle saillant sont déterminés par les conditions de visibilité données au paragraphe 1.3 ainsi que la vérification de la condition de confort visant à limiter l'accélération verticale à  $\frac{g}{40}$ . Ils sont calculés à partir des distances d'arrêt données au 1.1. Il faudra donc distinguer les différents cas suivants.

Vr = 60 km/h	Chaussée entretenue et lavée hors zone de tête	Autres cas
Visibilité sur obstacle de 0,15 m	900 m	<b>1 100 m</b>
Visibilité sur obstacle de 0,35 m	700 m	900 m
Visibilité au sol	1 700 m	2 100 m
Condition de confort	<b>1 100 m</b>	<b>1 100 m</b>

Vr = 80 km/h	Chaussée entretenue et lavée hors zone de tête	Autres cas
Visibilité sur obstacle de 0,15 m	<b>2 200 m</b>	<b>2 900 m</b>
Visibilité sur obstacle de 0,35 m	1 700 m	2 200 m
Visibilité au sol	4 200 m	5 500 m
Condition de confort	2 000 m	2 000 m

Il est recommandé d'assurer en tout point la visibilité sur obstacle de 0,15 m à la distance d'arrêt, tout en vérifiant la condition de confort.

### 3.3 - Rayons minimaux en angle rentrant

Les rayons minimaux en angle rentrant sont déterminés par la condition de confort avec une limitation de l'accélération verticale à  $\frac{g}{20}$  et la vérification des conditions de visibilité sous ouvrage (cf. paragraphe 1.4).

Dans les conditions de positionnement définies au paragraphe 1.4, on obtient les rayons minimaux suivants.

Vr = 60 km/h		Gabarit 2 m (Hm = 2,15)	Gabarit 2,70 m (Hm = 2,85)	Gabarit 3,50 m (Hm = 3,70)
Visibilité	Chaussée entretenue et lavée (hors zone de tête)	300 m	250 m	200 m
	Autres cas	350 m	300 m	250 m
Confort		<b>600 m</b>	<b>600 m</b>	<b>600 m</b>

Vr = 80 km/h		Gabarit 2 m (Hm = 2,15)	Gabarit 2,70 m (Hm = 2,85)	Gabarit 3,50 m (Hm = 3,70)
Visibilité	Chaussée entretenue et lavée (hors zone de tête)	650 m	600 m	500 m
	Autres cas	850 m	800 m	600 m
Confort		<b>1 000 m</b>	<b>1 000 m</b>	<b>1 000 m</b>

La condition de confort s'avère déterminante dans le dimensionnement des angles rentrants.

## 4 - COMBINAISON DE POINTS DURS

Les règles générales de conception de tracé doivent être appliquées :

- ne pas surprendre l'automobiliste en implantant une courbe (de faible rayon) derrière un rayon saillant qui masque la courbure ;
- ne pas combiner, en un même point, des caractéristiques géométriques minimales en tracé et en profil en long pouvant entraîner la rupture des équilibres dynamiques ;
- éviter la concentration, sur une zone, d'éléments perturbateurs comme géométrie difficile, entrecroisement, signalisation spécifique (PMV),...

- **Remarque :**

*L'attention du concepteur est également attirée sur la question des pertes de tracé ; il convient d'éviter la succession trop rapide de rayons saillants et de rayons rentrants pouvant contribuer à masquer les véhicules.*

## C - PROFIL EN TRAVERS

Les éléments de dimensionnement abordés ci-après ont été conçus pour les gabarits autorisés de 2 m, 2,70 m et 3,50 m et des vitesses de référence de 60 et 80 km/h exclusivement.

Les différents niveaux d'exploitation (TU1, TU2, TU3) définis au chapitre 3 interviennent directement pour orienter la réflexion vers des choix techniques appropriés.

Nous rappelons que n'est abordé ici que le cas des ouvrages unidirectionnels ; les problèmes spécifiques liés au croisement des véhicules ne sont pas évoqués.

### 1 - LARGEUR DU PROFIL EN TRAVERS

La détermination de la largeur du profil en travers repose sur une double vérification :

- **une largeur entre piédroits à 1 m de hauteur supérieure ou égale à la largeur minimale déterminée ci-dessous.**

C'est en effet à 1 m de hauteur que le conducteur apprécie son interdistance vis-à-vis des véhicules ou des obstacles latéraux qu'il côtoie ;

- **une largeur de plate-forme suffisante.** Cette largeur se mesure également de piédroit à piédroit, mais au niveau de la chaussée. Elle comprend la largeur roulable, ainsi que les isolateurs latéraux et les trottoirs.

- **Remarque :**

*Cette double vérification est justifiée par la forme particulière que peuvent avoir les parois du tunnel du fait de la technique de creusement choisie.*

### **1.1 - Largeur minimale entre piédroits à 1 m de hauteur**

La largeur minimale entre piédroits à 1 m de hauteur est égale à la somme de :

- l'effet de paroi gauche,
- la largeur des véhicules admis (n fois),
- l'interdistance entre véhicules (n-1 fois),
- l'effet de paroi droit.

n est égal au nombre de voies de circulation.

- **Effet de paroi :**

Le phénomène appelé "effet de paroi" caractérise le fait qu'un véhicule doit nécessairement rester à une certaine interdistance du parement d'un tunnel, pour que le conducteur ne ressente pas une impression d'inconfort ou d'appréhension.

Cette interdistance se mesure à la hauteur de vision latérale du conducteur, fixée ici à 1 m au-dessus de la chaussée.

A partir de mesures de positionnement des véhicules circulant dans différents ouvrages souterrains, l'interdistance minimale à conserver entre le véhicule au milieu de sa voie et la paroi, à 1 m de hauteur, est estimée à 1,20 m à droite comme à gauche.

Dans le cas du tunnel principal, la valeur de 1,20 m sera considérée aussi bien pour la vitesse de référence de 60 km/h que la vitesse de référence de 80 km/h.

Dans le cas particulier des rameaux de liaison, cette valeur pourra être réduite à 1 m lorsque la vitesse pratiquée sera inférieure à 60 km/h. L'ensemble de la démarche de détermination du profil en travers des rameaux fait l'objet d'un développement au chapitre 7.

- **Largeur des véhicules admis :**

A chacun des trois gabarits types en hauteur peut être associée une largeur maximale des véhicules admis.

Les largeurs maximales retenues sont les suivantes :

- 1,80 m dans le cas d'un gabarit type de 2,00 m ;
- 2,00 m dans le cas d'un gabarit type de 2,70 m ;
- 2,50 m dans le cas d'un gabarit type de 3,50 m.

Il est cependant possible de considérer, pour le gabarit de 3,50 m, et dans le cas d'une circulation à 3 voies, que la largeur maximale des véhicules sur la voie la plus rapide est de 2,00 m. Cette hypothèse est cohérente avec l'interdiction pour les véhicules lourds de circuler sur la voie de gauche des autoroutes.

- **L'interdistance entre véhicules de front :**

Deux véhicules roulant de front, dans le même sens, doivent garder entre eux une interdistance latérale suffisante, pour permettre d'absorber, en toute sécurité, les inévitables déviations ou écarts de trajectoires que connaissent les véhicules en mouvement.

L'interdistance latérale minimale peut être rattachée à la vitesse de référence de l'ouvrage. En effet, plus celle-ci sera élevée et plus la marge entre véhicules devra être importante car les écarts de trajectoire auront sans doute des amplitudes plus fortes.

**L'interdistance latérale est fixée à :**

- 1,00 m pour une vitesse de référence de 60 km/h ;
- 1,10 m pour une vitesse de référence de 80 km/h.

Ces chiffres peuvent être pondérés en fonction de l'importance des moyens mis en oeuvre afin de s'assurer du respect de la vitesse maximale autorisée. Lorsque le niveau d'exploitation sera élevé (niveaux TU2 ou TU1), les interdistances minimales annoncées pourront être réduites de 10 cm.

De plus, si une politique de contrôle ferme des vitesses pratiquées est mise en place (niveau TU1 seulement), les interdistances annoncées pourront être réduites de 10 cm supplémentaires (soit 20 cm en tout).

- **Remarques :**

*Dans le cas habituel des tunnels autorisés à l'ensemble des véhicules, les largeurs de voies sont de 3,50 m (exceptionnellement réduites à 3 m ou à 3,25 m), et les trottoirs latéraux créent un dégagement latéral, à 1 m de hauteur, d'au moins 0,75 m de part et d'autre. Ainsi, les interdistances entre véhicules sont supérieures à 1 m pour les poids lourds et à 1,70 m pour les véhicules légers. La distance à la paroi est supérieure à 1,25 m pour les poids lourds et à 1,60 m pour les véhicules légers. La largeur réelle entre piédroits à 1 m de hauteur est par conséquent toujours supérieure à la largeur minimale calculée.*

## **1.2 - Largeur minimale de la plate-forme**

La largeur minimale de la plate-forme se mesure de piédroit à piédroit, au niveau de la chaussée.

La largeur minimale de la plate-forme dépend de la largeur des voies, du nombre de voies, ainsi que des dispositions particulières prises pour l'exploitation en cas de panne, et la sécurité des usagers en détresse circulant à pied dans l'ouvrage.

- **Largeur minimale des voies :**

La largeur minimale des voies est fixée à :

- 2,80 m lorsque le gabarit autorisé est de 2,00 m ;
- 3,00 m lorsque le gabarit autorisé est de 2,70 m avec cependant la possibilité de l'abaisser jusqu'à 2,80 m sur les voies autres que la voie de droite ;
- 3,50 m lorsque le gabarit autorisé est de 3,50 m avec cependant la possibilité de l'abaisser jusqu'à 3 m, sur les voies autres que la voie de droite.

Cette disposition indépendante de la vitesse de référence (60 ou 80 km/h) ne s'applique pas aux rameaux de liaison (voir chapitre 7).

- **Exploitation de l'ouvrage en cas de panne :**

En fonction de l'importance du trafic attendu dans l'ouvrage, et en liaison directe avec l'ensemble des dispositifs d'exploitation mis en place, une option déterminante doit être prise en ce qui concerne la circulation au droit des véhicules en panne ; la **largeur roulable** peut être conçue pour permettre, ou ne pas permettre la conservation du nombre de files au droit du véhicule en panne.

⇒ Les présentes recommandations sont favorables à la mise en place, pour les tunnels urbains, d'une **bande d'arrêt d'urgence** de 2 m permettant l'arrêt d'un véhicule, sans infléchissement notable de la trajectoire des véhicules circulant sur les voies adjacentes.

Cette disposition est obligatoire dans le cas d'une exploitation de niveau TU3.

⇒ Dans le cas d'un ouvrage avec une gestion très efficace du trafic et si les dispositifs de signalisation permettent d'avertir de l'incident suffisamment tôt et de façon claire l'automobiliste en mouvement, la conservation du nombre de files peut être réalisée en augmentant la largeur roulable à l'aide de **bandes dérasées** de droite et de gauche, ou en implantant des trottoirs franchissables permettant d'assurer des conditions de circulation correctes à vitesse prudente au droit du véhicule supposé arrêté le plus à droite possible ( $\approx 30$  cm de la paroi). La conservation théorique du nombre de files est alors assurée mais elle oblige les usagers à un certain déport latéral au droit du véhicule en panne. Le dimensionnement de la largeur roulable utilise la notion de couloir de circulation qui fixe la largeur minimale dont a besoin le véhicule au droit de l'incident. La largeur des couloirs dépend de la vitesse et peut être définie par le tableau suivant :

Largeur des couloirs de circulation	V Léger (G = 2 m)	Fourgon (G = 2,70 m)	Camion (G = 3,50 m)
Véhicule arrêté	2,15 m	2,35 m	2,85 m
Véhicule au pas	2,30 m	2,50 m	3,00 m
Véhicule à 40-50 km/h (vitesse prudente)	2,70 m	2,80 m	3,25 m

- **Remarques :**

*Les largeurs annoncées ci-avant intègrent le déport de dépassement comprenant d'une part une marge de manoeuvre pour compenser l'effet de surprise et d'autre part la déviation obligée de trajectoire.*

Le dimensionnement de la largeur nécessaire à la manoeuvre de dépassement se fera en supposant que le véhicule arrêté et celui dépassant au pas sur le couloir immédiatement voisin sont des camions lorsque le gabarit autorisé est de 3,50 m, des fourgons lorsque celui-ci est de 2,70 m et des VL lorsque le gabarit est de 2 m. Sur les autres couloirs de dépassement pourront être considérés des VL à vitesse prudente (largeur du couloir : 2,70 m).

Les bandes dérasées auront une largeur minimale de 15 cm, mais devront prendre en compte les sujétions et les contraintes constructives propres à l'ouvrage.

**Cette disposition nécessite les niveaux d'exploitation TU1 ou TU2.**

⇒ Dans le cas particulier d'ouvrages très surveillés, pour lesquels la détection de l'incident sera quasi-instantanée, et donnera lieu à une gestion adaptée et immédiate des voies, telle que neutralisation (assez loin en amont) de la voie obstruée par le véhicule en panne, il est envisageable que l'incident se traduise par une perte de voie, localement.

**Dans un tel cas, le niveau TU1 d'exploitation s'impose obligatoirement.**

- **Cas des usagers en détresse - Trottoirs :**

Bien que les ouvrages étudiés ici soient interdits aux piétons, il est nécessaire d'envisager le cas où, indépendamment des consignes qui lui auront été données, un automobiliste en panne décidera de marcher dans le tunnel pour se rendre à une niche de secours. Il devra normalement trouver pour cela un emplacement protégé en bordure de chaussée.

De même, les trottoirs ont un rôle important à jouer dans le cadre de l'entretien et de l'exploitation de l'ouvrage sous circulation.

⇒ Dans le cas général, on prévoira la mise en place de trottoirs larges d'au moins 0,60 m, tout en s'assurant qu'ils permettent de dégager le gabarit type du piéton (voir Dossier Pilote des Tunnels) : la forme des piédroits pouvant parfois amener à élargir les trottoirs. Si les piédroits sont verticaux par exemple, la largeur minimale des trottoirs sera de 0,75 m.

**Cette disposition est obligatoire dans le cas du niveau TU3 d'exploitation.**

⇒ Dans le cas où de fortes contraintes techniques ou financières l'imposent, la BAU pourra être utilisée pour le cheminement piétonnier de secours ; un trottoir franchissable peut également constituer une solution très intéressante offrant un dégagement pour le véhicule en panne et une protection au piéton. On veillera dans un tel cas à rendre la distance à parcourir aussi courte que possible, tout en y associant une signalisation renforcée des incidents, et un éclairage permettant de distinguer de loin la présence du piéton.

**Cela nécessite des niveaux d'exploitation élevés (TU2 ou TU1).**

⇒ Enfin, dans le cas particulier d'ouvrages sans BAU, mais fortement surveillés, avec possibilité de neutraliser immédiatement et sur une longueur importante la voie où un ou plusieurs véhicules sont immobilisés, il pourra être envisagé de prévoir le cheminement des usagers en détresse sur la voie ainsi neutralisée ; cette voie ne pouvant être que l'une des voies latérales. Un marquage sonore sera mis en place sur une partie de la voie latérale, en bordure de chaussée, afin d'éveiller la vigilance des automobilistes.

**Cette disposition n'est envisageable qu'en association avec un niveau TUI d'exploitation.**

Il est à noter l'attention particulière qui est à porter aux conditions d'exploitation. La suppression de la protection physique que constitue le trottoir, n'est à envisager qu'avec la garantie certaine de la mise en place et de la maintenance d'un système de détection et de gestion du trafic efficace et à réponse instantanée.

### **1.3 - Récapitulatif et conclusions quant au dimensionnement en largeur du profil en travers**

Récapitulons les grandes étapes de la démarche de dimensionnement :

⇒ En premier lieu, il convient d'évaluer la demande en trafic, en association avec les types de véhicules qui auront à transiter dans l'ouvrage projeté ; une étude économique globale est alors nécessaire pour estimer en termes de stratégie de transport et de coût, les conséquences du choix d'une limitation en hauteur plutôt qu'une autre.

Dans cette analyse, la longueur de l'ouvrage, la méthode de creusement, les liaisons avec le réseau existant ainsi que les dispositions à prendre pour le tri des véhicules et l'information des usagers seront entre autres, des éléments déterminants.

⇒ Une fois envisagée une variante à gabarit réduit, il conviendra de se fixer, parmi les différents gabarits types, un gabarit autorisé. Il faut insister sur le fait que le choix d'un gabarit inférieur à 3,30 m implique nécessairement une réflexion approfondie sur les moyens d'intervention et de secours à prévoir : tous les moyens habituels ne pouvant pas accéder à l'intérieur du tunnel.

Le cas particulier du gabarit autorisé de 2 m est évidemment le plus difficile ; aucun des moyens usuels d'intervention n'étant adapté.

⇒ Le choix d'un gabarit autorisé, d'une vitesse de référence ainsi que du nombre de voies de circulation permet le calcul de la largeur minimale entre piédroits à 1 m de hauteur, conformément aux indications du paragraphe 1.1 et de la largeur de la plate-forme minimale conformément aux indications du paragraphe 1.2. Dans cette détermination, la stratégie d'exploitation intervient d'une façon primordiale.

La largeur à 1 m de hauteur et la largeur de la plate-forme devront nécessairement être supérieures à la largeur minimale à 1 m de hauteur et à la largeur de plate-forme minimale respectivement.



En conclusion, il faut insister sur le fait que le choix d'un niveau d'exploitation plutôt qu'un autre oriente la conception vers des options fondamentales telles que la mise en place ou non d'une BAU ou de trottoirs pour le cheminement des piétons ; cela explique l'importance qu'il y a à s'assurer et à se donner toute les garanties que les dispositifs d'exploitation prévus seront toujours efficaces à moyen et à long terme.

En annexe 1, des exemples d'application sont fournis pour le cas d'ouvrages à piédroits verticaux.

## **2 - HAUTEUR DU PROFIL EN TRAVERS**

### **2.1 - Avant-propos : Particularités des tunnels à gabarit réduit**

Dans le cas des tunnels "tous véhicules", les hauteurs libres minimales sont supérieures à 4,30 m autorisant ainsi sans problème le passage des véhicules hauts de 4 m. Pour les véhicules de hauteurs supérieures à 4 m, conformément au Code de la Route, les usagers ont à s'assurer que leur véhicule a des dimensions lui permettant de franchir sans dommage les ouvrages.

Le Dossier Pilote des Tunnels, ainsi que la circulaire de 1986, sont formulés dans l'objectif de concevoir l'ouvrage en fonction d'une hauteur libre minimale imposée. Puis après réalisation, l'observation in situ de la hauteur libre réelle (toujours supérieure à la hauteur libre minimale) permettra de décider du gabarit autorisé devant figurer sur le panneau de limitation en hauteur à l'entrée.

Dans l'analyse du cas particulier des gabarits réduits, la démarche est opposée, car l'objectif est de concevoir l'ouvrage en fonction d'un gabarit autorisé.

Cette différence est fondamentale dans l'appréciation du rôle des revanches à prendre en compte.

De même, la notion de hauteur libre s'estompe au profit de la hauteur libre minimale, car le gabarit autorisé est prédéterminé et doit être assuré de façon certaine ; rien ne nous permet de considérer que les revanches de construction ne seront pas "consommées" lors de la réalisation.

### **2.2 - Définitions**

**Le gabarit autorisé** est la hauteur hors-tout maximale des véhicules admis. Cette hauteur se mesure "véhicule à l'arrêt" et elle correspond aux indications portées sur les panneaux de type B12 disposés à l'entrée.

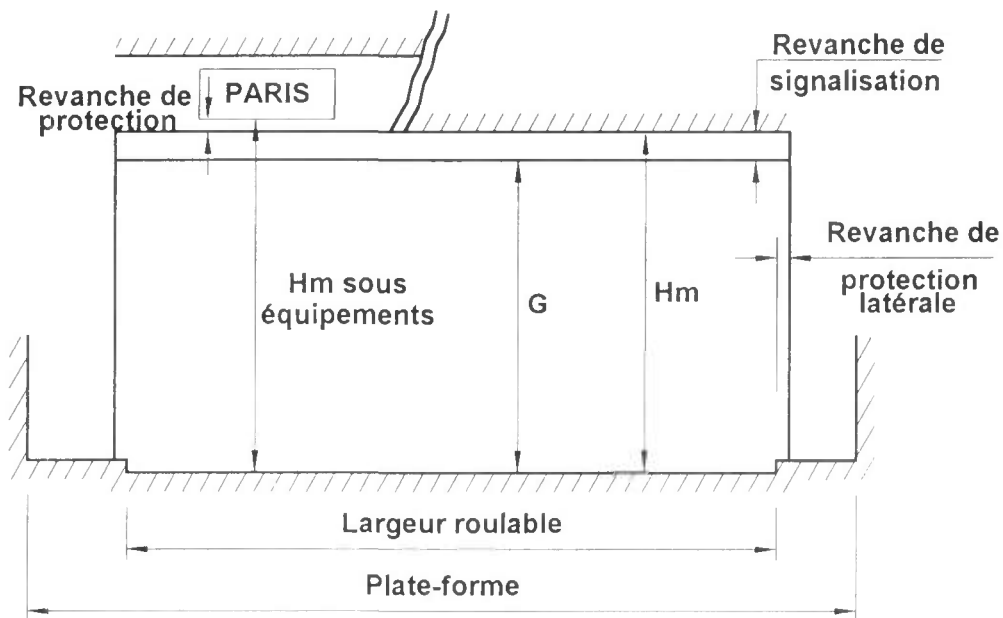
**La hauteur libre minimale** représente la hauteur minimale qui devra présenter l'ouvrage tout au long de sa durée de vie afin de pouvoir assurer le passage des véhicules en mouvement. L'espace propre à la mise en place des panneaux de signalisation dans le souterrain n'est bien évidemment pas compris dans la hauteur libre minimale.

Le passage du gabarit autorisé à la hauteur libre minimale se fera en prenant en compte :

- la revanche de signalisation,

- les revanches de protection latérale et en hauteur.

La largeur roulable constitue la partie accessible aux véhicules constituée par l'ensemble de la chaussée (voies de circulation) et des deux bandes dérasées qui la bordent.



### 2.3 - Les revanches

- **Revanche de signalisation :**

La revanche de signalisation prend en compte les effets dynamiques engendrés par le mouvement du véhicule, ou lors des opérations de freinage. Elle n'a aucun rapport avec l'espace nécessaire à la mise en place physique des panneaux de signalisation, mais elle correspond à la marge qu'il convient de garder afin de se protéger des risques de heurter les panneaux.

- **Remarque :**

*Cette revanche est fixée de 20 à 30 cm pour les ouvrages classiques, de hauteur libre supérieure à 4 m. Elle est égale à 10 cm pour les PSGR de type A et 15 cm pour les PSGR de type B (guide des PSGR de 71).*

**Pour les ouvrages à gabarit réduit, nous recommandons de considérer une revanche d'au moins 15 cm dans le cas des gabarits de 2 m et de 2,70 m et une revanche de 20 cm pour le gabarit de 3,50 m.**

Cette proposition prend en compte le fait :

- que ces ouvrages, contrairement aux PSGR, seront des ouvrages longs,
- que ces tunnels de faible gabarit sont des ouvrages rares et présentent donc un caractère inhabituel pour l'usager.

**Cette revanche en hauteur devra être considérée sur l'ensemble de la largeur roulable augmentée des revanches latérales de protection.**

**Lorsque les contraintes de forme seront très fortes (cas des tunnels circulaires notamment), cette revanche en hauteur pourra être réduite à 5 cm seulement, mais uniquement à l'aplomb des bandes dérasées latérales, c'est à dire en dehors des voies normales de circulation.**

- **Revanches de protection :**

Les revanches de protection sont mises en place à la fois pour assurer la pérennité des nombreux équipements en tunnel, ainsi que pour disposer latéralement d'une marge supplémentaire.

⇒ En hauteur, la revanche de protection conseillée est de 10 cm. Elle s'applique au droit des équipements. Dans des cas particuliers où la détérioration éventuelle d'un équipement sera immédiatement détectée et celui-ci remplacé (niveau d'exploitation TUI), il est envisageable de réduire cette revanche.

⇒ En largeur, la revanche latérale sera égale à :

- 0 cm du côté de la bande d'arrêt d'urgence si la chaussée dispose effectivement d'une bande d'arrêt d'urgence,
- 5 cm si la chaussée ne possède pas de BAU, dans le cas d'un gabarit autorisé de 2 m,
- 10 cm si la chaussée ne possède pas de BAU, dans le cas d'un gabarit autorisé supérieur ou égal à 2,70 m.

**Cette valeur sera augmentée de 10 cm au droit des équipements latéraux implantés sur le côté.**

- **Revanche de construction et d'entretien :**

La hauteur libre minimale doit être une hauteur garantie à court et à long terme dans l'ouvrage.

**Le concepteur, lors du dimensionnement, prévoira nécessairement, par rapport à la hauteur libre minimale une revanche dite de construction et d'entretien, de 5 cm au minimum afin de tenir compte des erreurs de nivellement ou des tassements durant la construction, ainsi que des réfections ultérieures de la chaussée en phase d'exploitation.**

Cette revanche, "consommable" à court ou à long terme, ne peut pas être prise en compte dans la relation "gabarit autorisé - hauteur libre minimale".

## **2.4 - Hauteur libre minimale - Espace de circulation**

⇒ La hauteur libre minimale sera égale au gabarit autorisé, augmentée des 2 revanches à savoir la revanche de signalisation et la revanche de protection en hauteur. Elle devra régner sur l'ensemble de la largeur roulable, augmentée des revanches latérales de protection.

⇒ L'espace ainsi dégagé constitue l'espace de circulation. Il convient de faire en sorte que cet espace soit intégralement dégagé à court terme comme à long terme : pour cela, des revanches de construction et d'entretien suffisantes seront nécessairement considérées.

Les équipements à installer viendront se placer au-dessus ou en latéral de l'espace de circulation. C'est le cas par exemple des panneaux de signalisation.

ooOoo

## CHAPITRE 6

### CONCEPTION GEOMETRIQUE DES RACCORDEMENTS ENTRE TUNNEL PRINCIPAL ET RAMEAUX

Les rameaux disposés en chacun des points d'échanges, vont assurer la liaison entre le tunnel principal et la surface. Le présent chapitre aborde la conception du raccordement entre rameaux et tunnel, que ce soit dans le cas d'une bretelle d'entrée (sens surface → tunnel) ou celui d'une bretelle de sortie (sens tunnel → surface).

Les chapitres 7 et 8 traiteront du dimensionnement de la section courante des rameaux, et de celui des trémies en surface.

#### A - IMPLANTATION

Dans les tunnels urbains, les dispositifs de raccordement (ou accès) doivent pouvoir répondre aux mêmes impératifs qu'à l'air libre. Généralement, ils sont implantés sur le bord droit de la chaussée ; cependant, dans certains cas, justifiés par des raisons techniques ou économiques, ils peuvent être admis à gauche sous certaines conditions.

On évitera les implantations d'accès dans des courbes en plan très prononcées, susceptibles de générer de mauvaises perceptions et des manoeuvres préjudiciables à la sécurité ; on évitera également les raccordements dans les zones à fortes déclivités. De telles implantations imposent des études particulières précises.

Les conditions d'implantation des accès successifs (entrées ou sorties successives, entrecroisements) répondront aux critères d'interdistances, de signalisation et de capacité de l'ICTAVRU.

Sont proscrits :

- les points triples en convergence, comme en divergence ;
- l'alternance des points d'accès, d'un bord à l'autre de la chaussée.

## B - DISTANCES D'ARRET ET DE VISIBILITE

### 1 - DISTANCE D'ARRET

La distance d'arrêt ( $d_a$ ) d'un véhicule, est la somme de la distance qu'il parcourt pendant le temps perception-réaction et de la distance de freinage.

Le temps de perception-réaction est de 2 secondes, et les recommandations concernant le calcul de la distance de freinage en alignement droit, en palier ou dans les tronçons en déclivité sont identiques à celles définies pour la section courante du tunnel principal (chapitre 5).

Cependant, en ce qui concerne les raccordements, pour le calcul d'une distance de freinage s'inscrivant dans une courbe en plan, le coefficient de frottement longitudinal doit être corrigé pour tenir compte de l'accélération transversale :

$$(CFL_{mobilisable})^2 = (CFL)^2 - (CFT)^2$$

avec :

$$CFT = \frac{v^2}{gR} \pm d$$

où v : vitesse en m/s  
g : accélération de la pesanteur : 9,81 m/s<sup>2</sup>  
d : le dévers en m/m.

Les distances d'arrêt ( $d_a$ ), en palier et en alignement, sont données dans le tableau suivant. Il est rappelé qu'elles ne peuvent être utilisées qu'au-delà des zones d'entrée et que dans l'hypothèse d'une chaussée nettoyée très régulièrement (voir chapitre 5.B.1).

V (km/h)	80	75	70	65	60	55	50	45	40
d (2s)	45 m	42 m	39 m	36 m	34 m	31 m	28 m	25 m	22 m
CFL ICTARN	0.42	0.43	0.44	0.45	0.46	0.46	0.46	0.46	0.46
CFL RECTUR	0.55	0.56	0.58	0.59	0.60	0.60	0.60	0.60	0.60
df (m) RECTUR	46 m	40 m	34 m	29 m	24 m	20 m	17 m	13 m	11 m
da (m) RECTUR	91 m	82 m	73 m	65 m	58 m	51 m	45 m	38 m	33 m

Dans les zones de transition (en accélération ou en décélération), la vitesse à considérer au début du freinage pourra tenir compte de la variation de la vitesse durant les 2 secondes de perception réaction.

## 2 - DISTANCE DE VISIBILITE

Conformément aux positions conventionnelles du conducteur, d'une part, et d'un obstacle éventuel sur la chaussée, d'autre part, on offrira, à partir de chacune des voies, une distance de visibilité supérieure ou égale à la distance d'arrêt, pour les vitesse normalement pratiquées par les véhicules dans la section considérée (voir chapitre 7 - paragraphe C1).

De plus, on s'assurera :

### 2.1 - A l'approche d'une sortie

- que la signalisation de position et le musoir physique sont visibles simultanément ;
- que la distance de visibilité sur signalisation de position est supérieure à la distance parcourue pendant 5 secondes. Sur présignalisation, sera considérée la distance parcourue pendant 3 secondes ;
- que la distance de visibilité sur le musoir physique de la divergence, à partir de chacune des voies pour lesquelles la recherche d'un créneau de rabattement est nécessaire, est au moins égale à la distance d'arrêt augmentée d'une distance permettant la décision (6 secondes).

### 2.2 - A l'approche d'une entrée

- que, depuis la voie réceptrice, à l'amont de l'entrée, la distance de visibilité sur véhicule entrant, positionné au droit du E1m (pointe de largeur 1 m) de l'insertion, est au moins égale à la distance d'arrêt.

Il n'est pas souhaitable d'implanter des accès à proximité des têtes d'ouvrage ; cependant, si cela s'avère indispensable, une attention particulière sera portée au traitement de l'éclairage : pour l'utilisateur s'appêtant à y pénétrer, les contrastes de luminosité, notamment par fort ensoleillement, peuvent en contrarier la perception.

## C - DISPOSITIONS GEOMETRIQUES

Pour tenir compte des contraintes économiques liées à la réalisation des ouvrages souterrains, la réflexion sur la réduction des dispositifs de raccordement conçus pour l'air libre a été abordée sans qu'une réponse véritablement significative n'ait pu être apportée :

- les tunnels urbains étant par définition destinés à recevoir des trafics importants, la notion de circulation en file continue ne peut être écartée et, en corollaire, celle de jonction ou de divergence de files continues. Dans l'ICTAVRU, cette caractéristique s'inscrit comme une constante et les dimensions des dispositifs de raccordement en sont déduites ;
- pour les sorties, les facteurs déterminant le dimensionnement sont liés aux longueurs de changements de voie et aux vitesses de manoeuvre. Les réductions de longueur des dispositifs sont liées à celles des vitesses.

### 1 - VITESSES DE MANOEUVRE

Les vitesses de manoeuvre de sortie ( $V_s$  au  $SIm$ ) et d'entrée ( $V_e$  au  $EIm$ ) dépendent :

- a) de la vitesse de référence ( $V_r$ ) de la chaussée principale ;
- b) du type de raccordement (1 ou 2 voies et, pour les sorties, affectation ou non) ;
- c) du côté de la chaussée (droit ou gauche), à partir duquel s'effectuent l'accès ou la sortie.

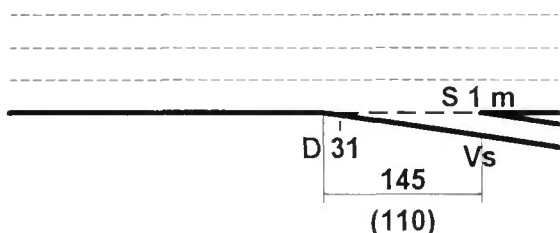
Dans ce qui suit, chaque schéma de sortie et d'entrée est accompagné des valeurs à prendre en compte.

Pour les cas de très fortes contraintes, des valeurs minimales dans le dimensionnement géométrique sont proposées. Elles correspondent à des valeurs préconisées par l'ICTAVRU pour les raccordements entre bretelles.



## 2 - SORTIES

### 2.1 - Sortie en biseau



$V_r$	60	80
$V_s$	40	50

$V_r$  : vitesse de référence du tube principal

$V_s$  : vitesse pratiquée au S1 m

La longueur normale ICTAVRU du dispositif de déboîtement est de 145 m (minimum : 110 m).

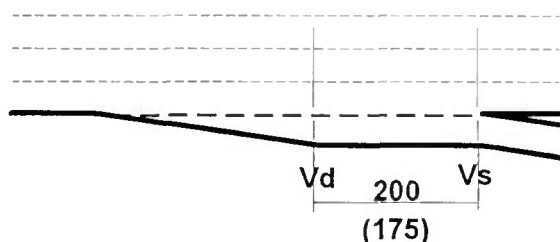
Pour ce type de déboîtement, l'implantation, réglementaire de la signalisation directionnelle qui lui correspond, constituera une contrainte forte dans la conception des ouvrages forés en raison du dégagement latéral nécessaire à l'implantation du panneau D31 placé au S1,50 du biseau et du panneau D41 placé en amont.

Pour les voies souterraines, en cas de fortes contraintes techniques et économiques, on portera exceptionnellement à 85 m la longueur minimale absolue de ce type de déboîtement, sous réserve que :

- le trafic sortant soit inférieur à 1 000 uvp/hp ;
- et que la géométrie de la bretelle (à l'aval du S1m) soit compatible avec  $V_s + 10$  km/h au S1m.

La valeur minimale proposée ici correspond à la valeur normale ICTAVRU de déboîtement de bretelle à bretelle.

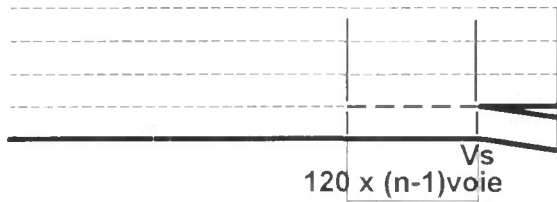
### 2.2 - Sortie à droite en pseudo-affectation



$V_r$	60	80
$V_s$	40	50

Ce type de déboîtement autorise une décélération significative à l'amont du S1m. A ce titre, il est recommandé pour les sorties dont la géométrie contraignante impose des vitesses  $V_s$  assez faibles.

### 2.3 - Sortie à droite en affectation

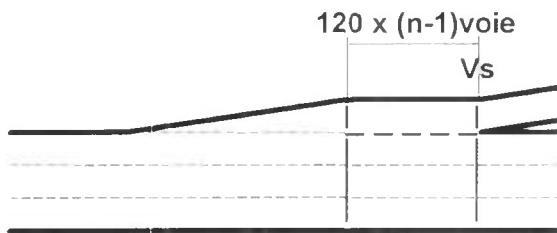


Vr	60	80
Vs	50	60

où n : nombre de voies de la chaussée y compris la voie de sortie

Ce type de déboîtement répond à des trafics sortants significatifs ; dans le cas contraire, on assistera à des manoeuvres de rabattement qui affecteront la capacité et la sécurité.

### 2.4 - Sortie à gauche en pseudo-affectation

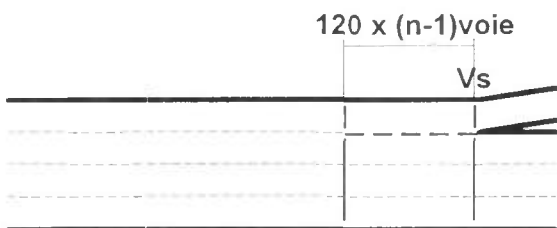


Vr	60	80
Vs	50	60

où n : nombre de voies de la chaussée y compris la voie de sortie

Dans le cas du gabarit de 3,50 m et pour limiter le nombre de changements de files des véhicules lourds, ce type de sortie n'est autorisé que sur les chaussées comportant deux voies au maximum.

### 2.5 - Sortie à gauche en affectation



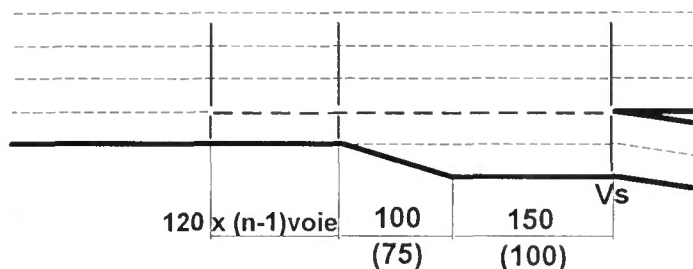
Vr	60	80
Vs	55	70

où n : nombre de voies de la chaussée y compris la voie de sortie

Ce type de sortie est également à proscrire dans le cas d'une chaussée à trois voies, lorsque le gabarit autorisé est de 3,50 m.

Pour éviter les manoeuvres de rabattement qui affecteront la capacité et la sécurité, il est important que la voie de gauche soit utilisée très majoritairement par les sortants, malgré la tendance naturelle de l'ensemble des usagers à se porter sur les voies de gauche.

### 2.6 - Sortie sur deux voies

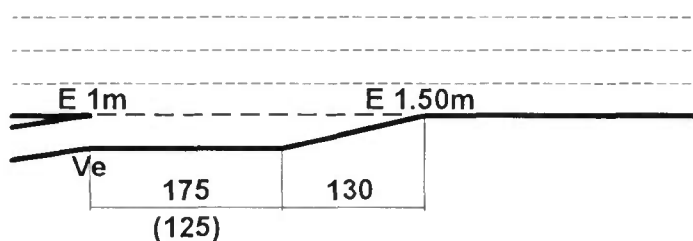


$V_r$	60	80
$V_s$	50	60

Ce dispositif est adapté, sur les chaussées à trois voies et plus, à des trafics sortants égaux ou supérieurs à 1 800 uvp/hp.

## 3 - ENTREES

### 3.1 - Entrée en insertion



$V_r$	60	80
$V_e$	40	50

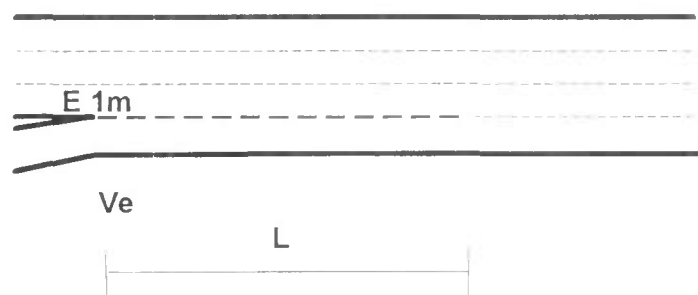
La longueur normale ICTAVRU du dispositif d'insertion est de 305 m (minimum : 255 m).

Sur la voie de droite, au EI, 50 m, le cumul des trafics de transit et entrant ne doit pas excéder 1 700 uvp/hp.

Pour les voies souterraines, en cas de fortes contraintes techniques et économiques, on portera exceptionnellement à 187,5 m (100 m + 87,5 m de biseau) la longueur minimale absolue de ce type d'insertion sous réserve que, sur la voie de droite, le cumul des trafics de transit et entrant, n'excède pas 1 400 uvp/hp.

La valeur minimale proposée correspond au cas normal ICTAVRU pour une entrée de bretelle sur bretelle.

### 3.2 - Entrée avec création de voie

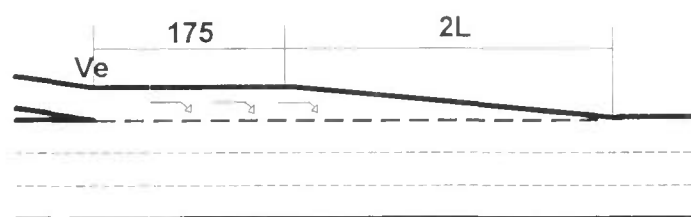


Vr	60	80
Ve	50	60

où  $L = 117$  m pour  $V_r = 80$  km/h  
 $L = 78$  m pour  $V_r = 60$  km/h

Ce dispositif est destiné à des trafics entrants significatifs ; d'autre part, la manoeuvre d'insertion n'y étant pas strictement imposée, il autorise des vitesses ( $V_e$ ) inférieures à celles qui sont prescrites pour l'entrée en insertion.

### 3.3 - Entrée à gauche en insertion



Vr	60	80
Ve	55	70

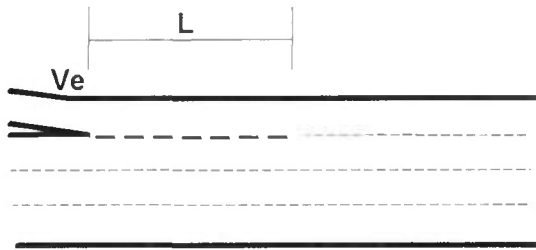
où  $L = 117$  m pour  $V_r = 80$  km/h  
 $L = 78$  m pour  $V_r = 60$  km/h

Sur la voie de gauche, le cumul des trafics de transit et entrant ne doit pas excéder 1700 uvp/hp.

Ce type d'entrée est également à proscrire dans le cas d'une chaussée à trois voies, lorsque le gabarit autorisé est de 3,50 m.

**Dans les ouvrages souterrains, en cas de fortes contraintes techniques et économiques, on portera exceptionnellement à  $125\text{ m} + 2L$  le dimensionnement minimal absolu de ce type d'insertion, sous réserve que le cumul, sur la voie de gauche, des trafics de transit et entrant soit inférieur à 1400 uvp/hp.**

### 3.4 - Entrée à gauche avec création de voie

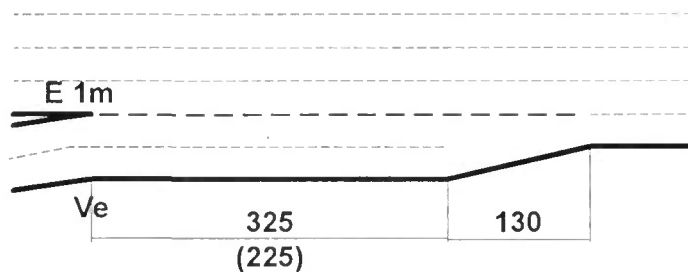


Vr	60	80
Ve	50	60

où L = 117 m pour Vr = 80 km/h  
L = 78 m pour Vr = 60 km/h

Ce dispositif possède les mêmes avantages que l'entrée à droite avec création de voie : il autorise des vitesses (Ve) inférieures à celles qui sont prescrites pour l'entrée en insertion.

### 3.5 - Entrée sur deux voies



Vr	60	80
Ve	50	60

Ce dispositif peut se justifier dès que le trafic entrant est supérieur à 1800 uvp/hp. Il constitue l'origine d'une voie supplémentaire sur la chaussée principale.

Son dimensionnement normal est de 325 m de section à deux voies, suivie d'un biseau de rabattement de 130 m (minimum : 225 m + 130 m).

Pour les voies souterraines, en cas de fortes contraintes techniques et économiques, on portera exceptionnellement ce dimensionnement à 125 m + 130 m sous réserve qu'à l'aval du dispositif, le cumul de trafic de transit et entrant n'excède pas 1400 uvp/voie/hp.

On notera que ce type de dispositif qui engendre des problèmes de sécurité sera sans doute peu fréquent en ouvrage souterrain et que des études spécifiques seraient à mener dans un tel cas.

## 4 - GEOMETRIE D'EXTREMITE DES BRETelles

En première approche et notamment dans l'hypothèse d'un niveau d'exploitation TU3, ce sont les dispositions de type ICTAVRU qui doivent être adoptées :

- obliquité aux points S1m et E1m inférieure au 1/20 ;

- zone de décélération et d'accélération situées sur les bretelles : après le S1m pour les sorties ou avant le E1m pour les entrées ;
- lorsqu'une courbe en plan de la bretelle l'impose, cette zone de transition est matérialisée en partie (ou totalement) par un arc de clothoïde, assurant le basculement du dévers transversal et le confort dynamique ;
- valeur du rayon d'extrémité de la bretelle, choisi en fonction de la nature de celle-ci.

Cependant, dans les ouvrages souterrains, si ces dispositions se révèlent techniquement et économiquement trop lourdes, certaines adaptations pourront être admises dans certaines limites, afin de préserver la fluidité des trafics et la sécurité des usagers. Les adaptations exigent un niveau d'exploitation de type TU1 ou TU2.

#### 4.1 - Configurations minimales (sous réserve des niveaux d'exploitation TU1 ou TU2)

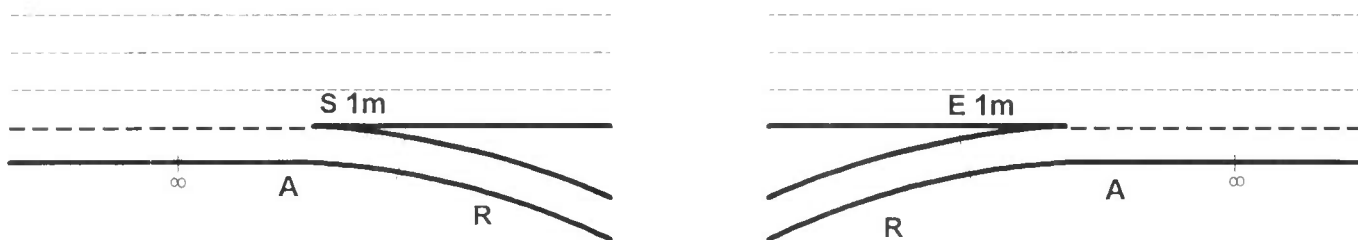
Des contraintes de réalisation de l'ouvrage, au droit des raccordements, peuvent imposer l'implantation des rayons d'extrémité des bretelles, à proximité immédiate du S1m, pour les sorties, ou du E1m pour les entrées.

Dans ce cas, les configurations géométriques minimales en plan seront du type "rayon + clothoïde, tangents au S1m (ou E1m)", ce qui maintient sur la bretelle l'intégralité du rayon en plan.

Ces dispositions imposent que la courbe de rayon R puisse être abordée, puis franchie en toute sécurité à une vitesse  $V(R)$  au moins égale à  $V_s$  (en sortie) ou à  $V_e$  (en entrée) :

$$\text{d'où } V(R) \geq V_s \quad \text{ou} \quad V(R) \geq V_e$$

Les valeurs de  $V_s$  et  $V_e$  étant définies dans les paragraphes précédents.



#### 4.2 - Rayons minimaux en courbe (sous réserve des niveaux d'exploitation TU1 ou TU2)

Dans les courbes, les sollicitations transversales doivent impérativement rester au-dessous des valeurs des seuils de sécurité : ces derniers étant nettement plus élevés que les seuils de confort fixés par l'I.C.T.A.V.R.U.

V(R) (km/h)	Accélération transversale (fraction de g.)							
	ICTAVRU	Seuil de sécurité	R.40	R.60	R.80	R.100	R.120	R.150
40	0.23	0.35	0.29	0.18	0.13	0.10	0.08	0.06
50	0.20	0.30	0.47	0.30	0.22	0.17	0.14	0.11
55	0.19	0.29	0.57	0.37	0.27	0.21	0.17	0.13
60	0.18	0.27	0.68	0.45	0.33	0.26	0.21	0.16
65	0.17	0.25	0.80	0.53	0.39	0.31	0.25	0.20
70	0.16	0.24	0.94	0.62	0.46	0.36	0.30	0.23

(rayons déversés à 2,5 %)

En application, pour les sorties en affectation, liées à la mise en place d'une configuration minimale telle que décrite en 4.1, les premières courbes ne devraient jamais être inférieures aux valeurs suivantes :

- sorties à droite dans TU1 ou TU2

Vr 60 :  $R \geq 60$  m

Vr 80 :  $R \geq 100$  m

- sorties à gauche dans TU1 ou TU2

Vr 60 :  $R \geq 80$  m

Vr 80 :  $R \geq 150$  m

et pour les sorties en biseau ou en pseudo-affectation :

- sorties à droite dans TU1 ou TU2

Vr 60 :  $R \geq 40$  m

Vr 80 :  $R \geq 60$  m

- sorties à gauche dans TU1 ou TU2

Vr 60 :  $R \geq 60$  m

Vr 80 :  $R \geq 100$  m

### 4.3 - Variations de vitesse (sous réserve des niveaux d'exploitation TU1 ou TU2)

En extrémité de bretelle, notamment en sortie, lorsque l'adoption d'une configuration minimale de type "RECTUR" (voir 4.1) ne peut empêcher l'implantation d'un rayon en plan imposant une vitesse V(R) inférieure à la vitesse commandée par le respect des seuils ci-dessus évoqués, il importe de conduire les usagers à des décélérations plus fortes ; cette sollicitation devra être commandée par des équipements spécifiques mais en tout état de cause, pour réduire la gêne produite par ces manoeuvres sur la chaussée principale, la vitesse V(R) ne pourra jamais être abaissée de plus de 10 km/h par rapport aux valeurs déterminées en 4.1.

La décélération sera prise égale à 1,5 m/s<sup>2</sup> et l'accélération (dans le cas d'une entrée) à 1 m/s<sup>2</sup>.

Les longueurs de variation de vitesse seront déterminées à partir des formules suivantes :

$$l.\text{décélération} = \frac{Vr^2 - V(R)^2}{2(1.5 \pm ig)} \quad l.\text{accélération} = \frac{Vr^2 - V(R)^2}{2(1 \pm ig)}$$

où    vr :    vitesse de référence en m/s  
      V(R) : vitesse de parcours du rayon à la limite du seuil de sécurité  
      g :    accélération de la pesanteur : 9.81 m/s<sup>2</sup>  
      i :    déclivité du profil en long en m/m

La vérification des distances de visibilité se fera, en tout point, en considérant la vitesse calculée en ce point.

L'attention du projecteur est attiré sur le fait que l'emploi d'une configuration minimale (paragraphe 4.1), et d'un rayon minimal en courbe correspondant au seuil dit "de sécurité" (paragraphe 4.2), calculé pour une vitesse de sortie réduite de 10 km/h (paragraphe 4.3) est réservé à des situations exceptionnelles, pour lesquelles les difficultés et sujétions sont très fortes.

- **Remarque :**

*Les projets souterrains tels que A86 Ouest et Muse ont été envisagés avec cette approche. Pour A86 Ouest, une maquette en vraie grandeur a été réalisée et a permis d'admettre une sortie à gauche en voie affectée avec un rayon de 60 m ; dans ce cas précis le rayon de sortie était déterminant dans la faisabilité souterraine de l'ouverture latérale (fenêtre) dans le revêtement du tube principal.*

ooOoo



# CHAPITRE 7

## CONCEPTION GEOMETRIQUE DES RAMEAUX DE LIAISON

### A - AVANT PROPOS

Les rameaux de liaison ont pour rôle d'assurer la jonction souterraine entre le tunnel principal et l'air libre.

Les dispositifs de raccordement (d'entrées et de sorties entre rameaux et tube principal) font l'objet du chapitre 6.

Les trémies d'accès ou de sortie du tunnel principal ou des rameaux font l'objet du chapitre 8.

**Le présent texte s'attache à définir des recommandations pour la conception géométrique de la section courante de ces rameaux, qu'ils comportent une seule voie de circulation, ou deux voies de circulation ou qu'ils soient réalisés en tranchée couverte, ou par excavation souterraine.**

Dans certains projets, des dispositifs particuliers pourront être prévus tels que des stations de péage souterraines, des sections de jonction entre rameaux, des inverseurs de niveaux (pour les ouvrages à deux niveaux) ; ceux-ci ne sont pas abordés dans ce document.

## B - CAPACITES PRATIQUES

Il est recommandé d'utiliser la capacité pratique proposée par l'ICTAVRU, à savoir 1200 uvp/h par voie, dans les mêmes conditions que celles indiquées au chapitre 5.A.

- Remarques :

*L'ICTAVRU laisse cependant une certaine marge de manoeuvre au concepteur, en ce sens que pour des trafics attendus allant de 1200 à 1800 uvp/h, celui-ci peut juger de l'opportunité de la mise à deux voies de la bretelle, en regard de la qualité de confort de l'aménagement, des conditions de débouché à l'air libre...*

*Dans le cas des souterrains où la géométrie est sévère car elle doit se plier à de nombreuses contraintes de raccordement en surface, il est préférable de rester, pour les débits de dimensionnement, dans la plage 1200 - 1400 uvp/h par voie.*

## C - TRACE EN PLAN - PROFIL EN LONG

### 1 - NOTION DE VITESSE PRATIQUEE

La géométrie des rameaux de liaison sera étroitement dépendante des contraintes particulières du site. Dans bien des cas (site urbain dense notamment), il est probable que la latitude d'implantation des trémies sera extrêmement réduite, et que la bretelle souterraine devra s'adapter à la configuration des différents réseaux en place.

Il apparaît également, qu'en des points singuliers du rameau (poste de péage, trémie d'accès), la vitesse des usagers sera quasi-imposée, voire totalement imposée.

Le dimensionnement géométrique des rameaux, et la vérification du respect des distances de visibilité ont été basés sur la vitesse pratiquée en circulation libre, conformément à la méthode du diagramme des vitesses défini par le SETRA.

La méthode du diagramme des vitesses correspond à une évaluation de la vitesse réellement pratiquée par l'utilisateur en chacun des points du tracé. Celle-ci va dépendre de la géométrie du tronçon considéré, mais également du parcours déjà effectué par le véhicule.

La vitesse pratiquée se détermine à partir de différentes hypothèses :

- une vitesse initiale en trémie d'entrée depuis la surface ou en sortie à partir du tunnel principal qui dépendra du type de raccordement (chapitre 6.C).
- une valeur maximale (valeur plafond) de 60 km/h et une vitesse minimale (valeur plancher) de 25 km/h pour les rameaux à une voie et de 45 km/h pour les rameaux à deux voies ;

• **Remarque :**

*Dans certains cas, et en particulier des rameaux de grande longueur, avec peu de contraintes géométriques, une valeur maximale de 80 km/h pourra être prise en compte car plus réaliste en regard de la vitesse pratiquée. La conception de ce type de rameaux s'apparente à celle du tunnel principal.*

- en alignement droit, il sera considéré :

- à l'origine, une phase d'accélération de  $1\text{ m/s}^2$ , depuis l'élément géométrique précédent (raccordement circulaire, aires de péage...),
- une phase intermédiaire à 60 km/h où le rayon mini en angle saillant peut être porté à 1100 m et exceptionnellement à 800 m,
- à l'extrémité, une phase de décélération de  $1,5\text{ m/s}^2$  entre la vitesse plafond de 60 km/h, et la vitesse pratiquée dans l'élément géométrique suivant (raccordement circulaire, aire de péage...)

- en courbe de rayon R, on admet que la vitesse pratiquée théorique est égale à 
$$V_R = \frac{0,85V}{1 + \frac{346}{R^{1,5}}}$$

La limite de validité de cette formule a été constatée pour des rayons  $\geq 50\text{ m}$ .

Dans cette formule, V est la vitesse asymptotique à l'air libre, habituellement dépendante de la largeur roulable. Elle est ici prise égale à 92 km/h.

• **Remarques :**

*Les valeurs proposées ici sont extraites de la note d'information n° 10 du SETRA "Vitesses pratiquées et géométrie de la route" d'avril 1986.*

*Le coefficient 0,85 adopté dans les présentes recommandations introduit une réduction sur la vitesse asymptotique pour tenir compte de l'environnement particulier en souterrain.*

*Lors de l'établissement du diagramme des vitesses, il est tout à fait possible que dans une courbe, la vitesse pratiquée reste inférieure à la vitesse pratiquée théorique déterminée selon la formule ci-avant ; il suffit pour cela que la courbe succède à un point singulier (ou une courbe très serrée) qui a fait chuter les vitesses, sans qu'ensuite la phase d'accélération ne parvienne à réaugmenter celles-ci de façon suffisante.*

- en des points singuliers (trémies, poste du péage... ), la vitesse pratiquée peut être imposée, voire annulée par des contraintes extérieures.

L'ensemble de ces éléments permet de réaliser, pour une géométrie donnée, le diagramme complet des vitesses pratiquées.

## **2 - VISIBILITE ET DISTANCE D'ARRET**

La vérification de la visibilité est double :

- en tout point, la distance de visibilité sur obstacle doit être supérieure à la distance d'arrêt définie ci-dessous ;
- à l'approche d'une courbe, la distance de perception de la courbe doit être supérieure à la distance d'adaptation de la vitesse.

### **2.1 - Distance d'arrêt**

Le calcul des distances d'arrêt est conduit selon les mêmes hypothèses que dans le tunnel principal, en remplaçant toutefois la vitesse de référence par la vitesse pratiquée.

La distance d'arrêt est ainsi variable en tout point.

D'autre part, une correction sera apportée pour prendre en compte les courbures. La méthode de correction a été décrite dans le chapitre 6, paragraphe B 1.

On admettra également que dans les sections où l'usager est en phase de décélération (voir diagramme des vitesses), il peut être tenu compte de cette décélération durant les 2 secondes de perception-réaction ; la distance de freinage étant alors déterminée à partir de la vitesse calculée à la fin de cette phase.

### **2.2 - Position de l'oeil et de l'obstacle**

Les positions de l'oeil et de l'obstacle sont définies de façon analogue au tunnel principal (cf. chapitre 5, paragraphe B 1). On admettra cependant que l'obstacle peut être constitué par l'un des deux feux arrières du véhicule arrêté.

### 2.3 - Distance de perception d'une courbe et distance d'adaptation de la vitesse

A l'approche d'une courbe, la distance de perception de la courbe est la distance de visibilité sur le point extérieur de la chaussée, dont la tangente fait un angle de  $3^\circ$  avec l'alignement droit. Par défaut, il pourra être supposé situé à une hauteur de 35 cm, sur la paroi. Ce point est communément appelé "début de courbe".

La distance d'adaptation de la vitesse est égale à la plus grande des valeurs suivantes :

- distance parcourue pendant 3 secondes à la vitesse ( $V_a$ ) définie à l'amont du virage, en fin d'alignement droit en ne considérant qu'une phase d'accélération ;
- distance parcourue pendant 2 secondes à la vitesse  $V_a$  définie ci-dessus augmentée de la distance de décélération de  $V_a$  à la vitesse pratiquée dans la courbe (en considérant une décélération à  $1,5 \text{ m/s}^2$ ).

On vérifie alors que la distance de perception est supérieure à la distance d'adaptation de la vitesse.

## 3 - CONCEPTION ET VERIFICATION DU TRACE EN PLAN

La détermination du tracé en plan est un processus interactif au cours duquel il convient de mettre en cohérence les caractéristiques géométriques, les vitesses pratiquées et de satisfaire aux exigences de visibilité.

Pour ce faire, le tracé en plan sera affiné par phases successives à partir de la construction du diagramme des vitesses selon les indications du paragraphe C.1, puis de la vérification d'un certain nombre de contraintes.

### 3.1 - Contraintes de rayon minimum

Le rayon minimum sera de 30 m pour les rameaux à 1 voie et de 60 m pour les rameaux à 2 voies.

- **Remarque :**

*Cette condition est par ailleurs imposée par les vitesses plancher de 25 km/h et de 45 km/h respectivement, qui impliquent des rayons d'au moins 30 m et 60 m en vertu de la formulation explicitée en C.1.*

Le cas particulier du rayon minimal des configurations en hélice n'est pas abordé ici.

### 3.2 - Contraintes de visibilité

En tout point, la distance de visibilité sur obstacle doit être supérieure à la distance d'arrêt.

A l'approche d'une courbe, la visibilité doit être assurée à une distance supérieure à la distance d'adaptation de la vitesse.

A l'approche d'un point d'échange (jonction ou bifurcation), la visibilité doit être assurée sur la signalisation, ainsi que sur les musoirs (voir paragraphe 5).

### 3.3 - Contraintes d'homogénéité

- Compatibilité de deux rayons successifs :

En présence de deux courbes de rayons successifs  $R_1$  et  $R_2$ , on fera en sorte que :  $\frac{R_2}{R_1} > 0,67$  afin d'éviter de surprendre l'automobiliste.

- Alignement minimum entre courbes :

Entre deux courbes de même sens, la longueur minimale de l'alignement droit est égale à la distance parcourue pendant 3 secondes à la vitesse pratiquée dans la première courbe.

Dans le cas de courbes en "S", un raccordement clothoïde est recommandé. A défaut de clothoïde, l'alignement minimum défini ci-avant pourra être utilisé.

- Raccordements progressifs :

Il est recommandé d'introduire les courbes par des clothoïdes respectant les conditions de confort définies au chapitre 5, paragraphe B 2.4.

- Grands alignements droits :

Afin d'éviter les virages de trop faibles rayons faisant suite à un alignement droit, il est recommandé de faire en sorte que  $R > \frac{L}{4}$  où L est la longueur de l'alignement droit.

## 4 - PROFIL EN LONG

### 4.1 - Pentés et rampes maximales

Dans le cas où les poids lourds ou les autocars sont autorisés dans l'ouvrage (cas du gabarit de 3,50 m), les déclivités maximales pour les rameaux de liaison devront respecter les recommandations de l'ICTAVRU pour les bretelles, à savoir une pente maximale de 8 % et une rampe maximale de 7 %. Cette disposition s'applique donc au cas du gabarit autorisé de 3,50 m.

Dans le cas des gabarits de 2,00 m et de 2,70 m et dans l'hypothèse de très fortes contraintes, une déclivité maximale de 10 % est admise, avec très localement, et sur de courtes longueurs (30 m environ) une possibilité de passer à 12 %, à condition qu'il n'y ait pas cumul en un même point de plusieurs dérogations.

On vérifiera également la coordination entre le tracé en plan et le profil en long de façon à faire en sorte de réduire au maximum les points durs.

### 4.2 - Angles saillants, géométrie et visibilité

Les rayons minimaux dépendront de la vitesse pratiquée au point considéré.

Il convient d'assurer :

- une bonne visibilité sur obstacle. Celui-ci est supposé d'une hauteur de 0,15 m ; l'oeil étant situé à 1 m au-dessus de la chaussée. Cela impose  $R \geq 0,26 d^2$  où  $d$  est la distance d'arrêt (voir chapitre 5, paragraphe B 1.3) ;
- le respect de la condition de confort, limitant l'accélération verticale à  $\frac{g}{40}$ . Cela impose  $R > 4,1 V^2$  où  $V$  est la vitesse pratiquée, exprimée en m/s.

Lorsque l'angle saillant est combiné avec une courbe en plan, il convient d'assurer la visibilité sur le marquage au sol, ce qui peut être obtenu en respectant  $R \geq 0,5 d^2$ . D'autre part, la distance de visibilité sur la courbe en plan doit également être supérieure à la distance d'adaptation de la vitesse en courbe.

### 4.3 - Angles rentrants ; géométrie et visibilité

En angle rentrant, les rayons utilisés devront respecter :

- les conditions de visibilité, dépendant de la vitesse pratiquée et de la hauteur libre maximale de l'ouvrage. Cela impose (voir chapitre 5, paragraphe B 1.4) :

$R \geq 0,08 d^2$	pour $G = 2,00$ m
$R \geq 0,08 d^2$	pour $G = 2,70$ m
$R \geq 0,055 d^2$	pour $G = 3,50$ m

- la condition de confort pour laquelle l'accélération verticale est limitée à  $\frac{g}{20}$ .

Lorsque l'angle rentrant est combiné avec une courbe en plan, la distance de visibilité sur la courbe en plan doit être supérieure à la distance d'adaptation de la vitesse en courbe.

## 5 - CAS PARTICULIER DES ZONES D'ECHANGES

A l'approche des zones d'échanges (jonctions ou divergences de rameaux), il convient d'assurer des conditions de visibilité particulières définies par :

- en jonction par addition de voies ou insertion d'une voie, la distance de visibilité sur les véhicules entrants placés au E1m doit être supérieure à la distance d'arrêt ;
- en déboîtement :
  - la visibilité simultanée sur le musoir et sur les panneaux de signalisation de position sera supérieure à la distance parcourue pendant 5 secondes,
  - la visibilité sur les panneaux de présignalisation sera supérieure à la distance parcourue pendant 3 secondes.

## D - PROFIL EN TRAVERS

Les éléments développés pour le tunnel principal sont en grande partie transposables aux rameaux ; il convient ici d'insister surtout sur les différences ou corrections qui peuvent être envisagées dans le cas particulier des rameaux tout en se reportant au chapitre 5, paragraphe C pour les explications détaillées.



## 1 - LARGEUR DU PROFIL EN TRAVERS

La détermination de la largeur minimale du profil en travers repose sur :

- une largeur minimale entre piédroits à 1 m de hauteur ;
- une largeur de plateforme minimale (mesurée au sol, entre piédroits).

### 1.2 - Largeur minimale entre piédroits à 1 m de hauteur

La largeur minimale à 1 m de hauteur est égale à la somme de :

- l'effet de paroi gauche,
- la largeur des véhicules admis (n fois),
- l'interdistance latérale entre véhicules de front (n - 1 fois),
- l'effet de paroi droit.

n est égal au nombre de voies de circulation.

⇒ La largeur des véhicules admis dépend du gabarit type choisi pour l'ouvrage. On se reportera au paragraphe C 1.1 du chapitre 5 pour toute explication complémentaire.

⇒ L'interdistance latérale entre véhicules de front est liée à la vitesse pratiquée maximale sur l'ensemble du rameau de liaison, ainsi qu'au niveau d'exploitation et de surveillance de l'ouvrage. Elle est définie dans le tableau ci-dessous :

		$V_{85} \leq 60$ km/h	$60 \leq V_{85} \leq 80$ km/h
Niveaux d'explo- tation	TU3	1,00 m	1,10 m
	TU2	0,90 m	1,00 m
	TU1	0,80 m	0,90 m

⇒ Les effets de paroi de droite et de gauche ont été estimés à 1,20 m dans le cas général et peuvent être ramenés à 1,00 m sous réserve que la vitesse pratiquée ne dépasse pas 60 km/h.

## 1.2 - Largeur minimale de la plateforme

- La largeur minimale des voies est fixée à :
  - 2,60 m lorsque le gabarit autorisé est de 2,00 m,
  - 2,80 m lorsque le gabarit autorisé est de 2,70 m,
  - 3,30 m lorsque le gabarit autorisé est de 3,50 m, avec la possibilité, pour les rameaux à 2 voies, de ramener à 6,00 m la largeur totale des deux voies.

Ces valeurs sont établies sur la base d'une vitesse pratiquée maximale de 60 km/h.

- **Exploitation en cas de panne :**

- Dans le cas particulier des rameaux à une seule voie de circulation, il est impératif de prévoir une largeur de chaussée suffisante pour le dépassement en toute sécurité d'un véhicule arrêté ; pratiquement, cette disposition conduit à la mise en place d'une bande d'arrêt d'urgence.  
Cette recommandation est indépendante du niveau d'exploitation de l'ouvrage.
- Dans le cas des rameaux à deux voies et plus, les niveaux d'exploitation TU3 et TU2 impliquent la conservation du nombre de files au droit d'un véhicule arrêté.  
Le calcul de la largeur nécessaire à cette configuration de dépassement se fera sur la base des largeurs de couloirs définies au chapitre 5, paragraphe C 1.3 en admettant toutefois que le dépassement puisse s'opérer au pas.

**Il n'est possible d'admettre une non conservation du nombre de files au droit des véhicules en panne qu'avec un niveau d'exploitation de type TU1, comprenant des garanties d'intervention très rapide des services de dépannage, ainsi qu'une information de la situation de panne auprès des usagers suivants.**

- **Cas des usagers en détresse - Trottoirs :**

En zone urbaine, les contraintes de raccordement en surface impliquent très souvent des rameaux de liaison au tracé sinueux, d'où la nécessité d'une protection physique assurant la sécurité de l'utilisateur en détresse circulant à pied dans le rameau.

**Il est recommandé de mettre en place un trottoir conformément aux prescriptions du Dossier Pilote des Tunnels.**

Dans le cas d'un niveau d'exploitation TU1, la BAU pourra éventuellement être utilisée pour le cheminement des piétons dans l'ouvrage ; des précautions seront à prendre et une étude spécifique à mener s'il s'avère que cette BAU n'est pas continue le long du rameau, mais bascule d'un côté à l'autre du profil en travers.

### **1.3 - Surlargeurs en courbe**

Conformément au Dossier Pilote des Tunnels sur chacune des voies, une surlargeur sera à prendre en compte dans les courbes. Cette surlargeur est égale à :

-  $\frac{8}{R}$  pour le cas des véhicules légers (gabarit 2,00 m) ;

-  $\frac{22,5}{R}$  dans le cas des gabarits intermédiaires admettant fourgons, autocars ou camions.

(gabarits de 2,70 m et 3,50 m)

## **2 - HAUTEUR DU PROFIL EN TRAVERS**

Dans le rameau de liaison, la procédure de détermination de la hauteur libre minimale est identique à celle du tunnel principal (voir chapitre 5, paragraphe C 2).

*ooOoo*

**Page laissée blanche intentionnellement**

## CHAPITRE 8

### CONCEPTION GEOMETRIQUE DES TREMIES D'ACCES ET DE SORTIES

Les trémies d'accès et de sortie vont assurer le raccordement de la voirie de surface et du tunnel principal ou des rameaux de liaison.

En site urbain, l'implantation et la configuration des trémies sont tributaires de nombreuses contraintes extérieures, tout en devant nécessairement permettre aux manoeuvres d'entrée et de sortie de s'effectuer dans de bonnes conditions de sécurité.

#### A - CRITERES GENERAUX DE CONCEPTION

##### 1 - LES SORTIES

D'une manière générale, les trémies de sortie de la voirie souterraine doivent permettre l'insertion des véhicules sortants dans le flux de surface. Les configurations pourront être très diverses eu égard à l'importance des débits relatifs des différentes voies, mais il conviendra, dans tous les cas, de vérifier que la voie d'accueil en surface a une capacité suffisante pour recevoir le trafic en provenance du tunnel.

Afin de faire face aux répercussions éventuelles d'une congestion ou d'une saturation du réseau d'accueil en surface, il est recommandé :

- 1 - de mettre en place des mesures d'exploitation coordonnées entre les exploitants respectifs du réseau souterrain et du réseau de surface ;
- 2 - de concevoir des dispositifs d'insertion suffisamment larges pour permettre le stockage, dans de bonnes conditions, des véhicules sortants en attente d'insertion.

Ces deux aspects sont très directement liés en ce sens que la rapidité de mise en oeuvre des scénarios d'exploitation en cas de congestion déterminera le nombre de véhicules susceptibles d'être bloqués.

Il est possible également qu'à proximité de la sortie du tunnel, le trafic de surface soit régi par des carrefours plans avec des feux tricolores ; le problème des remontées de queue dans la voirie souterraine est à étudier très précisément, d'autant plus que les véhicules sortants pourront être immobilisés dans des rampes à forte déclivité (voir chapitre 7).

## **2 - LES ENTREES**

Les caractéristiques géométriques des entrées doivent permettre d'assurer dans de bonnes conditions de confort et de sécurité les phases successives d'information, de guidage, de tri et d'échappement des véhicules hors gabarit.

Comme indiqué au chapitre 2 paragraphe C, l'ouvrage à gabarit réduit ne doit pas se trouver en continuité directe d'une voie rapide "tous trafics", à moins que ne soit mis en place un dispositif de transition comme un péage par exemple ; de ce fait , les trémies d'accès seront généralement implantées sur des bretelles de sorties des voiries de surface et leur dimensionnement géométrique relèvera de l'ICTAVRU et du Dossier Guide des PSGR de 1971, en ce qui concerne plus particulièrement la détection des véhicules hors gabarit.

Le contrôle des accès, indispensable dans le cas des niveaux d'exploitation TU1 et TU2, s'accompagnera nécessairement d'un filtrage, d'une temporisation, voire d'un arrêt des véhicules entrant ; de telles dispositions impliqueront des réserves suffisantes en capacité afin d'éviter d'éventuelles remontées de queues ou des répercussions sur le trafic de surface.

**Il est à souligner que les contraintes de signalisation, d'information des usagers, de tri des véhicules, constituent une sujétion fondamentale, susceptible tout à fait de remettre en cause la faisabilité d'une entrée voirie du projet ; cette question est par conséquent à considérer très en amont dans les études de conception.**

## B - TREMIES D'EXTREMITÉ DU TUNNEL PRINCIPAL

### 1 - RECOMMANDATIONS GEOMETRIQUES

Les extrémités du tunnel principal diffèrent de celles des rameaux, en ce sens que, bien souvent, elles seront implantées sur l'axe principal de circulation et donc auront à admettre des niveaux de trafic plus élevés.

Leur dimensionnement (tracé en plan, profil en long et profil en travers) relèvera des mêmes critères que ceux dimensionnant le tunnel principal (voir chapitre 5) .

### 2 - CAS PARTICULIER EN SITE DIFFICILE

#### - Profil en long

En section courante du tunnel principal, la déclivité maximale autorisée est de 6 % (voir chapitre 5, paragraphe B 3.1) avec une possibilité de passer à 9 % sur de très courtes distances (inférieures à 30 m).

Cette disposition s'applique également aux extrémités de l'ouvrage avec la possibilité, dans le cas des gabarits de 2,00 m et de 2,70 m, de prolonger la déclivité de 9 % jusqu'à une centaine de mètres afin de réduire, en environnement difficile, l'impact en surface des trémies d'extrémité. Cette dérogation ne peut être autorisée que sous réserve du respect des critères généraux de conception définis en A et à la condition que la déclivité maximale du profil en long ne se cumule pas avec une courbure extrême du tracé.

#### - Profil en travers

Il est recommandé, d'une façon générale, de conserver dans les trémies, la même largeur entre piédroits que dans le tunnel principal.

En cas de fortes contraintes, une réduction éventuelle de cette largeur n'est envisageable que si des solutions acceptables sont proposées pour permettre l'accès des secours dans le tunnel, malgré un blocage possible des voies par les véhicules immobilisés.

## C - TRÉMIES D'EXTREMITÉ DES RAMEAUX DE LIAISON

### 1 - RECOMMANDATIONS GEOMETRIQUES

Différentes configurations de trémies d'accès et de sorties des rameaux de liaison pourront être rencontrées, principalement à cause de l'importance du trafic attendu sur la bretelle considérée, mais également des sujétions pour le raccordement à la voirie existante.

La conception géométrique des trémies d'extrémité des rameaux se devra de respecter les critères généraux énumérés en A et d'être conforme aux recommandations définies pour les rameaux de liaison au chapitre 7 ; il conviendra également de considérer les valeurs définies pour les zones de tête, et en particulier, en entrée en souterrain, les conditions d'adhérence sur sol mouillé.

### 2 - CAS PARTICULIER EN SITE DIFFICILE

#### - Profil en long

En vertu des recommandations définies au chapitre 7, paragraphe C 4.1, la déclivité maximale autorisée est de 8 % dans le cas d'un gabarit autorisé de 3,50 m et de 10 % dans le cas des gabarits de 2,00 m et de 2,70 m.

Il est par ailleurs admis, dans le cas des gabarits de 2,00 m ou de 2,70 m, que la déclivité puisse passer à 12 % sur de très courtes longueurs, à condition qu'il n'y ait pas également, dans ces mêmes tronçons, des valeurs extrêmes de courbure ou d'étréouissance des voies.

Le concepteur veillera à ce que la géométrie ne mette pas en cause les bonnes conditions de visibilité et de lisibilité de la signalisation dans les zones d'entrée ou de sortie pour lesquelles les contrastes d'éclairéement sont susceptibles d'être importants.

#### - Profil en travers

La recherche d'une largeur de trémie réduite peut être souhaitée pour des raisons d'intégration de l'ouvrage dans le site, ou du fait de l'étréouissance des emprises.

De façon analogue aux recommandations faites ci-dessus pour les extrémités du tunnel principal, il est toujours préférable de conserver dans la trémie le même profil en travers qu'en section courante du rameau et de n'envisager une réduction de la largeur roulable, ou de la largeur des trottoirs qu'au cas par cas, en définissant avec les services compétents l'ensemble des mesures compensatoires à mettre en place.



## D - POSTES DE PEAGE

Le dimensionnement des postes de péage n'est pas précisément abordé ici, mais nous pouvons noter que la présence de postes de péage aux extrémités du tube principal, dans les trémies d'extrémités des rameaux, ou dans les rameaux eux mêmes va imposer un certain nombre de contraintes et des vérifications complémentaires seront à mener en terme :

- de capacité du péage afin d'éviter des remontées de queues dans les rameaux,
- de configuration géométrique globale de façon à ce que l'arrêt au péage ne constitue pas un point dangereux de l'itinéraire souterrain du fait d'un défaut de visibilité ou d'une déclivité excessive dans la zone d'approche,
- de sécurité afin que l'évacuation des véhicules en cas d'incident, ou le libre passage des secours en cas de besoin soient tout à fait compatibles avec la géométrie du péage,
- d'exploitation et de gestion du trafic, dans le cas où le péage a un rôle dans le contrôle des accès et est utilisé comme zone tampon pour assurer la fluidité en aval.

*ooOoo*

**Page laissée blanche intentionnellement**

# CHAPITRE 9

## MOYENS D'EXPLOITATION EQUIPEMENTS DE SECURITE

Pour les tunnels classiques, admettant tous les véhicules, la circulaire n° 81-109 du 29/12/1981 définit les principes de base de la sécurité. Les réflexions menées ici, dans le cadre des ouvrages à gabarit réduit, viennent en complément de cette circulaire. Les trois niveaux d'exploitation retenus (TU1, TU2 et TU3) ont été présentés au chapitre 3, en terme d'objectifs à satisfaire. Le présent chapitre se propose d'aborder plus concrètement les moyens à mettre en oeuvre dans ce but.

### A - LES SYSTEMES CORRESPONDANTS AUX TROIS NIVEAUX D'EXPLOITATION

#### 1 - LE NIVEAU TU1

Le niveau TU1 prévoit, à des fins de sécurité, et de fluidité une surveillance totale, permanente et individuelle des véhicules, ainsi que les moyens d'agir ou de réagir instantanément voir préventivement (anticiper le risque de congestion par exemple). Pour ce faire, et dans l'esprit des dispositions retenues par la Commission Interministérielle de Sécurité mise en place pour le bouclage d'A86, le niveau TU1 comprend :

- la couverture complète de l'ouvrage par caméras ;
- le recueil des données, voie par voie, pour connaître en permanence le taux d'occupation, le volume de trafic et les vitesses pratiquées ;
- la détection automatique et instantanée des anomalies, c'est-à-dire les véhicules à l'arrêt ou anormalement lents ;

- la gestion automatique de la signalisation en fonction des données recueillies de manière à assurer la fluidité de la circulation, par recours à la neutralisation de voies, et si nécessaire la limitation des flux, voire la fermeture physique éventuelle de certaines entrées ou sorties.
- le déclenchement immédiat de procédures prédéfinies lorsqu'un incident est détecté ;
- l'enregistrement permanent des vitesses et la détection automatique des infractions.

Les SAV seront espacés d'une distance inférieure à la distance de visibilité d'une ligne de feux avec un maximum de 200 m. Afin d'accroître leur efficacité et augmenter leur crédibilité, des PMV viendront s'intercaler entre les rampes de SAV pour fournir une information sur la nature de l'incident.

La mise au point de l'ensemble de ces systèmes requiert un certain nombre de perfectionnements technologiques, ce qui explique l'effort de recherche à mener et qui est indissociable du choix du niveau TU1. Il convient d'insister tout particulièrement sur le caractère technologiquement très poussé mais rigoureusement impératif des dispositions retenues. Les systèmes de détection et de gestion en temps réel dont il est question ici doivent pouvoir répondre avec une grande fiabilité dans des délais de l'ordre de quelques secondes.

Notons également que le contrôle des flux en pleine voie, ainsi que les dispositifs automatiques de coupure des voies, font l'objet d'études expérimentales en région parisienne, mais qu'aucun système n'apparaît à ce jour totalement satisfaisant ; dans les ouvrages concédés, le poste de péage semble pouvoir donner satisfaction, en constituant une zone tampon en cas de nécessité.

La centralisation des données et des moyens d'action rend indispensable un CIGT (centre d'ingénierie et de gestion du trafic) dédié en activité 24 h sur 24, ainsi que la présence permanente d'équipes de secours prêtes à intervenir.

En terme d'entretien, le niveau TU1 est associé impérativement à un nettoyage soigné et fréquent de la chaussée, ainsi qu'à un taux très fort de disponibilité des équipements d'exploitation (haut niveau de maintenance).

## **2 - LE NIVEAU TU2**

Le niveau TU2 prévoit une surveillance permanente du trafic, mais à partir d'observations macroscopiques et avec des délais de réponse moins exigeants.

Le contrôle d'accès doit permettre d'éviter la formation de toute congestion dans le tunnel due à des trafics trop élevés.

Le niveau TU2 comprendra :

- la couverture complète de l'ouvrage par caméras ;

- le recueil de données nécessaire pour visualiser l'état du trafic. Dans la mesure où il s'agit de capteurs à boucles (ou de capteurs aux mêmes finalités), il sera complété des fonctions DAI/DAB. L'espacement minimum entre les sections de mesure est de 500 m ;
- la gestion de la signalisation sur la base des données recueillies, devant permettre en particulier la neutralisation des voies (à partir de SAV disposés de manière analogue à TUI, avec PMV intercalés), et la limitation des accès (à partir de signaux de contrôle de flot, et de répartition des durées de rouge et d'orange dans les plans de feux) ;
- le déclenchement immédiat de procédures prédéfinies lorsqu'un incident est détecté ou signalé.

L'ensemble des informations et des moyens seront centralisés dans un CIGT dédié fonctionnant 24 h sur 24. L'importance de ce CIGT variera avec celle de l'ouvrage, certaines fonctions pouvant être déportées sur un CIGT de réseau.

### **3 - LE NIVEAU TU3**

Le niveau TU3 est le niveau de base minimal à respecter, pour l'ensemble des tunnels urbains (confer chap 3-B).

La surveillance pourra être limitée à certaines zones de contraintes (accès, sortie, échangeurs, caractéristiques géométriques particulières...).

L'exploitation du recueil de données est permanente, mais assortie de délais de réaction plus longs que ceux assignés aux niveaux TUI et TU2, notamment de nuit (hors heures de pointes).

On se rapportera pour ce qui concerne les indicateurs et les organisations, au guide SDER "premiers éléments de réflexions pour l'organisation des services" SETRA MARS 93.

**Le niveau TU 3 comprend :**

- Une surveillance par caméras obligatoire pour les points singuliers et si possible une surveillance totale si les surcoûts induits sont faibles.
- Un recueil de données, en cohérence avec le système d'exploitation du réseau de surface développé dans le cadre d'un projet urbain de niveau IA ou IB du SDER. Par souci de cohérence et si cela est compatible, on aura intérêt à choisir des stations du type SIREDO conçues pour le recueil des données sur le réseau des RN avec les traitements, en temps réel, associés.
- Une gestion sommaire du trafic s'appuyant d'une part à l'entrée sur un dispositif de coupure (feu rouge clignotant R24 + éventuellement barrière de limitation physique des accès, par exemple type SNCF) interdisant l'accès en cas de nécessité et d'autre part sur des rampes de SAV dont l'interdistance maximale peut être portée à 400 m.
- Le Centre d'Ingénierie et de Gestion du Trafic (CIGT) ne sera en général pas dédié au tunnel, sauf si l'importance le justifie.

Les possibilités de renvoi des informations sont largement utilisées.

Une description plus détaillée des équipements d'exploitation est jointe en annexe 2.

## B - EQUIPEMENTS DE SECURITE

Le document de référence est la circulaire n° 81/109 du 29/12/1981 sur la sécurité dans les tunnels routiers, qui rassemble les prescriptions de base.

Cependant, compte-tenu de l'importance prévisible des trafics sur ces ouvrages urbains et outre les éléments exposés en A, il est recommandé :

- de ramener à 150 m l'interdistance entre niches successives, dans le cas des ouvrages ne comportant pas de BAU ; des boutons poussoirs avec confirmation de l'enregistrement de l'appel ou dialogue direct seront mis en place avec un intervalle maximal de 50 m ;
- de traiter de manière très soignée l'ensemble de l'itinéraire de manière à donner la meilleure lisibilité possible. Dans les zones d'échange, ce traitement devra être renforcé ; pour cela différents moyens sont envisageables :
  - \* donner à la voie sortante une couleur de chaussée différente de celle de la chaussée principale,
  - \* modifier la couleur de la lumière dispensée par les luminaires disposés du côté de la voie de sortie,
  - \* positionner la rampe d'éclairage de façon à ce qu'elle décrive la courbure et la divergence des voies,
- de limiter les risques de chocs en équipant les musoirs d'atténuateurs de chocs homologués et réglementaires. Le système employé devra éviter à tout prix la projection d'éléments sur la chaussée et son remplacement en cas de choc devra être immédiat.

Rappelons également, que compte-tenu de la limitation en gabarit qui peut rendre inutilisables les moyens usuels d'intervention et de secours, des études spécifiques sont à mener, dans chaque cas, sur les différents scénarios ou plans d'intervention, en y associant très précisément les équipements à mettre en oeuvre.

## C - REMARQUES SUR LA SIGNALISATION ET SPECIFICITES DES OUVRAGES A GABARIT REDUIT

La signalisation en tunnel est un sujet qui dépasse le cadre des ouvrages à gabarit réduit. Pour ceux-ci, certains points spécifiques peuvent être énoncés :

- a) à l'entrée de l'ouvrage, le tri des véhicules et le recyclage des véhicules hors gabarit doivent être fait en toute sécurité. Cela implique une signalisation claire et parfaitement visible à mettre en place dans une zone déjà fortement chargée en panneaux aux fonctions multiples (de direction et de police). Lorsque l'accès se fait depuis une voie rapide, les problèmes sont aggravés du fait des vitesses pratiquées élevées ;
- b) en souterrain, les panneaux seront disposés à très faible hauteur, surtout dans le cas des gabarits de 2,00 m et de 2,70 m. Par suite, ils pourront être éventuellement masqués par les véhicules les plus hauts ; d'où la nécessité de répéter suffisamment fréquemment les messages en diminuant l'interdistance entre panneaux successifs ;
- c) à l'approche d'un échangeur souterrain, l'implantation de la signalisation directionnelle doit être conforme à la réglementation en vigueur (circulaire interministérielle du 22 mars 1982) ; la conception géométrique des raccordements (chapitre 6) a été faite en tenant compte des distances nécessaires au changement de files.

Il n'en demeure pas moins que les espaces disponibles pour la signalisation directionnelle peuvent impliquer de réduire le nombre de mentions. Les difficultés rencontrées pour assurer le respect des principes fondamentaux d'homogénéité et de continuité entre la signalisation sur le réseau de surface et celle dans les tunnels à gabarit réduit pourraient être en partie résolues par la création d'un statut propre aux tunnels à gabarit réduit ; l'utilisation d'un tel statut serait, bien entendu, exclusivement réservée à ce type d'ouvrages et conduirait à placer une signalisation spécifique, dans sa forme et dans son contenu.

Par ailleurs, ce statut pourrait recouvrir aussi un certain nombre de prescriptions telles que gabarit autorisé, vitesse limite, interdictions, etc... et permettrait de ce fait d'éviter une surabondance de panneaux en entrée de trémie.

*ooOoo*

**Page laissée blanche intentionnellement**



# CHAPITRE 10

## EQUIPEMENTS GENERAUX

Les équipements dits "généraux" des tunnels routiers peuvent être regroupés en plusieurs familles :

- l'éclairage (au sens large du traitement de l'ambiance lumineuse),
- l'alimentation électrique,
- la ventilation et le désenfumage,
- les réseaux d'eau,
- la gestion technique centralisée,
- les équipements divers.

Le présent rapport ne rappelle pas l'ensemble des recommandations applicables aux équipements généraux des tunnels urbains, mais se limite à celles qui touchent aux aspects spécifiques des tunnels à gabarit réduit.

### A - ECLAIRAGE - TRAITEMENT DE L'AMBIANCE LUMINEUSE

Le travail s'est appuyé sur les recommandations de l'Association Française de l'Eclairage, le guide de l'éclairage des tunnels routiers et le Dossier Pilote des tunnels routiers. A noter que les prescriptions relatives aux PSGR ne sont d'aucune utilité car extrêmement sommaires dans le domaine de l'éclairage.

## 1 - OBJECTIFS GENERAUX FIXES

Trois objectifs peuvent être fixés à l'éclairage et au traitement d'ambiance :

- assurer aux usagers des conditions de visibilité leur permettant de circuler en toute sécurité. C'est un objectif qui est évidemment valable pour l'ensemble des tunnels routiers ;
- contribuer à la réalisation d'une ambiance intérieure rassurante et confortable pour les usagers. Cet objectif est généralement bien marqué pour les tunnels urbains, mais il prend un relief d'autant plus important que les caractéristiques géométriques du tunnel sont réduites et peuvent induire un effet psychologique de confinement ;
- constituer un moyen d'animation du tunnel et de repérage des zones ou points singuliers.

## 2 - CRITERES DE DIMENSIONNEMENT ET DE CONCEPTION

### 2.1 - Dimensionnement

A priori, il n'y avait pas lieu de dégager une spécificité des tunnels à caractéristiques réduites en matière de niveau de luminance ou d'éclairement à assurer sur la chaussée. Le niveau de luminance de 8 à 10 cd/m<sup>2</sup>, recommandé pour les tunnels urbains, a été jugé applicable dans la mesure où il intègre déjà la notion de trafic dense, de bon niveau de confort, etc... Pour un revêtement bitumineux normal (moyennement clair) c'est généralement un niveau d'éclairement sur la chaussée de 150 lux qui est donc applicable. Il est toutefois apparu judicieux de proposer pour les ouvrages de gabarit autorisé égal à 2,00 m ou à 2,70 m le relèvement de 10 à 20 lux du niveau minimal à assurer par l'éclairage de sécurité en cas de panne de l'alimentation électrique normale. Cette mesure n'est d'ailleurs pas particulièrement contraignante car, dans les tunnels à faible hauteur sous plafond, il n'est généralement pas possible de réduire le niveau d'éclairement sur la chaussée sans augmenter de manière rédhibitoire l'interdistance entre les luminaires et dégrader de ce fait l'uniformité.

L'attention doit également être attirée, notamment pour les ouvrages de gabarit limité à 2,00 m et à 2,70 m sur le dimensionnement de l'éclairage de renforcement des entrées lorsque celles-ci se font par une trémie d'accès, ce qui constitue le cas général : en raison de la faible profondeur et de la faible longueur de cette trémie, l'utilisateur reste soumis à un environnement qui peut être très lumineux jusqu'à une faible distance de la couverture ; il s'agit donc d'une configuration défavorable à cet égard, qui doit être prise en compte dans le dimensionnement des renforcements.

Par rapport aux tunnels urbains à gabarit en hauteur normal, c'est surtout par la nécessité d'éclairer les piédroits que se singularisent les tunnels à faible gabarit. Cette nécessité est apparue impérieuse au moins pour les ouvrages à gabarit autorisé de 2,00 m et de 2,70 m.

En première approximation, le niveau minimal d'éclairage sur le plan vertical, fixé en valeur moyenne à 40 % du niveau mesuré sur la chaussée jusqu'à 1 m de hauteur pour les tunnels normaux, devrait être imposé sur toute la hauteur des piédroits pour ces deux types d'ouvrages. Pour les ouvrages de gabarit autorisé égal à 3,50 m, la règle générale devrait pouvoir être admise.

Enfin, l'éclairage éventuel du plafond doit essentiellement être abordé sous l'aspect du traitement d'ambiance (voir § 3).

## 2.2 - Critères de qualité de l'éclairage

Beaucoup plus que son dimensionnement, la qualité de l'éclairage constitue un facteur essentiel pour les tunnels à caractéristiques réduites. Les critères à prendre en considération peuvent être regroupés comme suit.

- **Uniformité des luminances et éclairagements sur la chaussée :**

S'il n'y a pas lieu de fixer des valeurs d'uniformité spécifiques, il faut surtout attirer l'attention du projecteur sur la difficulté de les respecter en raison de la faible hauteur sous luminaires. Comme indiqué précédemment, il est nécessaire, pour ce faire, d'utiliser des sources de faible puissance en réduisant l'intervalle entre luminaires.

- **Non éblouissement des usagers :**

Dans les tunnels routiers, ce critère s'applique particulièrement aux renforcements d'extrémité puisque les niveaux d'éclairage élevés nécessaires ne peuvent être réalisés qu'avec des sources relativement puissantes. Pour limiter l'éblouissement des usagers, il convient de "défiler" les sources à l'aide de grilles paralumes.

Cette exigence est d'autant plus forte que les appareils sont situés à faible hauteur. On notera, à ce titre, que l'usage d'appareils de type "contreflux" est déconseillé dans les tunnels à faible gabarit.

Dans le cas des tunnels de gabarit autorisé de 2,00 m ou de 2,70 m, ce critère s'applique aussi à l'éclairage de section courante. L'éblouissement se manifeste alors sous deux aspects :

- sous sa forme traditionnelle par une intensité lumineuse excessive ;
- par la brusque variation de flux projeté sur le pare-brise lorsque les véhicules passent à proximité des luminaires. Cet effet est évidemment particulièrement marqué pour des files lumineuses sous plafond, à faible hauteur par rapport aux véhicules. Il est comparable à celui dont se plaignent certains chauffeurs de poids lourds dans des tunnels à gabarit normal. Il a été observé par les membres du sous-groupe qu'il pouvait présenter un caractère rédhibitoire lorsque les luminaires sont disposés à faible hauteur dans le creux de poutres transversales.

Le recours consiste à utiliser des appareils à faible luminance et, lorsque la chaussée n'excède pas la largeur de deux voies, à les disposer latéralement plutôt que sous plafond.

- Effet "Flicker" :

L'effet de la variation cyclique des luminaires, sous la forme du papillotement mentionné ci-avant, peut se manifester par une somnolence de l'utilisateur lorsque le phénomène se produit dans une gamme de fréquence critique. Il s'agit de l'effet "Flicker", souvent évoqué en matière d'éclairage des tunnels longs, et qui atteint son maximum pour 4 Hz. En fait, dans les tunnels routiers à gabarit normal, l'utilisateur n'est que peu soumis à l'impact des luminaires eux-mêmes, tandis que les luminances perçues dans le champ visuel n'accusent que de faibles variations. C'est la raison pour laquelle on n'attache pas beaucoup d'importance à cet effet "Flicker". Dans le cas des tunnels de faible hauteur sous plafond, au contraire, cet impact est beaucoup plus marqué et il convient d'éviter les interdistances longitudinales entre luminaires correspondant à la fréquence critique pour la vitesse moyenne prévisible des usagers dès que la longueur de la couverture dépasse plusieurs centaines de mètres pour le gabarit de 2,00 m à 1 km pour le gabarit de 3,50 m.

- Rendu de couleur des sources :

Ce point est développé ci-dessous.

### 3 - TRAITEMENT DE L'AMBIANCE INTERIEURE DU TUNNEL

Indépendamment des exigences de qualité de l'éclairage artificiel indiquées précédemment, plusieurs facteurs peuvent concourir à la réalisation d'une bonne ambiance intérieure :

- prévoir un traitement de surface des piédroits : revêtement en faïence ou céramique, peinture, panneaux en tôle émaillée, etc... de couleur relativement claire et que l'on doit évidemment nettoyer ;
- prévoir un traitement de surface du plafond : ainsi que cela a pu être observé, le fait de disposer d'un plafond peint en clair, et surtout lisse, confère aux souterrains de faible hauteur une sensation de "volume" alors que les plafonds sombres conduisent à un effet "d'écrasement". Bien entendu, il importe que l'on puisse disposer de moyens de nettoyage appropriés (engins spéciaux pour les tunnels de faible hauteur) ;
- utiliser des sources d'éclairage permettant d'assurer un bon rendu des couleurs. L'usage de lampes à vapeur de sodium basse pression, dont le monochromatisme est bien connu, est évidemment à proscrire. De même, à un moindre degré, faut-il éviter l'emploi de tubes fluorescents de type "blanc industrie" dont la lumière est trop crue ?
- soigner l'esthétique des files lumineuses, vues de l'utilisateur de plus près que dans les tunnels à gabarit normal. La mise en place de bardages métalliques assurant une continuité entre les appareils est recommandée à ce titre.

## 4 - ANIMATION DU TUNNEL - REPERAGE DES POINTS SINGULIERS

Une variation judicieuse de la couleur ou de la nature des revêtements de parois du tunnel (piédroits, plafond, voire même revêtement de chaussée) de même que de la couleur des sources lumineuses peut être mise à profit pour créer une animation du souterrain dans le but de rompre la monotonie, d'une part, et de souligner la présence de points singuliers, d'autre part. Il est ainsi possible, dans les ouvrages longs :

- de "personnaliser" chaque tronçon de tunnel délimité par les échangeurs par une couleur spécifique ;
- de mettre en relief la présence des bretelles (notamment de sortie) afin qu'elles soient mieux perçues par les usagers ; les variations de couleur peuvent être renforcées par la rupture de la file lumineuse du piédroit concerné par la bretelle ; le revêtement de chaussée de la bretelle peut être à granulométrie différente donnant ainsi un effet sonore, etc... ;
- de souligner la présence des niches de sécurité ou des issues de secours en les éclairant par des sources de couleur différente de celle de l'éclairage courant ; on peut également annoncer ces ouvrages par des motifs réalisés sur les piédroits.

- **Remarque :**

*Il est vivement déconseillé de marquer les piédroits ou le plafond par des "hachures" transversales répétées en section courante ; en revanche, cette disposition peut être utilisée pour souligner un point particulier.*

## B - ALIMENTATION ELECTRIQUE

Les tunnels à gabarit réduit ne se singularisent pas des autres tunnels urbains dans ce domaine. Il faut toutefois insister sur le caractère impérieux de la redondance des sources d'alimentation et des matériels utilisés (transformateurs, interconnexion des tableaux de basse tension, etc... ).

## C - VENTILATION - DESENFUMAGE

Le travail s'est appuyé sur les rapports de l'Association Internationale Permanente des Congrès de la Route (AIPCR), le Dossier Pilote des Tunnels routiers publié par le CETU et sur la circulaire interministérielle (Intérieur, Transports) n° 81-109 du 29 décembre 1981 relative à la sécurité dans les tunnels routiers.

Les recommandations et directives contenues dans ces documents s'appliquent, de façon générale, à tous les types de tunnels, quel que soit leur gabarit. Il faut cependant souligner que, jusqu'à ce jour, les tunnels à gabarit réduit réalisés sont des tunnels de longueur modeste ne nécessitant que très rarement une installation de ventilation mécanique.

Les projets de ces types de tunnels font l'objet de discussions au sein de commissions de sécurité pour ce qui concerne les équipements d'exploitation et de sécurité et tout particulièrement en matière de ventilation et de désenfumage.

### 1 - OBJECTIFS GENERAUX FIXES

Comme pour l'ensemble des tunnels routiers, deux objectifs peuvent être fixés à la ventilation et au désenfumage :

- assurer aux usagers des conditions de confort (bonne visibilité par dilution des fumées émises par les véhicules diesels, réduction des odeurs) et de sécurité (dilution des polluants contenus dans les gaz d'échappement des véhicules) satisfaisantes en situation normale d'exploitation ;
- assurer la sécurité des usagers et l'accessibilité des services de secours en cas d'incendie dans l'ouvrage en permettant la maîtrise des mouvements de fumées et l'apport d'air frais.

### 2 - SYSTEMES DE VENTILATION

Les deux grandes familles de systèmes de ventilation applicables aux tunnels à gabarit normal peuvent être mises en oeuvre dans les tunnels à gabarit réduit : système longitudinal par accélérateurs et système transversal par apport continu d'air frais et reprise plus ou moins ponctuelle de l'air vicié.

Les longueurs d'application des différents systèmes de ventilation ne se différencient pas fondamentalement de celles retenues pour les autres tunnels.

Il faut toutefois souligner que la faible section des tunnels à gabarit autorisé de 2,00 m ou de 2,70 m ne permet généralement pas de faire transiter des débits d'air importants longitudinalement et peut, de ce fait, limiter l'application du système longitudinal ; de même, elle entraîne la nécessité de réduire les débits non repris par extraction mécanique en système transversal.

Indépendamment du système de ventilation, des dispositions particulières sont par ailleurs prévues pour ce qui est des accès des services de secours.

## **3 - CRITERES DE DIMENSIONNEMENT**

### **3.1 - Dimensionnement des débits d'air frais**

Les tunnels à gabarit réduit ne présentent pas de spécificité dans ce domaine si ce n'est l'absence de poids lourds qui minimise le problème des dégagements de fumée par les moteurs diesels. C'est donc le critère de la concentration de l'air en CO (le cas échéant en oxydes d'azote) qui est à prendre en considération pour le dimensionnement des débits d'air frais.

Comme pour l'ensemble des tunnels, une distinction très forte doit être faite entre :

- les tunnels ne comportant pas de systèmes de contrôle d'accès, ni de péage (réseau non concédé). Ils correspondent aux ouvrages exploités en niveau TU3 ;
- les tunnels exploités en niveaux TU1 ou TU2, généralement rencontrés sur le réseau concédé, qui font l'objet d'un contrôle d'accès et disposent de moyens sophistiqués permettant de limiter aux cas exceptionnels les situations de blocage ou de congestion du trafic. Ils bénéficient également d'une présence sur place de personnels d'exploitation qualifiés.

A noter que dans cette dernière catégorie, certains ouvrages préférentiellement empruntés par des usagers utilisant leur véhicule à des fins professionnelles peuvent bénéficier d'une réduction d'environ 5 % des émissions en polluants, car il s'agit, pour la plupart, de véhicules récents et bien entretenus.

### **3.2 - Dimensionnement des débits d'extraction pour le mode normal d'exploitation**

Les débits d'extraction en mode normal d'exploitation sont à dimensionner sur la base des données fournies par les différents documents mentionnés ci-avant.

De façon générale, pour les tunnels de gabarit autorisé égal à 2,00 m ou à 2,70 m, il y a lieu de tenir compte de la faible section des tubes et par conséquent de l'obstruction apportée par les véhicules dans le calcul des vitesses longitudinales de l'air (vitesse limite admissible de 10 m/s en circulation unidirectionnelle).

Les cas de circulation bidirectionnelle, à éviter, ou exceptionnellement admis dans des situations d'exploitation dégradée (travaux sur un tube par exemple) devront faire l'objet d'une étude particulière.

En milieu urbain, les quantités de polluants rejetées par les trémies d'accès ou de sortie seront éventuellement limitées pour respecter les seuils de pollution admissibles dans l'environnement immédiat de ces ouvrages. Des extractions ponctuelles seront alors réalisées à proximité des têtes de sortie et l'air refoulé dans des zones moins exposées ou en altitude par l'intermédiaire de cheminées.

En pratique, les débits d'extraction sont souvent conditionnés par les besoins en désenfumage évoqués ci-après.

## 4 - PRINCIPES ET DIMENSIONNEMENT DU DESENFUMAGE

### 4.1 - Principes à respecter

Hormis les tunnels de gabarit autorisé de 3,50 m qui sont assimilables aux tunnels à gabarit normal à l'égard du désenfumage, les tunnels de gabarit 2,00 m et 2,70 m **sont fondamentalement caractérisés par l'impossibilité de compter sur le phénomène de stratification des fumées, en cas d'incendie. Les deux seules possibilités de désenfumage sont donc :**

- soit de pousser les fumées dans un sens ou dans l'autre du tunnel. Cette possibilité est celle généralement offerte par les tubes unidirectionnels sans risque majeur de congestion du trafic ; les fumées sont poussées vers l'aval dans la zone libérée par les véhicules ;
- soit par insufflation d'air à l'avant de l'incendie et extraction à l'arrière (système transversal), soit au moyen d'accélérateurs (système longitudinal). Suivant les modalités d'accès des services d'intervention, les fumées doivent cependant être extraites au-delà d'une distance à définir au cas par cas (400 m par exemple), afin de limiter la longueur de la zone enfumée ;
- soit d'extraire les fumées le plus près possible du foyer au moyen de grosses bouches de désenfumage. L'extraction des fumées doit pouvoir être réalisée en totalité sur une distance maximale d'environ 200 m.

Ce dernier mode de désenfumage est à retenir dans les cas, exceptionnels, de tunnels bidirectionnels (voir 3.2 ci-dessus).

Dans les tunnels de longueur supérieure à 800 m environ, la ventilation utilisée en mode de désenfumage doit pouvoir être modulée en respectant le principe de cantonnement également applicable aux tunnels à gabarit normal.

Dans les ouvrages comportant des échangeurs, il importe de pouvoir isoler, en cas d'incendie, le tunnel principal des bretelles d'accès et de sortie. Dans les tunnels de gabarit de 2,00 m ou de 2,70 m, l'installation de systèmes complémentaires, du type rideau d'air, peut être envisagée pour réaliser ce cloisonnement.

Enfin, lorsque l'ouvrage comporte des péages souterrains, le désenfumage des zones concernées doit faire aussi l'objet de dispositions particulières.

### 4.2 - Dimensionnement du désenfumage

La première base du dimensionnement du désenfumage réside dans le potentiel de l'incendie à prendre en compte.

Les débits d'air à mettre en oeuvre sont ensuite directement liés au mode de désenfumage :

- pour pousser les fumées, c'est un critère de vitesse longitudinale minimale du courant d'air à assurer pour que les fumées ne "remontent" pas à contre-courant. Cette vitesse dépend évidemment du potentiel calorifique du foyer. Le débit d'air à assurer correspond au produit de cette vitesse par la section réduite du tunnel ;



- pour extraire les fumées, les débits à prendre en compte sont respectivement :

- le débit de fumée dégagée par l'incendie type lorsque les bouches de désenfumage ont vocation à extraire ces fumées au voisinage de l'incendie,
- le débit d'air transitant longitudinalement dans le tunnel lorsqu'il s'agit de limiter la longueur de la zone enfumée.

Les discussions actuellement au cours au sein des commissions de sécurité semblent conduire à retenir pour les ouvrages de gabarit 2,00 m ou de 2,70 m, des puissances de feu d'environ 7 à 8 MW correspondant à l'incendie simultané de 3 VL, soit un débit de fumées de l'ordre de 30 m<sup>3</sup>/s (débit mesuré à la température des fumées). Il est aussi considéré pour les tunnels de ces deux types que la vitesse longitudinale du courant d'air à assurer à l'amont de l'incendie pour éviter le reflux des fumées doit être de 2,5 m/s (au lieu de 4 m/s pour les tunnels à gabarit normal accessibles aux poids lourds, hors transport de matières dangereuses).

Pour les tunnels de gabarit de 3,50 m, c'est une valeur intermédiaire, de l'ordre de 3 à 3,5 m/s qui peut être retenue, sachant que l'accès ne sera pas possible aux gros poids lourds.

## 5 - INSTALLATIONS DE VENTILATION

Elles ne diffèrent que très légèrement de celles rencontrées dans les tunnels à gabarit normal.

⇒ En système de ventilation longitudinal, des précautions doivent être prises pour limiter l'impact des jets d'air soufflés à grande vitesse par les accélérateurs disposés à faible hauteur sous plafond. Il convient de limiter la puissance des machines et de ménager des niches en plafond ou latérales présentant des pans très inclinés.

⇒ En système transversal, les points caractéristiques sont essentiellement :

- la faible section transversale généralement disponible pour le transit des galeries de ventilation. Cela implique l'implantation de stations de ventilation relativement rapprochées ;
- l'intérêt de disposer de grosses bouches de désenfumage à ouverture télécommandée. En mode de désenfumage, les bouches non utilisées sont fermées afin de concentrer l'extraction des fumées dans celles laissées ouvertes. Dans les tunnels construits au tunnelier et comportant deux niveaux de circulation, compte-tenu des difficultés d'exécution et de l'absence de stratification des fumées, il est admis que les bouches et trappes d'extraction ne puissent se situer en plafond pour le tube de circulation inférieur. Toutefois, elles doivent se situer latéralement en piédroit et non sous chaussée ;
- les caractéristiques particulières des groupes motoventilateurs de désenfumage qui restent à préciser dans la mesure où la tenue au feu de 2 heures à 200° C retenue pour les tunnels accessibles aux PL est peut être excessive pour les tunnels à gabarit réduit, bien que la faible hauteur sous plafond (proximité des trappes et du foyer) et la concentration de l'extraction peuvent, a contrario, avoir un effet défavorable. Ce point mérite une étude spécifique.

Dans tous les cas, les risques de panne d'un ventilateur doivent être considérés et des fonctionnements de secours, dégradés ou non, doivent être prévus (par exemple : dédoublement des ventilateurs ou intercommunication télécommandée entre deux circuits contigus, etc...).

A noter également les possibilités de mise en oeuvre d'installations de détection automatique d'incendie.

## D - AUTRES EQUIPEMENTS

Leur mise en oeuvre dans les tunnels à caractéristiques réduites n'appelle pas de remarque fondamentale. On notera simplement :

- les contraintes de place qu'il convient de prendre en compte pour l'installation des poteaux incendie en tunnel, notamment pour les ouvrages réalisés au tunnelier ;
- la nécessité de réserver les emplacements nécessaires au transit de tous les réseaux électriques (courants forts et courants faibles) ;
- la nécessité, plus accentuée encore que dans les tunnels à gabarit normal, de mettre en oeuvre des moyens de gestion technique centralisée fiables et redondants de manière à permettre aux services d'exploitation d'être informés rapidement de tout événement anormal et de pouvoir réagir au plus tôt.

*ooOoo*

## ANNEXE 1

**Exemple de dimensionnement du profil en travers dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel avec pénétrations verticales**

Les tableaux qui suivent proposent, à titre d'exemple, dans le cas d'une circulation unidirectionnelle à deux puis trois voies, le dimensionnement minimal en largeur pour chacun des gabarits standards, et pour chaque niveau d'exploitation.

Les piédroits ont été considérés verticaux ; il faut remarquer que toute variation dans la forme des piédroits a son importance dans l'estimation de la largeur minimale à 1 m de hauteur.

Le procédé de conception de ces profils a été le suivant.

■ La définition des conditions minimales à respecter à savoir :

⇒ la largeur minimale à 1 m de hauteur qui dépend de la vitesse de référence et du niveau d'exploitation. Tout profil en travers devra vérifier cette condition ;

⇒ la largeur nécessaire au dépassement d'un véhicule en panne avec conservation du nombre de files. Cette largeur doit être dégagée pour les niveaux d'exploitation TU3 et TU2.

■ En ce qui concerne le niveau TU3, la mise en place d'une BAU, la largeur minimale de chacune des voies, la largeur réglementaire du trottoir, et l'effet de paroi gauche suffisent à déterminer totalement le profil en travers ; celui-ci vérifie alors sans difficulté les deux conditions ci-dessus.

Nous remarquerons que l'accotement gauche a une largeur de 70 cm au minimum, pour permettre au véhicule sur la voie de gauche de demeurer à 1,20 m de la paroi.

■ En ce qui concerne le niveau TU2, la largeur minimale des voies, la largeur minimale des bandes dérasées, la condition de dépassement du véhicule arrêté ainsi que l'effet de paroi gauche déterminent le profil en travers.

L'option d'un trottoir franchissable apparaît très satisfaisante.

Une marge de 30 cm entre paroi et véhicule arrêté a été prise en compte.

La condition de largeur minimale à 1 m de hauteur est bien sûr respectée.

■ En ce qui concerne le niveau TU1, la largeur minimale des voies, la largeur minimale des bandes dérasées et la largeur à 1 m de hauteur déterminent le profil en travers.

Le profil en travers obtenu ne permet plus le dépassement avec conservation du nombre de files.

Le raisonnement est identique pour chacun des gabarits types ; les largeurs maximales des véhicules admis et également, par conséquent, les largeurs des couloirs de circulation pour dépassement des véhicules arrêtés vont varier. Il en est de même pour les largeurs minimales des voies de circulation.

# EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 2.00 M DEUX VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

Vr=60km/h

Vr=80km/h

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	Vr=60km/h					Vr=80km/h						
		EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERDISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI	EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERDISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI		
		TU3	1.20	1.80	1.00 (7.00)	1.80	1.20	TU3	1.20	1.80	1.10 (7.10)	1.80	1.20
		TU2	1.20	1.80	0.90 (6.90)	1.80	1.20	TU2	1.20	1.80	1.00 (7.00)	1.80	1.20
		TU1	1.20	1.80	0.80 (6.80)	1.80	1.20	TU1	1.20	1.80	0.90 (6.90)	1.80	1.20
CONDITION C2		PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT		Vr=60km/h					Vr=80km/h				
			V.L. PRUDENT	V.L. AU PAS	V.L. A L'ARRET						V.L. PRUDENT	V.L. AU PAS	V.L. A L'ARRET
			2.70	2.30	2.15						2.70	2.30	2.15
			7.15								7.15		

NIVEAU TU3	<p>TROTTOIR ET B.A.U.</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
NIVEAU TU2	<p>BUTE-ROUES GAUCHE TROTTOIR DROIT FRANCHISSABLE</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
NIVEAU TU1	<p>PERTE D'UNE VOIE DE CIRCULATION EN CAS D'ACCIDENT</p> <p><i>Respect de C1</i></p>	

# EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 2.70 M DEUX VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

$V_r = 60 \text{ km/h}$ 
 $V_r = 80 \text{ km/h}$

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	$V_r = 60 \text{ km/h}$					$V_r = 80 \text{ km/h}$						
		EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERDISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI	EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERDISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI		
		TU3	1.20	2.00	1.00 (7.40)	2.00	1.20	TU3	1.20	2.00	1.10 (7.50)	2.00	1.20
		TU2	1.20	2.00	0.90 (7.30)	2.00	1.20	TU2	1.20	2.00	1.00 (7.40)	2.00	1.20
		TU1	1.20	2.00	0.80 (7.20)	2.00	1.20	TU1	1.20	2.00	0.90 (7.30)	2.00	1.20
CONDITION C2		PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT		$V_r = 60 \text{ km/h}$			$V_r = 80 \text{ km/h}$						
		V.L. PRUDENT	FOURCON AU PAS		FOURCON A L'ARRET		V.L. PRUDENT	FOURCON AU PAS		FOURCON A L'ARRET			
		2.70	2.50		2.35		2.70	2.50		2.35			
		7.55			7.55								

52

<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">NIVEAU TU3</div>	<p>TROTTOIR ET B.A.U.</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">NIVEAU TU2</div>	<p>BUTE-ROUES GAUCHE TROTTOIR DROIT FRANCHISSABLE</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 0 auto;">NIVEAU TUI</div>	<p>PERTE D'UNE VOIE DE CIRCULATION EN CAS D'ACCIDENT</p> <p><i>Respect de C1</i></p>	

# EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 3.50 M DEUX VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

Vr=60km/h

Vr=80km/h

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	Vr=60km/h					Vr=80km/h										
		EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	DISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI	EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	DISTANCE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI						
		TU3	1.20	2.50	1.00 (8.40)	2.50	1.20	1.10 (8.50)	2.50	1.20							
		TU2	1.20	2.50	0.90 (8.30)	2.50	1.20	1.00 (8.40)	2.50	1.20							
		TU1	1.20	2.50	0.80 (8.20)	2.50	1.20	0.90 (8.30)	2.50	1.20							
CONDITION C2		PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT		Vr=60km/h					Vr=80km/h								
		V.L. PRUDENT	CAMION AU PAS	CAMION A L'ARRET						V.L. PRUDENT	CAMION AU PAS	CAMION A L'ARRET					
		2.70	3.00	2.85	8.55					2.70	3.00	2.85	8.55				

<b>NIVEAU TU3</b>	TROTTOIR ET B.A.U.  <i>Respect de C1 et C2</i>		
<b>NIVEAU TU2</b>	BUTE-ROUES GAUCHE TROTTOIR DROIT FRANCHISSABLE  <i>Respect de C1 et C2</i>		
<b>NIVEAU TU1</b>	PERTE D'UNE VOIE DE CIRCULATION EN CAS D'ACCIDENT  <i>Respect de C1</i>		

# EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 2.00 M TROIS VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

Vr=60km/h

Vr=80km/h

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	Vr=60km/h						Vr=80km/h											
		EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI					
		TU3	1.20	1.80	1.00	1.80 (9.80)	1.00	1.80	1.20	TU3	1.20	1.80	1.10	1.80 (10.00)	1.10	1.80	1.20		
		TU2	1.20	1.80	0.90	1.80 (9.60)	0.90	1.80	1.20	TU2	1.20	1.80	1.00	1.80 (9.80)	1.00	1.80	1.20		
		TU1	1.20	1.80	0.80	1.80 (9.40)	0.80	1.80	1.20	TU1	1.20	1.80	0.90	1.80 (9.60)	0.90	1.80	1.20		
CONDITION C2	PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT	Vr=60km/h						Vr=80km/h											
			V.L. PRUDENT		V.L. PRUDENT		V.L. AU PAS		V.L. A L'ARRET			V.L. PRUDENT		V.L. PRUDENT		V.L. AU PAS		V.L. A L'ARRET	
			2.70		2.70		2.30		2.15			2.70		2.70		2.30		2.15	
			9.85						9.85										

t6

<b>NIVEAU TU3</b>	<p>TROTTOIR ET B.A.U.</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
<b>NIVEAU TU2</b>	<p>BUTE-ROUES GAUCHE TROTTOIR DROIT FRANCHISSABLE</p> <p><i>Respect de C1 et C2</i></p>	
<b>NIVEAU TU1</b>	<p>PERTE D'UNE VOIE DE CIRCULATION EN CAS D'ACCIDENT</p> <p><i>Respect de C1</i></p>	



EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 2.70 M  
TROIS VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

Vr=60km/h

Vr=80km/h

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	Vr=60km/h						Vr=80km/h											
		EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	ESPACEMENT LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PAROI					
CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR	TU3	1.20	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.20	(10.40)	TU3	1.20	2.00	1.10	2.00	1.10	2.00	1.20	(10.60)
		TU2	1.20	2.00	0.90	2.00	0.90	2.00	1.20	(10.20)	TU2	1.20	2.00	1.00	2.00	1.00	2.00	1.20	(10.40)
		TU1	1.20	2.00	0.80	2.00	0.80	2.00	1.20	(10.00)	TU1	1.20	2.00	0.90	2.00	0.90	2.00	1.20	(10.20)
CONDITION C2	PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT	V.L. PRUDENT				FOURGON AU PAS		FOURGON A L'ARRET		V.L. PRUDENT				FOURGON AU PAS		FOURGON A L'ARRET			
		2.70				2.50		2.35		2.70				2.50		2.35		10.25	

95

NIVEAU	DESCRIPTION	Vr=60km/h	Vr=80km/h
NIVEAU TU3	TROTTOIR ET B.A.U.  <i>Respect de C1 et C2</i>		
NIVEAU TU2	BUTE-ROUES GAUCHE TROTTOIR DROIT FRANCHISSABLE  <i>Respect de C1 et C2</i>		
NIVEAU TU1	PERTE D'UNE VOIE DE CIRCULATION EN CAS D'ACCIDENT  <i>Respect de C1</i>		

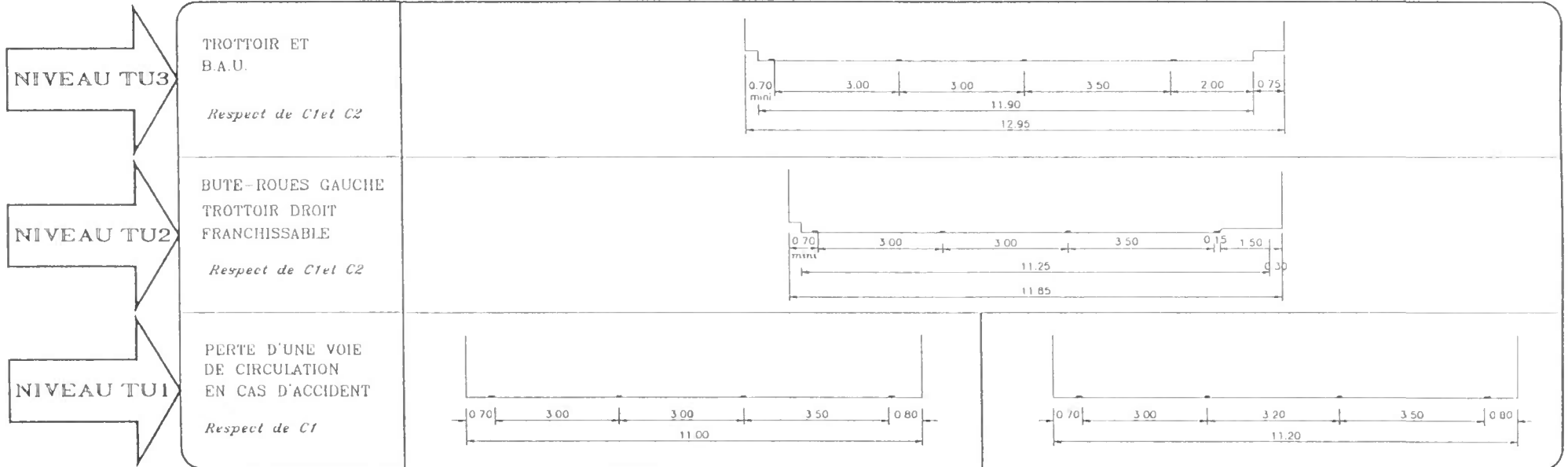
EXEMPLE D'APPLICATION : GABARIT DE 3.50 M  
TROIS VOIES DE CIRCULATION PIEDROITS VERTICAUX

Vr=60km/h

Vr=80km/h

CONDITION C1	LARGEUR MINIMALE ENTRE PIEDROITS A 1m de HAUTEUR		Vr=60km/h					Vr=80km/h								
			EFFET DE PANGI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERVALLE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERVALLE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PANGI	VEHICULE MAXI ADMIS	INTERVALLE LATERALE	VEHICULE MAXI ADMIS	EFFET DE PANGI			
CONDITION C1		TU3	1.20	2.00	1.00	2.50 (11.40)	1.00	2.50	1.20	1.20	2.00	1.10	2.50 (11.60)	1.10	2.50	1.20
		TU2	1.20	2.00	0.90	2.50 (11.20)	0.90	2.50	1.20	1.20	2.00	1.00	2.50 (11.40)	1.00	2.50	1.20
		TU1	1.20	2.00	0.80	2.50 (11.00)	0.80	2.50	1.20	1.20	2.00	0.90	2.50 (11.20)	0.90	2.50	1.20
CONDITION C2	PLATEFORME MINIMALE SCENARIO EN CAS D'INCIDENT		V.L. PRUDENT		V.L. PRUDENT		CAMION AU PAS		CAMION A L'ARRET							
			2.70		2.70		3.00		2.85		11.25					

96



## **ANNEXE 2**

### **EQUIPEMENTS D'EXPLOITATION**

Cette annexe présente les équipements propres à l'exploitation de la circulation à l'intérieur du tunnel. Ceux-ci sont différents des autres équipements d'exploitation qui concernent l'alimentation électrique, la ventilation, l'éclairage, l'eau, la détection incendie...

L'exploitation de la route (ou d'un ouvrage) est définie dans le SDER par les trois actions suivantes :

- 1 - maintien de la viabilité,
- 2 - gestion du trafic,
- 3 - aide au déplacement (sécurité, confort).

Le maintien de la viabilité recouvre l'ensemble des interventions sur le terrain destinées, en cas de perturbation, à maintenir ou rétablir des conditions d'utilisation de la voie les plus proches de la situation normale. Le matériel nécessaire comprend principalement des véhicules spéciaux (secours aux victimes, grues, dépanneuses... ) et des dispositifs de balisage. A ce stade, on ne détaillera pas cette fonction, et on étudiera uniquement les actions 2 et 3, à savoir les équipements de gestion du trafic et d'aide au déplacement qui comprennent :

## **1 - LA SIGNALISATION PERMANENTE VERTICALE**

(conforme au livre 1 sur la signalisation routière et à la circulaire interministérielle du 22 mars 1982)

- interdictions catégorielles (piétons, GPL, 2 roues... )
- limitation catégorielle (gabarit,...),
- limitation de vitesse,
- interdiction de dépasser,
- signalisation directionnelle,
- panneaux de téléphones, extincteurs, garages,
- panneaux d'issues de secours, py-pass, refuges.

## **2 - LA SIGNALISATION PERMANENTE HORIZONTALE**

(conforme au livre 1 sur la signalisation routière)

- marquage des chaussées,
- hublots de jalonnement,
- marquage latéral à protubérances (dispositif expérimental),
- chevrons pour inciter à maintenir la distance intervéhiculaire (dispositif expérimental).

### **3 - LA SIGNALISATION VARIABLE**

#### - Panneaux à messages variables (PMV) :

On peut distinguer :

- a) les signaux d'alerte à deux messages. Exemple vitesse/dépassement
- b) les signaux multi-indications spécialisés
- c) les signaux multi-indications non spécialisés :
  - . indication sous forme littéraire
  - . indication sous forme graphique (pictogrammes)
  - . indication sous forme littéraire et graphique (le message doit rappeler le panneau).

#### - Signaux d'affectation de voies (SAV) :

Les signaux placés au-dessus de l'axe de chacune des voies, pour chaque sens de circulation, se présentent en général sous forme d'un bloc homogène comprenant : flèche verte (R21 b), flèche jaune clignotante oblique (R21 c, d ou g), croix rouge de Saint André (R21 a), dans cet ordre de droite à gauche ou éventuellement de bas en haut.

Il est possible d'utiliser des blocs ne comprenant que flèche verte-croix rouge et même d'utiliser individuellement flèche verte, croix rouge ou flèche clignotante.

Pour les conditions d'emploi ; voir le dossier pilote du CETU et le guide PMV du SETRA en préparation, et le livre I,6 ème partie sur la signalisation routière.

#### - Signaux d'arrêt (rouge clignotant R24) :

L'arrêt des usagers à l'entrée ou à l'intérieur d'un tunnel est réglementairement réalisé par un feu rouge clignotant (signal R24).

Lorsque la densité du trafic ou les vitesses le justifient, le signal rouge clignotant doit être renforcé par une signalisation variable annonçant la fermeture de la voie.

Les feux tricolores ne sont pas adaptés à cet usage.

#### - Signaux de contrôle de flot (R22) :

Ils sont utilisés pour les contrôles d'accès.

#### - Signaux de contrôle individuel (R23) :

Ils marquent un péage.

### **4 - LA SURVEILLANCE DU TRAFIC**

#### - Recueil de données par boucles électromagnétiques :

Les doubles boucles et les boucles simples mesurent et éventuellement visualisent en temps réel l'état du trafic.

Avec une densité suffisante de points de mesures, il sera possible de faire de la détection automatique d'incident (DAI) et de la détection automatique de bouchons (DAB).

- Recueil de données par caméra :

Ces systèmes sont encore au stade expérimental, mais semblent très prometteurs notamment pour les tunnels (éclairage constant). Les produits les plus avancés font de la DAI et du calcul de vitesse.

- Surveillance par caméras :

Les caméras sont fixes ou télécommandées et reliées au P.C. d'exploitation.

- Contrôle des vitesses (répression) :

Le contrôle est assuré par des cinémomètres photographiques. Il est nécessaire de prévoir les dispositifs et les procédures pour récupérer les pellicules. L'évolution est possible vers des systèmes vidéo à la condition que de tels systèmes soient reconnus sur le plan juridique.

## **5 - DISPOSITIFS D'EXPLOITATION DE LA CHAUSSEE**

- Barrière du type SNCF ou parking pour couper l'entrée du tunnel.
- Dispositif automatique de coupure de voies (NAV). Quelques systèmes sont en cours d'expérimentation.
- Balisages mobiles.
- Contrôle de gabarit : portiques rigides et autres systèmes d'alerte.

## **6 - SYSTEMES D'ALARME POUR LES USAGERS**

- Réseau d'appel d'urgence (RAU) de téléphones.
- Signal d'alarme par bouton poussoir (avec confirmation de l'enregistrement de l'appel).

## **7 - LIAISONS RADIOS**

- Continuité des radios de service.
- Continuité des radios grand public.
- Possibilité de messages incrustés.
- Continuité des téléphones véhicules.

## **8 - CIGT D'EXPLOITATION**

On peut avoir un CIGT d'exploitation dédié au tunnel ou une simple liaison à un PC de réseau.

Il est rappelé brièvement l'organisation du Centre d'Ingénierie de Gestion du Trafic et ses missions.

### **Organisation et activation :**

Suivant le niveau d'exploitation choisi le tunnel sera doté d'un GIGT dédié, ou bien cette fonction sera assurée par le GIGT compétent sur le réseau de surface.

L'activation de ce PC sera également étroitement dépendante du niveau d'exigence.

De ce point de vue, si l'activation du CGIT ne couvre qu'un 2 x 8 H 00 et que le troisième créneau est ouvert par une astreinte, on renverra les principales alarmes auprès du veilleur (police, veilleur du gestionnaire de la voirie). Ceci vaut ainsi la gestion technique centralisée (GTC).

### **Missions :**

Le CIGT ne constitue pas généralement un échelon hiérarchique supplémentaire.

Il assure essentiellement un rôle de coordination des mesures d'exploitation.

Il recueille et traite l'information et à ce titre participe à la fonction alerte.

Il est intégré au dispositif de diffusion de l'information.

Il peut également organiser la maintenance des équipements.

En temps différé, il mène les études de trafic, met au point ou actualise les mesures d'exploitation (Plan de Gestion de Trafic).

**Page laissée blanche intentionnellement**



## **ANNEXE 3**

### **BIBLIOGRAPHIE P.M.V.**

Les ouvrages sont classés par thème selon la liste suivante :

- Equipements et exploitation ;
- Etudes et enquêtes auprès des usagers ;
- Etudes et guides étrangers ;
- Evaluation des systèmes d'information routière ;
- Exploitation de la route - Documents généraux ;
- Information à l'utilisateur ;
- P.M.V. et exploitation de la route ;
- Sécurité - Circulation ;
- Signalisation et réglementation.

### Equipements et exploitation

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.) - Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement - Méditerranée.

"SIREDO - Système Informatisé de Recueils de Données, documents divers"  
SETRA/CETE Méditerranée  
Juin 1991

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.) - Centre d'Etudes Techniques de l'Equipement - Normandie Centre.

"Catalogue des systèmes dynamiques d'exploitation de la route"  
SETRA  
1990

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"Transmissions par fibres optiques appliquées à la gestion du trafic"  
SETRA/CSTR  
Janvier 1990

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"Réseaux de télétransmission des autoroutes de liaison non concédées - Dispositions techniques générales - Guide technique"  
SETRA  
Mai 1993

## Evaluation des systèmes d'information routière

Union des Sociétés Françaises d'Autoroutes à Péage (U.S.A.P.) - ISIS Département Transports et Circulation.

"Mise au point de l'outil d'évaluation des systèmes d'information sur autoroute - Rapport final"

ISIS

Février 1992

et "Outils d'évaluation des systèmes d'information des usagers sur autoroute - Guide méthodologique"

ISIS

Octobre 1992

BOUILLY Christophe - Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat (E.N.T.P.E.) - Direction Départementale de l'Equipement du Rhône (D.D.E. 69).

"Travail de Fin d'Etudes : Méthodologie d'évaluation de l'efficacité d'un système d'information et de régulation du trafic - Application au système CORALY"

DDE 69

Juin 1993

## Exploitation de la route - Documents généraux

Ministère de l'Equipement, du Logement et des Transports - Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.).

"Schéma directeur d'exploitation de la route - Premiers éléments de réflexion pour l'organisation des services"

SETRA

Mars 1993

Ministère de l'Equipement, du Logement, des Transports et de l'Espace - Direction du Personnel - Direction des Routes - Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.).

"La Route au Quotidien : Traitement des Perturbations de Trafic"

SETRA

Février 1992

Direction Régionale de l'Equipement d'Ile de France (D.R.E.I.F.) - Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (I.N.R.E.T.S.) - Direction Départementale de l'Equipement du Val de Marne (D.D.E. 94)

"Exploitation des voies rapides - Rapport de mission - 1ère partie : Etats-Unis-R.F.A. et 2ème partie : Japon-Angleterre"

DREIF

1ère partie : avril 1987 - 2ème partie : novembre 1987

## Information à l'utilisateur

Ministère de l'Urbanisme, du Logement et des Transports - Direction des Routes (D.R.) - Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.) - Groupe U.S.A.P. (Union des Sociétés d'Autoroutes à Péage) : "Information des usagers".

"Besoins en information des usagers des autoroutes de liaison pendant les migrations estivales"  
SETRA  
Octobre 1984

Ministère des Transports - Direction des Routes (D.R.) - Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.) - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.)

"Information Routière en Temps réel (I.R.T.) - Réflexions préliminaires sur les besoins et les enjeux"  
SETRA  
Mars 1984

Groupe U.S.A.P. (Union des Sociétés d'Autoroutes à Péage) - Administration : "Information des Usagers" - Sous-groupe lexicque.

"Principes d'élaboration des messages sur P.M.V. - Rapport d'étape"  
USAP  
Novembre 1993

CAUBET Claude - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.) - Division Technique de la Circulation et de la Sécurité (D.T.C.S.).

"La signalisation variable et l'information des usagers sur autoroute de liaison"  
SETRA  
Mai 1986

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"I. Information Routière Dynamique (IRD) - Définition des niveaux de service"  
SETRA  
Juin 1989

et "Niveau de service en Information Routière Dynamique (IRD) - Guide méthodologique"  
SETRA  
Juin 1989

Revue Transports Environnement Circulation (T.E.C.) n° 95.

"Dossier information routière"  
ATEC  
1989

## Sécurité - Circulation

Simon COHEN - Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité (I.N.R.E.T.S.).

"Ingénierie du trafic routier"

Presses ENPC

Novembre 1990

René MEYER - Conseil Général des Ponts et Chaussées - Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer

"Ingénierie du trafic routier"

Presses ENPC

Novembre 1990

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports - Ministère de l'Intérieur et de la Santé Publique - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.)

"Livre I - 1ère partie "Généralités"

Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports - Service d'Études des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.) - Centre d'Études des Transports Urbains (C.E.T.UR.).

"Sécurité des routes et des rues"

SETRA

Septembre 1992

## Signalisation et réglementation

Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports - Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières (D.S.C.R.) - Service d'Études des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"Répertoire des homologations" (actualisé chaque année)

SETRA

Service d'Études des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"Mémento des équipements routiers - 2ème partie : Les équipements dynamiques"

SETRA

A paraître

Ministère de l'Équipement, du Logement, des Transports et de la Mer - Textes officiels.

"Cahier des charges d'homologation des panneaux de signalisation à messages variables - Arrêté du 13 août 1990"

Direction des journaux officiels, 26 rue Desaix, 75727 PARIS CEDEX 15  
Août 1990

Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports - Ministère de l'Intérieur et de la Santé Publique - Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).

"Livre I - 1ère partie : Généralités"

SETRA  
Edition 1989

et "Livre I - 6ème partie : Signaux lumineux de circulation"

SETRA  
Edition 1992

et "Livre I - 8ème partie : Signalisation temporaire"

SETRA  
Edition 1993

Revue Générale des Routes et des Aérodrômes (R.G.R.A.).

"N° 658 - Spécial signalisation"

La Bayeusaine graphique  
Décembre 1988

et aussi "n° 699 - Dossier signalisation"

Septembre 1992

CARTA Victor, Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (L.C.P.C.) - Division Exploitation - Signalisation.

"Étude du graphisme de symboles matriciels des P.M.V. Programme E.D.G.A.R."

Revue T.E.C. n° 103  
Novembre, décembre 1990

Ministère de l'Équipement, du Logement et des Transports.

"Visibilité" dans le bulletin de liaison du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées, numéro spécial

LCPC  
Février 1993

COLOMB Michèle, HUBERT Roger, BRY Michel, DORE Jocelyne.

"Les panneaux à messages variables, leur lisibilité", dans le bulletin de liaison du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées n° 177

LCPC  
Janvier, février 1992

**SESIRT, Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes (S.E.T.R.A.).**

"Défauts en signalisation variable - Contribution à la définition d'une instruction ministérielle sur la signalisation variable"

SETRA

Août 1990

**DIVERS.**

Commission internationale de l'éclairage - Rapport du TC 4.17 "Variable message signs"

73 pages, à paraître

## NOTES



NOTES

## NOTES

**Page laissée blanche intentionnellement**

**CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS**

109, AVENUE SALVADOR ALLENDE - CSE N° 1 - 69674 BRON CEDEX  
TEL : 78 41 81 25 - TELECOPIE 72 37 81 11 - FRANCE