

**MINISTERE DE L'EQUIPEMENT, DU LOGEMENT, DES TRANSPORTS ET DE LA MER
DIRECTION DES ROUTES**

**DOSSIER PILOTE DES TUNNELS
document n° 2
- GEOMETRIE -**

décembre 1990

**CENTRE D'ETUDES DES TUNNELS
109, AVENUE SALVADOR ALLENDE - CSE N° 1-69674 BRON CEDEX FRANCE
TEL. 78 41 81 25 - TELEX CETELYO 370008 F - FAX 72 37 81 11**

ISBN 2.11.084737-9

Avant-propos :

Le présent document géométrie s'insère dans l'ensemble du nouveau dossier pilote des tunnels qui sera composé de six documents :

- 1 – Présentation-Synthèse (à paraître ultérieurement).
- 2 – Géométrie (décembre 1990).
- 3 – Génie Civil (à paraître ultérieurement).
- 4 – Equipements (parution prévue en 1991).
- 5 – Environnement (décembre 1990).
- 6 – Coûts (à paraître ultérieurement).

Il ne s'applique pas aux tunnels à gabarit réduit de grande longueur avec ou sans péage, pour lesquels les réflexions ne sont pas assez avancées à la date de sa parution.

SOMMAIRE

CHAPITRE 1	GÉNÉRALITÉS	P. 5
	1.1 IMPORTANCE DU DIMENSIONNEMENT GÉOMÉTRIQUE	P. 5
	1.2 CONFORMITÉ AUX CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES ROUTES ET AUTOROUTES	P. 5
	1.3 HOMOGENÉITÉ DU TRACÉ	P. 5
	1.4 DOMAINE D'APPLICATION DU PRÉSENT DOCUMENT	P. 6
	1.5 UTILISATION DU PRÉSENT DOCUMENT	P. 6
CHAPITRE 2	DONNÉES DE CIRCULATION	P. 9
	2.1 DONNÉES À RECUEILLIR	P. 9
	2.1.1 GÉNÉRALITÉS	P. 9
	2.1.2 UNITÉS DE VOITURES PARTICULIÈRES	P. 9
	2.1.3 DURÉE DE LA DEMANDE DE TRAFIC DE POINTE	P. 10
	2.1.4 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DIMENSIONNEMENT	P. 10
	2.2 VALEURS DE BASE	P. 10
	2.2.1 INFRASTRUCTURE DE TYPE URBAIN OU PÉRI URBAIN	P. 10
	(trajet domicile travail)	
	2.2.1.1 Définition et valeur de la capacité	P. 10
	2.2.1.2 Débit de dimensionnement géométrique	P. 10
	2.2.2 INFRASTRUCTURE DE CAMPAGNE OU DE MONTAGNE	P. 12
	2.2.2.1 Préliminaire	P. 12
	2.2.2.2 Valeurs de base	P. 12
	2.2.3 TRAFIC À PRENDRE EN COMPTE POUR LA VENTILATION	P. 12
	2.3 NOMBRE DE VOIES	P. 13
	2.3.1 NOMBRE TOTAL DE VOIES	P. 13
	2.3.2 NOMBRE DE VOIES PAR TUBE	P. 13
	2.4 NIVEAU DE SERVICE	P. 13
	2.4.1 ADAPTATION À LA SITUATION DE L'OUVRAGE ET À LA CLASSE DE L'ITINÉRAIRE	P. 13
	2.4.2 DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE DANS L'OUVRAGE	P. 14
	2.4.3 RÉGLEMENTATION DE LA CIRCULATION	P. 14

CHAPITRE 3	TRACÉ EN PLAN	P. 17
	3.1 FACTEURS D'ANALYSE	P. 17
	3.2 IMPLANTATION DES ACCÈS ET DES TÊTES	P. 17
	3.2.1 PRÉCAUTIONS DE TRACÉ AU VOISINAGE DES TÊTES DE TUNNEL	P. 17
	3.2.2 ENTRÉES ET SORTIES EN TUNNEL	P. 17
	3.2.2.1 Bifurcations et jonctions à l'intérieur d'un tunnel	P. 17
	3.2.2.2 Sections d'entrecroisement	P. 18
	3.2.3 BIFURCATIONS ET JONCTIONS À L'EXTÉRIEUR D'UN TUNNEL PRÈS DES EXTRÉMITÉS	P. 18
	3.2.4 ÉCHANGEURS DE DÉVIATION	P. 18
	3.2.5 IMPLANTATION DES BARRIÈRES DE PÉAGE	P. 18
	3.3 TRACÉ EN PLAN ET DÉVERS ASSOCIÉS	P. 18
	3.3.1 RAPPEL DES INSTRUCTIONS POUR L'AIR LIBRE	P. 18
	3.3.1.1 ACTAAL	P. 18
	3.3.1.2 ICTARN	P. 19
	3.3.1.3 ICTAVRU	P. 19
	3.3.2 APPLICATION AUX TUNNELS ROUTIERS	P. 20
	3.4 VISIBILITÉ DANS LES TUNNELS COURBES	P. 20
	3.4.1 DISTANCE DE VISIBILITÉ SELON LA VITESSE PRATiquÉE	P. 20
	3.4.2 DÉGAGEMENT LATÉRAL AUX VUES	P. 21
	3.4.3 CONDITIONS PARTICULIÈRES IMPOSÉES AUX TUNNELS	P. 22

CHAPITRE 4	PROFIL EN LONG	P. 23
	4.1 TUNNELS À DÉCLIVITÉ UNIQUE OU EN TOIT	P. 23
	4.1.1 RAMPES (déclivités en sens montant)	P. 23
	4.1.2 PENTES (déclivités en sens descendant)	P. 23
	4.2 TUNNELS À POINT BAS (ou en angle rentrant)	P. 24
	4.3 TUNNELS À POINT HAUT (ou en angle saillant)	P. 24
	4.4 VOIE SUPPLÉMENTAIRE EN RAMPE (pour les véhicules lents)	P. 25
	4.4.1 ICTAAL	P. 25
	4.4.2 ICTAVRU	P. 25
	4.4.3 ICTARN	P. 25

CHAPITRE 5	PROFIL EN TRAVERS UTILE A LA CIRCULATION	P. 27
	5.1 DÉFINITIONS	P. 27
	5.2 LARGEUR ROULABLE	P. 27
	5.2.1 IMPORTANCE DE LA LARGEUR ROULABLE	P. 27
	5.2.2 GÉNÉRALITÉS	P. 27
	5.2.3 LARGEUR UNITAIRE DES COULOIRS DE CIRCULATION	P. 27
	5.2.4 SCHÉMAS TYPES	P. 29
	5.2.4.1 Largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence	P. 29
	5.2.4.2 Circulation au droit d'un véhicule en panne	P. 30
	5.2.4.3 Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable	P. 32
	5.2.5 VOIES UNITAIRES DE CIRCULATION	P. 32
	5.2.6 BANDES DÉRASÉES	P. 32
	5.2.7 LARGEURS ROULABLES TYPES	P. 32
	5.2.7.1 Règles de choix	P. 32
	5.2.7.2 Tunnels sur autoroutes de liaison, sur routes de catégorie exceptionnelle, et sur VRU de type A (circulation unidirectionnelle)	P. 32
	5.2.7.3 Tunnels sur VRU de type U et assimilables	P. 34
	5.2.7.4 Tunnels bidirectionnels	P. 34
	5.2.8 PISTES ET BANDES CYCLABLES	P. 35

5.3 ISOLATEURS	P. 36
5.3.1 OUVRAGES NORMALEMENT ACCESSIBLES AUX PIÉTONS	P. 36
5.3.2 OUVRAGES NORMALEMENT INTERDITS AUX PIÉTONS	P. 36
5.3.3 JUSTIFICATION DE L'IMPLANTATION DE TROTTOIRS	P. 36
5.3.3.1 Cas des tunnels cadres (piédroit vertical et profils cintres à 3 centres)	P. 36
5.3.3.2 Cas des tunnels "plein cintre" (à un seul centre)	P. 36
5.3.3.3 Remplacement des trottoirs par des dispositifs genre bordure de retenue	P. 37
5.3.4 TROTTOIRS FRANCHISSABLES	P. 37
5.3.5 SÉPARATEUR CENTRAL (ou dispositif central de retenue)	P. 38
5.4 HAUTEURS	P. 38
5.4.1 TERMINOLOGIE	P. 38
5.4.2 VALEURS RÉGLEMENTAIRES DE LA HAUTEUR MINIMALE	P. 38
5.4.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES	P. 40
5.4.4 LARGEURS À PRENDRE EN COMPTE	P. 40
5.4.5 PROBLÈMES PARTICULIERS DE CONSTRUCTION DES PROFILS VOÛTÉS	P. 41
5.4.6 NOTION DE GABARIT	P. 41
5.4.7 RÉCAPITULATIF	P. 42

CHAPITRE 6	INFLUENCE DES ÉQUIPEMENTS SUR LE PROFIL EN TRAVERS	P. 43
6.1 INFLUENCE DE LA VENTILATION		P. 43
6.1.1 VENTILATION LONGITUDINALE		P. 43
6.1.2 VENTILATION SEMI-TRANSVERSALE, TRANSVERSALE OU TRANSVERSALE PARTIELLE		P. 44
6.2 INFLUENCE DE L'ÉCLAIRAGE		P. 44
6.2.1 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS ÉTANCHES À FLUX DIRIGÉ		P. 44
6.2.2 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS À FLUX DIRIGÉ IMPLANTÉS EN GALERIE		P. 45
6.3 INFLUENCE DE LA SIGNALISATION		P. 45
6.4 INFLUENCE DU PASSAGE DE CÂBLES ET CANALISATIONS		P. 45

CHAPITRE 7	DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ RELATIVES AU GÉNIE CIVIL ET À LA GÉOMÉTRIE	P. 47
7.1 CIRCULATION DES PIÉTONS		P. 47
7.2 ÉVACUATION DES USAGERS		P. 47
7.3 ARRÊT ET ÉVACUATION DES VÉHICULES		P. 47
7.3.1 ARRÊT DES VÉHICULES		P. 47
7.3.2 ÉVACUATION DES VÉHICULES		P. 48
7.3.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES		P. 48
7.4 SÉCURITÉ INCENDIE		P. 48
7.4.1 MOYENS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE		P. 48
7.4.2 PROTECTIONS DIVERSES CONTRE LES EFFETS DE L'INCENDIE		P. 48
7.4.2.1 Matériaux généraux de construction		P. 48
7.4.2.2 Protection des bâtiments en superstructure ou contigus		
7.4.2.3 Protection des locaux techniques		P. 48
7.4.2.4 Parois des gaines techniques		P. 48
7.5 NICHES DE SÉCURITÉ		P. 48
7.6 AMÉNAGEMENTS SPÉCIAUX		P. 51
7.6.1 TUNNEL CADRE		P. 51
7.6.2 TUNNEL OÙ LE TRANSIT DES MATIÈRES DANGEREUSES EST AUTORISÉ		P. 51

7.7. PRINCIPALES ÉVOLUTIONS ENVISAGEABLES PAR RAPPORT	
À LA CIRCULAIRE 81.109 DU 29.12.1981 (données à titre indicatif)	P. 51
7.7.1 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION	P. 51
7.7.2 PROTECTION DES BÂTIMENTS EN SUPERSTRUCTURE	P. 51
7.7.3 RÉFLEXIONS SUR LES ACTES TERRORISTES	P. 51
7.7.4 COMMISSION ADÉQUATE DE SÉCURITÉ	P. 51

CHAPITRE 8	PROFILS TYPES	P. 53
	8.1 FICHIER DE PROFILS TYPES	P. 53
	8.2 CAS DU 8,5 m DE LARGEUR ROULABLE	P. 54
	8.2.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DE LARGEUR DE TROTTOIRS	P. 54
	8.2.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION	P. 54
	8.2.3 EXEMPLE AVEC 1 m ROULABLE SUR TROTTOIR AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m	P. 55
	8.2.3.1 1 m à droite (1 seul côté)	P. 55
	8.2.3.2 1 m à droite et à gauche (des 2 côtés)	P. 56
	8.3 CAS DU 7,60 m DE LARGEUR ROULABLE	P. 56
	8.3.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DES TROTTOIRS	P. 56
	8.3.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION	P. 57
	8.3.3 EXEMPLE AVEC 1 m ROULABLE SUR TROTTOIR DROIT ET GAUCHE AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m	P. 57
	8.4 CONCLUSIONS GÉNÉRALES	P. 58
CHAPITRE 9	LEXIQUE FRANÇAIS-ANGLAIS	P. 59-60

CHAPITRE 1

GÉNÉRALITÉS

Un tunnel routier doit permettre le passage de la circulation automobile dans des conditions de débit, de vitesse et de confort aussi homogènes que possible avec le reste de l'itinéraire, et dans les meilleures conditions de sécurité.

Dans un projet de tunnel, l'un des premiers choix à effectuer est celui de son implantation (tracé en plan et profil en long) et de son profil en travers, compte-tenu des caractéristiques du tracé de l'itinéraire dans lequel il est inséré.

Le présent document expose les facteurs qui doivent guider ces choix, eu égard à la fonction que doit remplir un tunnel routier.

1.1 IMPORTANCE DU DIMENSIONNEMENT GÉOMÉTRIQUE

La détermination des caractéristiques géométriques des tunnels routiers revêt une importance considérable, surtout en matière de profil en long et de profil en travers, étant donné leurs conséquences pour l'usager et pour la collectivité.

A) Conséquences pour l'usager :

La circulation dans un tunnel s'effectue toujours avec moins d'aisance qu'à l'air libre. Les conducteurs considèrent souvent la traversée d'un tunnel comme un "point dur", en raison des conditions d'ambiance et de visibilité, inévitablement moins bonnes qu'en section courante. De plus, les conséquences d'un incident (panne, accident, incendie) ou d'un engorgement de l'ouvrage sont plus graves qu'à l'air libre. Il est donc recommandé, pour atténuer ces inconvénients, d'adopter des caractéristiques suffisamment larges.

B) Conséquences pour les collectivités :

Les tunnels sont des ouvrages d'art très coûteux et il est naturel que les projeteurs essaient de réaliser des économies en diminuant certaines caractéristiques géométriques. Cependant les possibilités d'élargissement ou de modifications ultérieures sont très réduites, ce qui impose une définition géométrique très étudiée permettant au tunnel d'écouler non seulement les trafics prévisibles à la mise en service, mais aussi les trafics futurs.

1.2 CONFORMITÉ AUX CONDITIONS TECHNIQUES D'AMÉNAGEMENT DES ROUTES ET AUTOROUTES

Dans toute la mesure du possible, les caractéristiques géométriques des tunnels doivent être en concordance avec celles des sections d'itinéraires à l'air libre, qui sont définies par les instructions en vigueur :

- Instruction du 22 octobre 1985 sur les conditions techniques d'aménagement des autoroutes de liaison (ICTAAL).
- Instruction sur les conditions techniques d'aménagement des voies rapides urbaines (ICTAVRU).
- Instruction du 28 octobre 1970 sur les conditions techniques d'aménagement des routes nationales (ICTARN).

Le présent document précise l'application de ces textes aux tunnels routiers, en fonction de leurs particularités techniques.

1.3 HOMOGÉNÉITÉ DU TRACÉ

On portera une particulière attention aux problèmes d'homogénéité auxquels les conducteurs sont le plus sensibles : ceux qui concernent le profil en long et le profil en travers de la chaussée.

Il ne sera pas toujours possible de réaliser une homogénéité parfaite et dans les cas difficiles, on devra prévoir des sections de transition.

Il n'est pas possible, en général, de conserver une largeur de plate-forme strictement identique à celle qui règne à l'air libre, en raison du coût trop élevé qui en résulterait. On est donc souvent conduit à la réduire, en particulier au détriment des dégagements latéraux. On doit cependant toujours s'assurer que la solution adoptée conservera les niveaux de service adaptés à la nature de l'ouvrage.

1.4 DOMAINE D'APPLICATION DU PRÉSENT DOCUMENT

Le présent document traite des problèmes liés à la géométrie des tunnels routiers quels qu'en soient le type, la forme et le principe de construction, à l'exception des P.S.G.R. (Passages souterrains à gabarit réduit) pour lesquels un dossier-guide a été publié par le S.E.T.R.A. en 1971. Leur cas est cependant abordé dans certains paragraphes par comparaison avec des ouvrages à gabarit normal.

On peut classer les tunnels routiers de différentes façons :

■ Selon la catégorie de l'itinéraire sur lequel ils se trouvent situés, on distingue 5 principaux types de tunnels :

- tunnels sur autoroute de liaison ou route de catégorie exceptionnelle,
- tunnels sur voie rapide urbaine type A ou type U,
- tunnels sur route de rase campagne (catégorie 1 et 2 des R.N.),
- tunnels sur route de montagne (catégorie 3 et 4 des R.N.),
- tunnels sur section de routes à caractère urbain.

Les deux premières catégories sont en principe des ouvrages à deux tubes unidirectionnels ; les trois autres des tunnels à chaussée unique et à double sens.

■ Selon la forme de section, on distingue trois profils :

- tunnels voûtés avec un rayon de courbure ou plusieurs,
- tunnels à section entièrement circulaire construits par des machines foreuses à pleine section ou imposées pour des raisons de stabilité du terrain afin de pouvoir encaisser les poussées,

- tunnels rectangulaires (tranchées couvertes ou tunnels immergés).

Ces profils se subdivisent en fonction de la présence de galeries de ventilation ou de leur absence.

1.5 UTILISATION DU PRÉSENT DOCUMENT

La détermination définitive de la géométrie d'un tunnel ne peut être effectuée que lorsque les études du génie civil (document n° 3), des équipements (document n° 4), d'environnement (document n° 5) et des coûts de construction et d'exploitation (document n° 6) ont été suffisamment affinées. Il s'avère cependant indispensable de procéder à une étude géométrique relativement minutieuse dès les études préalables, afin de ne pas fausser les études comparatives de variantes et de ne pas introduire une cause supplémentaire d'incertitude dans l'estimation du coût. La précision doit être meilleure pour les tunnels que pour un tracé à l'air libre, étant donné l'influence très forte des données géométriques sur l'investissement à réaliser.

A cet effet, le présent document donne des indications permettant dès les études d'avant-projet d'adapter le dimensionnement aux fonctions que devra remplir l'ouvrage étudié.

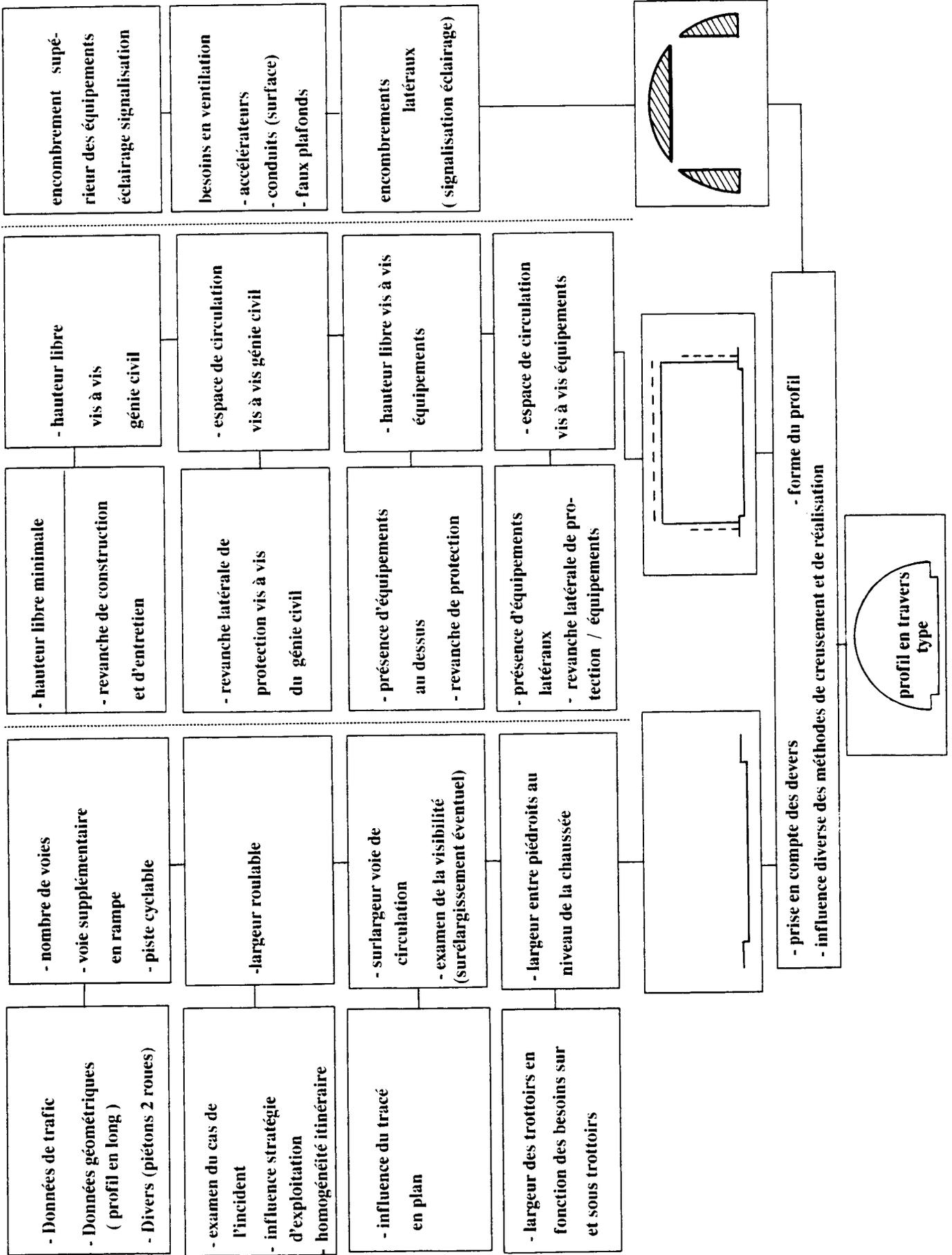
Il y a lieu de noter que la définition des profils en travers à partir du présent document concerne surtout l'intrados de l'ouvrage en fonction des profils "utile à la circulation" et "nécessaire pour les équipements" qui constituent des éléments très importants. Celle de l'extrados qui fait appel aux techniques générales du génie civil est abordée dans le document n° 3.

Le dimensionnement de l'intrados peut être influencé par certains équipements des tunnels (conduits de ventilation, accélérateurs, appareils d'éclairage, galeries techniques, signalisation...).

Le présent document donne des indications à ce sujet dans le chapitre 6.

La figure 1.1 présente un organigramme de la démarche intellectuelle pour arriver à l'élaboration du profil en travers type. Ce schéma est surtout orienté vers les tunnels voûtés ; une légère adaptation est à effectuer pour le problème des profils cadres et ce, principalement pour les besoins de la ventilation.

FIG. 1.1 - Démarche de principe pour l'établissement d'un profil en travers



CHAPITRE 2

DONNÉES DE CIRCULATION

2.1 DONNÉES À RECUEILLIR

2.1.1 GÉNÉRALITÉS

La détermination des caractéristiques de la géométrie "utile à la circulation" d'un tunnel est fonction du trafic qui le traversera. Il est indispensable de connaître, dès les études préalables, les données de circulation auxquelles l'ouvrage devra satisfaire dans un avenir prévisible.

La consistance des études de circulation est variable selon le niveau de l'étude, la longueur de l'ouvrage et le site (ville ou rase campagne). Ces études sont nécessaires pour déterminer les caractéristiques géométriques et dimensionner l'installation de ventilation éventuelle.

Les renseignements à recueillir sont les suivants :

- moyenne journalière annuelle du trafic,
- trafic horaire de pointe (qui n'a pas lieu nécessairement le soir) et pour chaque sens,
- fréquence et durée des périodes de congestion,
- pourcentage et type de poids lourds (en heure de pointe et en heure creuse).

Etant donné l'impossibilité pratique d'élargir ultérieurement un tunnel, il est nécessaire de connaître non seulement les valeurs des données ci-dessus à la date de mise en service, mais également leur évolution jusqu'à une année-horizon la plus lointaine possible (si possible au moins 20 ans après la mise en service).

Les renseignements relatifs aux risques de congestion sont d'une très grande importance, étant donné leurs conséquences sur les conditions de circulation dans l'ouvrage et sur les équipements de ventilation. L'accroissement de la circulation dans les villes rend ce risque presque certain, dans un avenir proche, dans la plupart des tunnels urbains. On devra cependant en zone urbaine porter une attention spéciale aux voies de dégagement du tunnel. Leur plus ou moins grande capacité et surtout la présence rapprochée d'intersec-

tions, commandées ou non par des feux, constituent des facteurs très importants dans l'évaluation de l'année à laquelle se produira cette congestion. Des modifications des accès sont souvent déterminantes.

2.1.2 UNITÉS DE VOITURES PARTICULIÈRES

Les débits s'expriment en unités de voitures particulières (UVP), dont la correspondance, en section courante, avec les différents types de véhicules est indiquée ci-dessous.

Type de véhicules	Equivalence en UVP
Cycle	0,5
Motocycle	1
VL ou PL (PTCA < 3,5 t)	1
PL (PTCA > 3,5 t)	2

PTCA = Poids total en charge autorisé.

REMARQUES

En général, les cycles ne sont pas admis sous les tunnels.

Il faut noter que les comptages automatiques séparent les véhicules selon que leur PTCA est inférieur ou supérieur non pas à 3,5 t, mais 5 t. Ceci revient à ne pas prendre en compte, dans les comptages automatiques, 10 à 12 % du parc dont le PTCA est supérieur à 3,5 t, soit environ 1 % du trafic total.

La valeur du coefficient d'équivalence PL, dans certains cas, n'est pas égale à 2 :

- Si les dernières recherches en la matière tendent à montrer que pour des rampes inférieures à 3 %, ce coefficient est peu différent de 2, en revanche pour des rampes plus importantes, la valeur de ce coefficient augmente fortement, sans que l'on connaisse actuellement de façon précise ses variations.

– C'est pourquoi, pour des rampes supérieures à 3 %, on essaiera dans la mesure du possible de déterminer la vitesse des PL dans la rampe en fonction de la longueur, afin de connaître à partir de quel point la vitesse des PL devient très inférieure à celle des autres usagers, perturbant ainsi en heure creuse, le confort, et en heure de pointe, la capacité.

La détermination de la vitesse atteinte par les PL dans la rampe pourra être effectuée à l'aide de la version en cours de mise à jour du programme SIMUL (programme DIAVI du CETE de Lyon).

2.1.3 DURÉE DE LA DEMANDE DE TRAFIC DE POINTE

Le dimensionnement d'une infrastructure s'effectue pour l'heure de pointe. Cette notion d'heure de pointe n'a pas la même signification selon que la demande de trafic maximal dure plus ou moins d'une heure :

– dans le premier cas, (pointe inférieure à 1 h), le trafic exprimé en UVP par heure correspond au trafic effectivement écoulé (ou prévu) pendant l'heure de pointe. C'est ce trafic qui est utilisé pour dimensionner la voie,

– dans le second cas (pointe inférieure à 1 h), il faut rétablir sur une heure le trafic de pointe écoulé pendant 1/4 h ou 1/2 h ou 3/4 h. La durée effective de la demande de pointe, ainsi que le rapport F_p (facteur de pointe) défini par :

$$F_p = \frac{\text{trafic écoulé pendant la pointe, ramené à 1 h}}{\text{trafic total écoulé pendant l'heure de pointe}}$$

peuvent être connus par des comptages effectués par quarts d'heure à proximité de la future infrastructure, ou sur une infrastructure similaire (ou assurant la même fonction).

En tout état de cause, on peut noter que la durée de la demande dépend du nombre et de la nature des accès à la voie, de l'organisation d'ensemble des circulations dans une zone plus ou moins étendue autour de l'infrastructure, et de la taille de l'agglomération (sans que ce dernier facteur soit nécessairement prépondérant) pour les itinéraires de type urbain prononcé.

En pratique, le rapport F_p défini ci-avant est pratiquement compris entre 1,25 et 1, et inversement proportionnel à la durée de la pointe (plus la durée de demande de pointe est longue, plus le rapport s'approche de 1), d'où les correspondances :

Durée de la pointe	Trafic à prendre en compte pour dimensionner l'infrastructure
≥ 1 h	Trafic effectivement écoulé pendant 1 h
< 1 h	Trafic de pointe ramené à 1 h (au plus égal à 1,25 fois le trafic horaire de pointe donné par l'étude de trafic).

2.1.4 PRINCIPES GÉNÉRAUX DE DIMENSIONNEMENT

Pour les itinéraires à l'air libre, deux principes de dimensionnement sont généralement admis :

– pour les sections urbaines, le dimensionnement doit répondre à l'objectif d'assurer, sans risques trop importants de congestion, l'écoulement stable de la circulation. Les valeurs préconisées doivent donc prendre en compte un certain nombre de paramètres influençant la capacité, comme de mauvaises conditions atmosphériques (pour l'air libre) et les incidents (dépendant du nombre de voies, de la présence ou non de bande d'arrêt d'urgence (BAU) et du trafic journalier moyen annuel),

– pour les itinéraires interurbains, le dimensionnement est effectué en général pour la capacité, et il n'est pas introduit de paramètres de pertes de capacité. Il convient également de souligner que par rapport à l'urbain, les chiffres proposés tiennent compte d'une mauvaise connaissance de l'itinéraire de la part des usagers, facteur non introduit sur la voirie urbaine.

2.2 VALEURS DE BASE

2.2.1 INFRASTRUCTURE DE TYPE URBAIN OU PÉRI-URBAIN (trajet domicile-travail)

2.2.1.1 Définition et valeur de la capacité

C'est le plus fort débit, même discontinu, que l'on puisse observer (généralement pendant des durées inférieures à 1 h). Ramenée à l'heure, on constate en site urbain que la capacité moyenne C est de l'ordre de 2 000 uvp/h et par file, quelles que soient les caractéristiques géométriques en tracé en plan, profil en long et profil en travers de la chaussée, et nombre de voies dans les zones urbaines en section courante et pour des chaussées unidirectionnelles.

2.2.1.2 Débit de dimensionnement géométrique

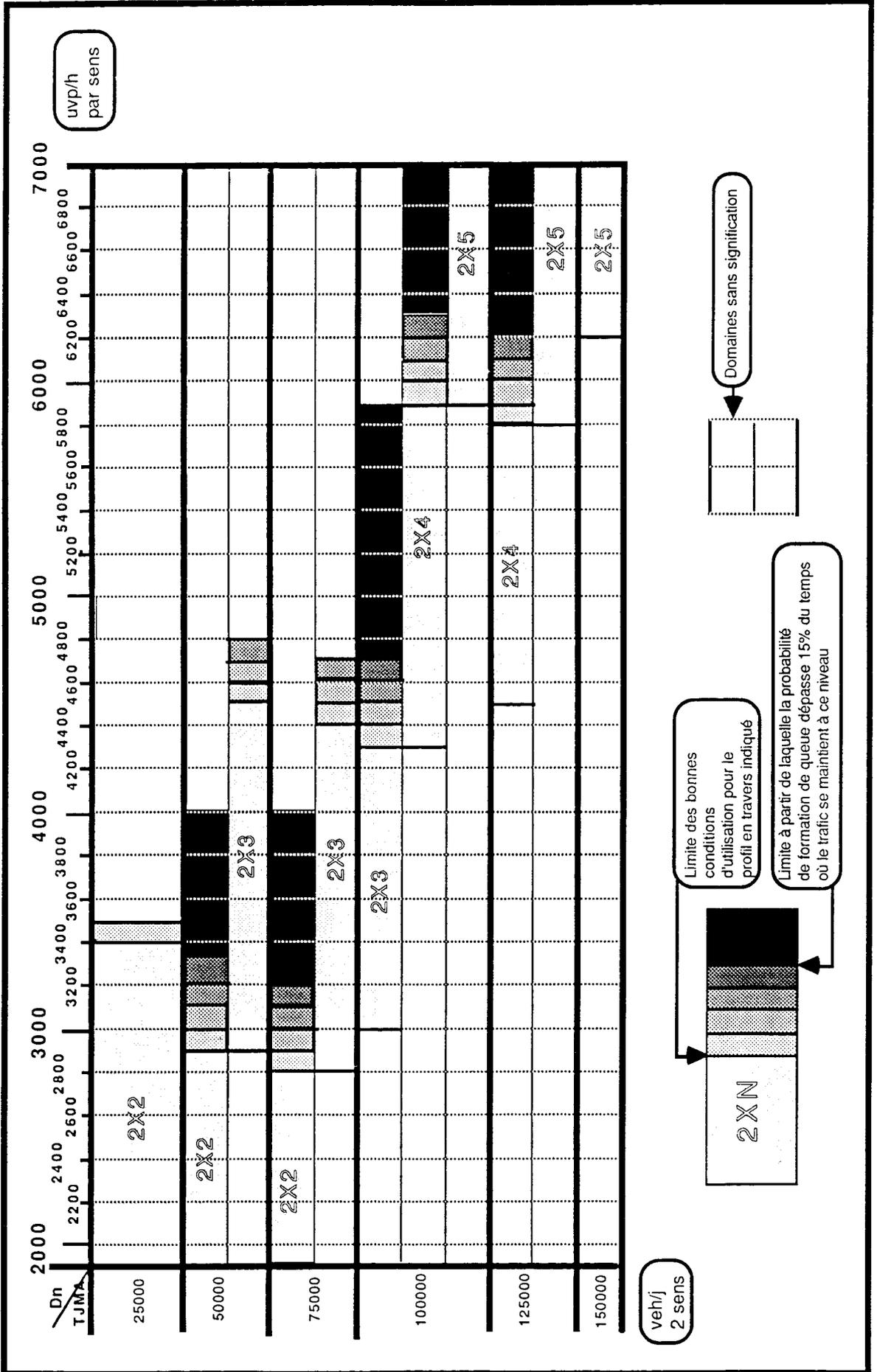
A) Routes à chaussées séparées (et à échanges dénivelés pour l'itinéraire.

Selon le niveau de service que l'on offre à l'utilisateur, à profil en travers identique, on peut, lors du dimensionnement de la voie, prendre une marge de manœuvre plus ou moins importante (par rapport à la capacité), c'est-à-dire garantir une probabilité de non congestion plus ou moins grande.

Cette congestion dépend bien sûr du trafic de pointe en uvp/h, mais elle est également directement liée au TMJA (Trafic Moyen Journalier Annuel) et à ses conséquences sur le nombre des incidents qui réduisent les possibilités d'écoulement de la circulation. Plus le TMJA est élevé et plus la possibilité d'écoulement du trafic est limitée, car alors toute conduite anormale a des conséquences beaucoup plus importantes sur l'ensemble des autres conducteurs et des effets seront alors plus néfastes pour la circulation.

Ainsi le tableau 2.1 donne en fonction du TMJA (deux sens) supporté par l'infrastructure, une idée des conditions de circulation offertes par un profil en travers donné avec bande d'arrêt d'urgence.

FIG. 2.1 - Domaines d'utilisation en milieu urbain en travers donné (avec BAU)
 en fonction des débits horaires Dn (en uvp/h par sens9 et du TJMA (en véh./j, 2 sens)



Le débit le plus bas correspond à de bonnes conditions de service (vitesse de 60 km/h environ) et à une faible probabilité de congestion (inférieure ou égale à 15 % du temps où la demande se maintient à ce niveau); le débit le plus élevé correspond à des conditions de circulation instables où la vitesse est plus réduite (40 km/h ou moins) et où le risque de formation de queue est plus important, avec une probabilité de congestion (temps de résorption des files d'attente non compris) qui devient supérieure à 15 % du temps où la demande se maintient à ce niveau.

Il convient de noter que les pertes de "capacité" dues à une mauvaise connaissance de l'itinéraire ne sont pas introduites ici, dans la mesure où l'on doit considérer qu'on ne trouve aux heures de pointe "habituelles" qu'un très faible pourcentage d'usagers non habitués à la voie.

Les chiffres du tableau 2-1 ci-avant sont valables quelle que soit la largeur des voies; l'état actuel des connaissances ne permet pas de conclure que la réduction de la largeur des voies amène un abaissement des limites des domaines de dimensionnement.

Les infrastructures ne comportant pas de BAU peuvent écouler des trafics du même ordre de grandeur qu'avec une BAU (soit 1 800 à 2 000 voire 2 400 UVP/h/voie). En revanche, dès qu'un accident ou une panne survient, une voie au moins est neutralisée, et les débits chutent immédiatement. Si l'on veut garder les mêmes marges de sécurité que dans le tableau, il convient d'abaisser les débits de dimensionnement de :

- 20 à 30 % pour les bonnes conditions de circulation,
- 10 à 20 % pour la probabilité 15 % de congestion.

Les capacités indiquées sont relatives à des itinéraires avec carrefours dénivelés. Par contre, pour les routes à carrefours plans (sauf si ces derniers sont éloignés de plusieurs kilomètres), la capacité de la section courante est limitée par celle des carrefours.

B) Chaussées bidirectionnelles

Deux voies : une chaussée bidirectionnelle à 2 voies peut supporter 2 000 à 2 200 uvp/h (deux sens) sans qu'un risque de congestion important soit à craindre. Des valeurs plus élevées (supérieure à 3 000 uvp/h) ont été observées de façon durable dans la journée pour une répartition du trafic proche de 50 % par sens.

Trois voies : dans la mesure où la voie centrale est individualisée, des trafics de 3 000 à 4 000 uvp/h (2 sens) peuvent être pris en considération.

2.2.2 INFRASTRUCTURE DE CAMPAGNE OU DE MONTAGNE (non habitués) (transit)

2.2.2.1 Préliminaire

Sur ce genre d'itinéraires, la conduite des usagers est sensiblement modifiée par rapport à une zone urbaine ou péri-urbaine avec un comportement totalement différent. En outre sur bon nombre d'itinéraires, les débits à attendre sont loin d'atteindre

les seuils de congestion. Une étude est donc à effectuer pour chaque cas, étant entendu que l'influence sur le dimensionnement de la ventilation est très importante. Il est également primordial de prendre en compte les évolutions de trafic prévisibles dans l'avenir.

2.2.2.2 Valeurs de base

On trouvera en figure 2.2 un tableau donnant en fonction des caractéristiques de l'itinéraire, les débits horaires maximaux de saturation (ou capacité) que l'on peut attendre.

Ces chiffres sont tirés de la note de synthèse sur les temps de parcours des véhicules sur itinéraires interurbains (SETRA - Septembre 84) et repris par ailleurs dans différents programmes informatiques du SETRA sur les méthodes d'évaluation des investissements routiers en rase campagne.

FIG. 2.2 - Capacité d'un itinéraire interurbain

Caractéristique de l'itinéraire de montagne ou de campagne liaisons interurbaines	Débit maximal de saturation ou capacité (1 sens) véh/h/sens	Débit maximal de saturation ou capacité (2 sens) véh/h
5 m (2 voies)	930	1 550
6 m (2 voies)	1 100	1 850
7 m (2 voies)	1 400	2 350
9 m (3 voies)	1 770	2 950
10,50 m (3 voies)	1 900	3 150
4 voies	2 340	3 900
2 x 2 voies avec carrefours plans	2 340	3 900
autoroutes ou routes 2 x 2 voies avec carrefours dénivelés	3 120	5 200
autoroutes à 2 x 3 voies	4 650	7 750

En vue des cas courants, le débit deux sens qui figure dans le tableau ci-dessus a été calculé en considérant que le sens le plus chargé représentait 60 % du trafic total deux sens. Si l'hypothèse de répartition du débit par sens n'était pas applicable au cas étudié, il faudrait bien entendu modifier le débit deux sens en conséquence.

Pour les autoroutes de liaison, l'ICTAAL mentionne le chiffre de 1800 uvp/h/voie comme débit de saturation, à comparer avec 1560 véh/h indiqué dans le tableau 2.2 pour les routes à chaussées séparées et carrefours dénivelés.

2.2.3 TRAFIC À PRENDRE EN COMPTE POUR LA VENTILATION

Les chiffres mentionnés ci-avant sont les valeurs qui peuvent être utilisées par le projeteur pour le dimensionnement géométrique de l'ouvrage. Il convient de prendre conscience que ce sont des valeurs moyennes ramenées à l'heure.

Certains itinéraires interurbains peuvent supporter occasionnellement beaucoup plus, toutefois la probabilité d'avoir un effet de congestion augmente dans de très fortes proportions. Sur le plan géométrique, il semble légitime de ne pas prendre

en compte les pointes exceptionnelles de circulation dans la mesure où les périodes saturées ne représenteront que quelques heures difficiles dans l'année. On notera la différence avec les ouvrages urbains où ces situations sont quotidiennes, et prises en compte dans le dimensionnement géométrique.

Par contre, dans le dimensionnement de la ventilation, pour des raisons évidentes de sécurité, il convient de raisonner sur des débits maximaux correspondant à l'heure de pointe. En outre, dans la distribution de la circulation pendant ces heures, on observe toujours des pointes instantanées.

Ces deux phénomènes sont à intégrer dans le dimensionnement de la ventilation. On appliquera donc pour la ventilation, un coefficient majorateur de 1,20 pour les tunnels de rase campagne et 1,10 pour les tunnels urbains par rapport aux chiffres annoncés pour le dimensionnement géométrique. Le document ventilation dans son annexe 1, relative aux éléments de trafic à prendre en compte pour le dimensionnement de la ventilation propose les diagrammes fondamentaux "débit-concentration" pour différentes catégories d'itinéraires.

2.3 NOMBRE DE VOIES

2.3.1 NOMBRE TOTAL DE VOIES

En règle générale, le nombre de voies en tunnel est le même que sur le reste de l'itinéraire.

Lorsque les trafics futurs nécessitent une augmentation ultérieure du nombre de voies sur l'ensemble de l'itinéraire, il convient d'en tenir compte pour dimensionner les tunnels. On peut, dans ce cas :

- soit augmenter la largeur roulable des tunnels pour permettre ultérieurement d'accroître le nombre de voies. En première phase, il est préférable de conserver le nombre de voies des sections à l'air libre et de maintenir la bande d'arrêt d'urgence si elle existe dans la section de route précédant le tunnel. Il est déconseillé de mettre en service un tunnel comportant davantage de voies qu'à l'air libre en raison de la congestion ou du moins des difficultés de circulation qu'entraînerait la réduction du nombre de files de circulation à la sortie du tunnel. D'une façon générale, les profils en travers comportant des bandes dérasées peuvent faciliter dans l'avenir, si leur largeur est importante, la création d'une voie supplémentaire au prix dans certains cas d'une réduction de la vitesse.

- soit prévoir de construire à terme un tube supplémentaire. Les accès des tunnels doivent alors être conçus pour permettre ultérieurement cette augmentation de la capacité.

Il est déconseillé de diminuer le nombre de voies en tunnel par rapport à l'air libre. Cela ne peut se justifier que par des considérations économiques, dans le cas des longs tunnels sur autoroute où la réalisation en une première phase de durée notable d'un seul tube à 2 ou 3 voies apparaîtrait justifiée par les économies réalisées. Dans un tel cas,

un calcul économique est nécessaire pour éclairer le choix. Lorsqu'on diminue le nombre de voies, il convient de prendre des mesures d'exploitation appropriées pour assurer la sécurité du trafic, et, si la circulation se fait sur 3 voies, pour affecter d'une manière très visible et sans ambiguïté la voie centrale au sens le plus chargé dans le cas de profil en long relativement plat. Il reste bien entendu que dans le cas de profil en long à forte rampe, deux voies seront alors affectées normalement à la circulation montante. Il est souhaitable d'éviter des modifications trop fréquentes de cette affectation. On peut, même dans ce dernier cas, n'affecter la voie centrale qu'aux périodes où la capacité des voies latérales est insuffisante pour faire face au trafic.

2.3.2 NOMBRE DE VOIES PAR TUBE

Dans les ouvrages à section voûtée ou circulaire, il est exceptionnel pour des raisons de difficultés d'exécution et des coûts de construction, qu'un tube comporte plus de 3 voies de circulation. On pourrait éventuellement déroger à cette disposition (en zone urbaine notamment) sans dépasser 4 voies et en donnant toutes justifications. Dans certains cas de mauvais terrains ou de méthodes d'exécution (tunneliers par exemple), il peut arriver également que l'on soit obligé de se limiter à 2 voies.

Il en résulte que sur autoroute (ou route express à 2 ou 3 voies par sens) les tunnels sont dédoublés. Si l'échéance de saturation est lointaine, il est raisonnable de limiter le nombre de voies à 2 par sens. Dans le cas contraire, il est préférable de construire immédiatement un profil à 3 voies, pour éviter le dédoublement ultérieur de l'itinéraire.

Dans les ouvrages à section rectangulaire, il n'existe théoriquement pas d'inconvénient majeur à prévoir, notamment en zone urbaine, des ouvrages comportant jusqu'à 5 ou 6 voies de circulation. La stabilité de l'excavation ne pose pas les mêmes problèmes que dans le cas des tunnels creusés et le coût marginal d'une voie supplémentaire est moins élevé, compte-tenu du fait que la section transversale est simplement proportionnelle à la largeur de la plate-forme.

2.4 NIVEAU DE SERVICE

2.4.1 ADAPTATION À LA SITUATION DE L'OUVRAGE ET À LA CLASSE DE L'ITINÉRAIRE

Il est très important d'adapter le mieux possible le niveau de service à la situation de l'ouvrage et à la classe de l'itinéraire. En effet, il est primordial pour l'utilisateur que le service rendu à l'intérieur de l'ouvrage souterrain soit homogène ou légèrement inférieur à ce qu'il a eu l'habitude de rencontrer sur le reste de l'itinéraire, de manière à ce que le point singulier qu'est le tunnel ne soit pas trop mal perçu.

On distingue de ce point de vue :

- les ouvrages courts sur autoroute qui requièrent un niveau de service élevé, pour des raisons d'homogénéité avec le reste de l'itinéraire,

- les ouvrages longs sur route ou autoroute qui, sauf lorsqu'il s'agit d'itinéraires proches de la saturation, peuvent présenter un niveau de service un peu moins élevé pour des raisons économiques,
- Les ouvrages courts rapprochés sur un même itinéraire à traiter d'une façon identique pour obtenir les mêmes niveaux de service,
- les ouvrages sur voie urbaine, généralement appelés à des pointes élevées ou même à la congestion du trafic pour lesquels il convient d'obtenir les niveaux de service les plus élevés possibles, et de soigner particulièrement les accès et débouchés dont la moindre insuffisance déclenche la congestion,
- les ouvrages de montagne ou en site difficile qui constituent, en général, des cas particuliers à examiner en fonction de la classe de l'itinéraire.

2.4.2 DÉTERMINATION DE LA VITESSE DE RÉFÉRENCE DANS L'OUVRAGE

La pénétration des usagers en tunnel s'accompagne nécessairement d'une brutale modification d'ambiance et d'environnement. Pour des raisons économiques, il n'est, généralement, pas possible de dimensionner la section transversale et les équipements du tunnel de façon suffisante pour éliminer cet inconvénient. Il est généralement conseillé de fixer une vitesse de référence moins élevée que celle de l'itinéraire dans lequel le tunnel est inséré. Ceci est surtout valable pour les itinéraires à très grande vitesse. On pourra s'inspirer des valeurs indiquées dans le tableau du § 2.4.3. Lorsqu'il s'agit d'un tunnel isolé important ou d'une succession de tunnels, il y a lieu d'examiner les répercussions économiques d'une limitation de vitesse dans les tunnels ou sur l'ensemble de la section comportant des ouvrages souterrains.

La valeur retenue pour la vitesse de référence en tunnel, intervient non seulement dans la détermination des caractéristiques géométriques de l'ouvrage, mais également dans le dimensionnement des équipements (niveau et longueur des suréclairages d'entrée, pistonement de l'air par les véhicules, seuil d'opacité à respecter pour assurer une distance de visibilité supérieure ou égale à la distance d'arrêt, etc.).

2.4.3 RÉGLEMENTATION DE LA CIRCULATION

Le problème d'ensemble de la réglementation de la circulation est traité dans la section Exploitation du document n° 4.

L'attention est attirée sur la nécessité d'envisager dès le stade des études géométriques les grandes lignes de la réglementation de la circulation afin d'estimer l'incidence sur le niveau de service offert aux usagers. En outre, certains choix conditionnent dans une large mesure le dimensionnement géométrique complet de l'ouvrage : profil en travers, tracé en plan et profil en long.

Cette réglementation pourra concerner :

- l'interdiction de changement de file, portée à la connaissance de l'utilisateur par des bandes de peinture pleines entre les voies ; cette mesure n'est en-

visageable que dans les ouvrages où ne se posent pas de problèmes aux sorties ; elle est impérative dans les tunnels bidirectionnels à 2 voies ;

- l'interdiction de dépassement pour les poids lourds quand le changement de file est autorisé (pour les ouvrages unidirectionnels) ;

– la limitation de la vitesse autorisée en tunnel, qui pourra être inférieure à la vitesse de référence (sans diminuer la capacité jusqu'à une valeur de l'ordre de 50 km/h) ;

– la fixation d'une vitesse minimale à observer (de l'ordre de 50 km/h dans certains ouvrages longs) où l'expérience a montré que certains usagers ralentissent d'une façon exagérée.

Il n'est pas possible d'édicter, en la matière, de loi générale. Il convient cependant, dans chaque cas d'espèce, de s'inspirer des indications suivantes qui résultent d'une recherche sur les problèmes économiques tant en investissement qu'en exploitation :

– les tunnels courts et rectilignes (longueur inférieure à 100 ou 150 mètres) ne constituent pas, en principe, une difficulté importante, dès lors que leur courte longueur permet d'assurer la vision, par effet silhouette sur la sortie, des obstacles éventuellement présents sur la chaussée ;

– dans certains tunnels longs (1 à 2 km au moins), lorsque son adaptation visuelle est effectuée, l'utilisateur a quelquefois tendance à se remettre en vitesse de façon exagérée quelques centaines de mètres après l'entrée. On doit alors limiter la vitesse à la traversée de l'ouvrage. A la sortie l'utilisateur réduit lui-même la vitesse si le phénomène d'éblouissement est graduel. Si, c'est généralement le cas, il n'en est pas ainsi, il convient de prescrire une réduction de vitesse suffisamment loin de la sortie pour que la sortie du tunnel soit abordée à vitesse modérée. On aura cependant intérêt à ce que la réglementation de la vitesse soit uniforme tout au long de l'ouvrage. Il convient également de réfléchir au respect de la réglementation de la part des usagers, des vitesses imposées trop basses n'étant alors pas crédibles vis-à-vis des conducteurs.

– les successions d'ouvrages rapprochés présentent des difficultés particulières. Il n'est cependant pas souhaitable d'imposer des limitations de vitesses trop fréquemment variables sur des sections courtes. C'est plutôt sur l'ensemble de la section d'itinéraire comportant des tunnels qu'il conviendra de réduire la vitesse.

Si par exemple, sur une section de plusieurs kilomètres règne une succession de tunnels, il convient de procéder, préalablement à la détermination des caractéristiques géométriques de l'ensemble du tracé, à une analyse approfondie des conditions de circulation et de sécurité à la traversée des différents ouvrages. On peut être conduit à adopter sur l'ensemble de la section une vitesse de base plus faible mais plus homogène avec les vitesses imposées par la sécurité.

La détermination de la vitesse à autoriser dans l'ouvrage doit, dans chaque cas, tenir compte notamment des éléments suivants :

- classe et catégorie de l'itinéraire,

- conditions de circulation, structure et répartition du trafic,
- nature et fluidité des accès (position des échangeurs d'entrée et sortie, présence de carrefours à feux, profil en long...),
- profil en long du tunnel et de ses accès,
- profil en travers du tunnel,
- conditions d'éblouissement aux entrées et sorties.
- visibilité assurée dans l'ouvrage (ventilation, éclairage),
- tracé en plan.

Dans certains cas (autoroute de liaison ou voie rapide urbaine notamment), il est souvent préférable d'imposer une fourchette de vitesse plus qu'une vitesse maximale à ne pas dépasser. On doit alors s'assurer que les caractéristiques géométriques (profil en long et tracé en plan) du tunnel et de ses accès permettent effectivement à tous les véhicules devant emprunter le tunnel (et notamment aux camions lourds) de placer leur vitesse dans la fourchette recommandée.

Sous les réserves évoquées ci-dessus, on peut s'inspirer à titre indicatif, des recommandations portées dans le tableau n° 2.3 :

FIG. 2.3

VITESSE MAXIMALE RECOMMANDÉE DANS LES TUNNELS		
Catégorie de l'itinéraire	Vitesse de référence de l'itinéraire	Vitesse maximale recommandée au passage des tunnels, en km/h
Autoroute de liaison ou voie rapide urbaine (circulation à sens unique)	120	100 ou fourchette 80 - 120 (tunnel court)
	100	80 ou fourchette 70 - 90
	80	60 à 80
	60	60
Route à 3 voies (2 + 1) (circulation à double sens)	variable	60 à 80 (fonction des accès)
Route à 2 voies (circulation à double sens)	variable	40 à 60 (fonction des accès)

On se reportera à la section Exploitation du document n° 4 où ces problèmes sont traités dans le cadre de l'exploitation des tunnels.

On rappelle également l'influence considérable de la vitesse sur le dimensionnement de l'éclairage (voir la section Eclairage du document n° 4).

CHAPITRE 3

TRACÉ EN PLAN

3.1 FACTEURS D'ANALYSE

Il s'agit ici exclusivement des facteurs géométriques qui affectent la détermination du tracé en plan, mais celle-ci est une opération plus complexe, qui prend en compte également les facteurs d'ordre géologique, ainsi que des considérations d'exploitation et d'équipement.

La fixation du tracé d'un tunnel dépend de l'ensemble de l'itinéraire sur lequel il est situé et on doit en particulier toujours vérifier les conditions de stabilité des véhicules et de visibilité minimale correspondant à la vitesse de référence. Néanmoins, il peut arriver qu'on fixe par priorité l'implantation des tunnels, en raison de leur importance ou des impératifs du site. Le tracé des approches en découlera, dans le cadre des valeurs minimales imposées par la vitesse de référence.

Le tracé en plan d'un long tunnel est fréquemment courbe, pour diverses raisons :

- rechercher un axe perpendiculaire aux courbes de niveau pour l'implantation des têtes, ou perpendiculaire aux discontinuités majeures du massif,
- contourner les mauvais terrains, les accidents géologiques et autres sources d'aléas présumés,
- relier des têtes dont l'implantation n'aurait guère de latitude, notamment du fait de l'environnement ou de la géologie et des conditions d'attaque,
- éviter l'éblouissement d'une sortie lumineuse en bout du tunnel rectiligne de plus de 150 m de longueur ; cette raison en fait n'est qu'un souhait, les autres éléments de décision l'emportant souvent (notamment au niveau du génie civil).

3.2 IMPLANTATION DES ACCÈS ET DES TÊTES

3.2.1 PRÉCAUTIONS DE TRACÉ AU VOISINAGE DES TÊTES DE TUNNEL

A proximité d'une entrée de tunnel, la section d'approche à l'air libre ne doit présenter aucune perte de tracé ni aucun écran de visibilité, de façon que le tunnel soit visible au moins 15 secondes à l'avance en toute circonstance. Cette condition est indispensable en rase campagne et souhaitable en zone urbaine. En outre, il est recommandé d'éviter les pertes de tracé à la sortie du tunnel. Dans le cas des ouvrages unidirectionnels, certaines règles doivent être respectées vis-à-vis de l'écartement entre tubes pour des raisons de stabilité générale du massif. On se reportera à ce sujet au document 3 Génie civil qui indique la démarche à suivre.

3.2.2 ENTRÉES ET SORTIES EN TUNNEL

3.2.2.1 Bifurcations et jonctions à l'intérieur d'un tunnel

L'implantation en souterrain doit être en principe proscrite. En effet, la visibilité dans un tunnel, même si ses équipements sont largement dimensionnés, est toujours moins bonne qu'à l'air libre. En particulier, l'expérience montre que la visibilité latérale nécessaire aux manœuvres de changements de voie n'est pas toujours suffisante et que ces manœuvres sont dangereuses.

En zone urbaine cependant il se peut que le schéma général du réseau des voies de surface conduise à envisager l'implantation, à l'intérieur d'un tunnel, d'échanges. On peut, à la rigueur, tolérer :

- les bifurcations, à condition que, grâce à une affectation des véhicules selon la destination avant leur entrée dans le tunnel, il n'y ait pas (ou très

peu) de manœuvres de changement de voies à l'intérieur de l'ouvrage ; cette tolérance ne pourra être prise en compte que si les conditions de visibilité sur le point de choix sont suffisantes afin que cette affectation soit pleinement efficace ; les capacités des bifurcations doivent, bien entendu, être suffisantes pour absorber le débit sortant et éviter les accumulations de véhicules à l'amont dans le tunnel ;

– les jonctions, si elles sont inévitables et si on prend les dispositions nécessaires pour que les manœuvres de convergence puissent s'opérer en sécurité. Après la convergence, il est nécessaire que le nombre de voies soit égal à la somme du nombre des voies affluentes à l'amont. Si cela n'est absolument pas possible, il convient d'étudier les dispositifs de signalisation lumineuse appropriés à la situation, ce qui constitue un problème difficile. Un renforcement de l'éclairage du tunnel dans ces zones est nécessaire.

Dans le cas où il n'est pas possible d'adopter les dispositions précédentes, l'exploitation de l'ouvrage sera difficile et nécessitera plus d'interventions et la sécurité risque d'être imparfaitement assurée.

3.2.2.2. Section d'entrecroisement

En règle générale, la tendance actuelle, favorable à la sécurité, consiste à obtenir une circulation en files déterminées par des lignes peintes continues. Les sections d'entrecroisement doivent être prosrites dans toute la mesure du possible. En zone urbaine, il arrive cependant qu'elles soient inévitables.

3.2.3 BIFURCATIONS ET JONCTIONS À L'EXTÉRIEUR D'UN TUNNEL PRÈS DES EXTRÉMITÉS

Les manœuvres de changement de voies entraînent toujours des ralentissements de véhicules et même des accidents si les conditions de sécurité ne sont pas respectées. Il se produit alors des répercussions souvent importantes et lointaines à l'amont de la bifurcation ou de la jonction lorsque le débit de la voie secondaire est important.

Avant tout, il faut éviter d'implanter des voies de bifurcation ou de jonction immédiatement à proximité d'une entrée ou d'une sortie de tunnel.

Ainsi, les bifurcations et jonctions doivent être éloignées des entrées ou des sorties d'un tunnel, et situées à des distances variables selon la catégorie de l'itinéraire et les conditions locales. En règle générale, une distance minimale de l'ordre de 300 m est recommandée entre l'extrémité du tunnel et, pour les bifurcations, le point de sortie "au plus tard" ou, pour les jonctions, le point d'entrée "au plus tard".

La disposition et les longueurs des différentes parties du raccordement doivent impérativement être conformes aux prescriptions des instructions mentionnées en 1.2.

3.2.4 ÉCHANGEURS DE DÉVIATION

Outre le cas où l'implantation d'échangeurs à proximité de tunnels est rendue nécessaire par les besoins de desserte, on peut être amené en site urbain, ou en cas d'ouvrage d'une certaine longueur, à prévoir avant les entrées des échangeurs de déviation pour faire face aux situations exceptionnelles qui pourraient nécessiter la fermeture temporaire de l'ouvrage. Les itinéraires de déviation doivent être soigneusement établis et convenablement signalés.

3.2.5 IMPLANTATION DES BARRIÈRES DE PÉAGE

En général, les péages de tunnel sont perçus avant l'entrée en tunnel à une distance suffisante pour isoler les péagistes de l'air pollué sortant du tunnel et pour permettre aux véhicules d'aborder le tunnel en régime normal, où ils dégagent moins de polluants qu'en accélérant. Il arrive, pour des raisons d'économie, qu'il n'existe qu'un seul péage à une extrémité contrôlant les deux sens de circulation. Les installations terminales (nombre de guichets), les aires de stockage des véhicules et les modalités d'exploitation doivent alors permettre d'obtenir le débit normal de pointe de l'année horizon et ne pas conduire à des reflux des véhicules au pas ou à l'arrêt dans l'ouvrage.

Les installations souterraines de péage sont à éviter.

Pour les tunnels autoroutiers à sens unique où l'accumulation de véhicules est plus rapide et plus importante, la barrière de péage doit être au moins à 300 m en amont de la tête d'entrée. Cette valeur est une valeur minimale et on cherchera à l'augmenter le plus possible, particulièrement dans les sections en rampe afin de donner la possibilité aux véhicules lents de s'élancer et de se stabiliser sur le plan de la vitesse. Il arrive également qu'il soit impossible de la placer ailleurs qu'à l'aval d'un tunnel.

3.3 TRACÉ EN PLAN ET DÉVERS ASSOCIÉS

3.3.1 RAPPEL DES INSTRUCTIONS POUR L'AIR LIBRE

3.3.1.1 ICTAAL

CATÉGORIE	L 80	L 100	L 120
Rayon minimal Rm (m)	240	425	665
Rayon au dévers minimal Rdm (m)	650	900	1 500
Rayon normal non déversé Rnd (m)	900	1 300	1 800

REMARQUES :

- les courbes de rayon supérieur ou égal à Rnd ne sont pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage,
- les courbes de rayon compris entre Rnd et Rdm sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente transversale de 2,5 %.

– les courbes de rayon inférieur à Rdm sont déversées vers l'intérieur du virage avec une pente transversale dont la valeur est fixée par interpolation linéaire en fonction de 1/R entre 2,5 % pour Rdm et 7 % pour Rm.

RAPPEL IMPORTANT CONCERNANT LE CHOIX DE LA CATÉGORIE :

Les autoroutes de liaison (ou leurs sections) sont classées, quant à leurs caractéristiques géométriques en trois catégories : L 80, L 100 et L 120, qui caractérisent l'importance et la fréquence des points particuliers.

A chaque catégorie est associée une vitesse conventionnelle dite "vitesse de référence" qui permet de définir certaines des caractéristiques géométriques limites d'aménagement des points particuliers.

La "vitesse de référence" ne doit pas être confondue avec la vitesse pratiquée sur l'autoroute, surtout en dehors des points particuliers et des zones de transition qui les encadrent.

Le choix de la catégorie est notamment conditionné par le site (relief, occupation du sol...) dans lequel s'inscrit la voie, et doit rester cohérent avec la perception qu'en aura l'utilisateur. La réflexion globale doit aussi s'appuyer sur les conséquences économiques du choix de telle ou telle catégorie.

La catégorie L 80 est réservée aux sites particulièrement difficiles.

Le choix de la catégorie L 100 doit être justifié par une étude comparative avec la catégorie L 120.

Il convient de retenir la catégorie L 120 lors des travaux complémentaires à effectuer sur une autoroute initialement conçue selon l'instruction de 1971 avec une "vitesse de référence" de 140 km/h.

La vitesse de référence Vr d'une section de route est la vitesse qui permet de définir les caractéristiques minimales d'aménagement de ses points particuliers. Une section homogène ne présente donc normalement nulle part de caractéristiques plus sévères que les valeurs lues dans la colonne correspondante, mais peut en revanche en présenter de meilleures sur la majeure partie de sa longueur.

3.3.1.2 ICTARN

Les caractéristiques en plan tracés par l'ICTARN sont définies par la fig. 3.0.

Le choix de la catégorie de la route (et donc de sa vitesse de référence) résulte de la comparaison économique.

Cette vitesse de référence ne doit pas être non plus confondue avec la vitesse pratiquée sur la route.

3.3.1.3 ICTAVRU

Catégorie	U 60	U 80	A 80	A 100
Rayon minimal (dévers 5 % pour cat. A)	120	240	240	245
Rayon au dévers minimal (dévers associé + 2,5 % pour cat. A)			300	500
Rayon normal non déversé (dévers associé - 2,5 % pour cat. A)	200	400	400	800

REMARQUE :

Sur les voies de type U, les courbes de faible rayon ne sont pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage ; ce sont les conditions d'évacuation des eaux qui sont déterminantes.

RAPPEL CONCERNANT LE CHOIX DE LA CATÉGORIE

a) Voies rapides urbaines à caractère autoroutier : voies de type A.

Ce sont des voies dont les objectifs sont :

- trafic de transit privilégié,
- intégration du projet dans un itinéraire autoroutier exigeant une homogénéité de caractéristiques géométriques et une continuité de la qualité de service,
- une faible interaction fonctionnelle entre la voie et le site,

soit :

- forte proportion des trafics d'échange et local et débits importants,
- fréquence de points d'échange relativement importante.

Ces voies sont dimensionnées pour des vitesses de référence de 80 km/h ou 100 km/h.

FIG. 3.0 - Caractéristiques en plan fixées par l'ICTARN

Vitesse de référence (Vr)	40	60	80	100	120
Catégorie	4 ^e cat.	3 ^e cat.	2 ^e cat.	1 ^{re} cat.	Cat. exception.
Rayon minimal absolu RHm (dévers associé : 7 %)	40	120	240	425	665
Rayon minimal normal RHN (dévers)	120 (5 %)	240 (5 %)	425 (5 %)	665 (4 %)	1000 (4 %)
Rayon au dévers minimal RH'' (dévers associé : Béton bitumineux : 2,5 %)	250	450	650	900	1500
(dévers associé : Béton de ciment : 2 %)	300	500	700	1000	1600
Rayon non déversé RH' (dévers associé : - 2,5 % ou - 2 %)	400	600	900	1300	1800

Cependant, pour des voies répondant à la première série d'objectifs, on essaiera de retenir la Vr 100 et, dans le second cas, on n'essaiera pas systématiquement d'obtenir des caractéristiques en tracé en plan et profil en long très supérieures à celles correspondant à la Vr 80, étant entendu que le choix de la vitesse de référence résulte des considérations techniques et économiques.

Ces voies ont l'ensemble de leurs points d'échange dénivelés à terme.

b) Autres voies rapides urbaines :
voies de type U

Ce sont des voies dont les objectifs consistent en :

- relations fonctionnelles avec un site très urbanisé immédiatement ou dans le futur,
- trafic d'échange et local prépondérant,
- points d'échanges fréquents assurant une bonne irrigation du tissu traversé,
- intégration éventuelle dans leur emprise, mais de façon séparée des chaussées (contre-allées) d'aménagements pour les deux roues légers et les piétons, ainsi que d'arrêts pour les transports en commun.

Ces voies sont dimensionnées pour des vitesses de référence de 80 km/h ou 60 km/h, le choix entre Vr 80 et Vr 60 se faisant par examen de l'ensemble des autres objectifs. On peut par exemple retenir la Vr 80 de préférence à la Vr 60 lorsque les contraintes ne sont pas trop fortes, ou lorsque la part de trafic à moyenne distance est importante par rapport aux trafics locaux.

Elles comportent à terme des carrefours plans, mais certains échanges peuvent être dénivelés.

3.3.2 APPLICATIONS AUX TUNNELS ROUTIERS

A) Dévers en courbe

On appliquera les prescriptions des instructions en vigueur rappelées ci-dessus ; la pente transversale de la chaussée est dirigée vers l'intérieur de la courbe pour tout rayon inférieur au rayon au dévers minimal.

Les courbes de plus fort rayon ne seront pas nécessairement déversées vers l'intérieur du virage ; il conviendra de prendre en considération les problèmes liés à l'évacuation des eaux et à toutes les conséquences possibles sur le profil en travers de l'ouvrage.

B) Dévers en alignement droit

Les ouvrages souterrains étant normalement protégés des eaux de pluie, les dévers en alignement droit, en raison des problèmes liés au profil en travers dans de nombreux tunnels, pourraient être limités à 1 % (au lieu des 2,5 % ou 2 % recommandés à l'air libre), sur toute la largeur roulable. Toutefois, il faut cependant drainer le plus rapidement les eaux d'infiltration, les eaux de lavage ou les liquides provenant d'accident mettant en cause des camions citernes (très important pour les matières dangereuses). Il convient d'éviter que sur le plan strict de l'écoulement naturel des liquides, la pente longitudinale soit trop forte

par rapport à la pente transversale avec pour conséquence d'augmenter la longueur de la flaque, ce qui est néfaste sur le plan de la sécurité. On s'attachera donc dans la majorité des cas de pente ou rampe supérieure à 2 %, à conserver le dévers minimum de 2 %.

C) Précautions diverses

En tunnel, le choix de l'axe de rotation des dévers a une incidence sur le profil en travers de l'ouvrage. Un changement d'axe de référence par rapport à l'air libre peut s'avérer économiquement très rentable.

Lors de la définition du profil en travers au niveau de l'avant-projet, les problèmes liés au dévers et à l'évacuation des eaux doivent être regardés de très près, car ils conditionnent en grande partie la définition géométrique de l'ouvrage.

Dans le cas d'ouvrages avec faux plafond de ventilation, il conviendra de réfléchir à la possibilité de faire suivre les dévers au faux plafond et de la comparer à la solution consistant à le concevoir horizontal. Ce problème a une incidence directe sur les coûts d'investissement (surexcavation) ainsi que sur les puissances électriques en ventilation, et donc sur les coûts d'exploitation.

3.4. VISIBILITÉ DANS LES TUNNELS COURBES

3.4.1 DISTANCE DE VISIBILITÉ SELON LA VITESSE PRATIQUÉE

La distance de visibilité à assurer en fonction de la vitesse pratiquée sera au moins égale à la distance d'arrêt (distance de freinage + distance perception - réaction), telle que définie dans le tableau ci-après.

Vitesse pratiquée (km/h)	140	120	110	100	80	60	40
Distance d'arrêt en alignement droit ou en courbe $R (m) > 5V (km/h)$	320	230	190	160	105	70	40
Distance d'arrêt en courbe $R (m) \leq 5V (km/h)$	390	280	225	180	120	80	45
Distance d'arrêt sur sol sec (en alignement droit) (pour mémoire)			125	110	75	55	35

REMARQUES :

Dans la première partie du tableau, les distances données sont calculées pour des conditions déterminées, à savoir : en palier, chaussée moyenne, roue bloquée, pneu europe, hauteur d'eau 1 mm.

Dans la deuxième partie, nous avons mentionné les distances d'arrêt sur sol sec et en alignement droit.

On trouvera en figure 3.1 les minorations et majorations à appliquer sur les distances d'arrêt en fonction des déclivités telles qu'elles ont pu être évaluées à partir des courbes explicitées dans l'ICTAVRU.

Dans le cas où il doit y avoir décision de la part du conducteur, la distance d'arrêt doit être augmen-

tée d'une longueur permettant le choix et la décision soit 6 s (réf. ICTAVRU).

Dans le cas de tunnels très longs (dépassant 2 km en unidirectionnel et 4 km en bidirectionnel) et lorsque l'étanchement est très bon, les distances d'arrêt pourront être légèrement diminuées afin de tenir compte du fait que les conditions d'humidité (et donc de glissance) seront moins sévères qu'à l'extérieur ou dans les zones d'entrée (Apport d'humidité par les véhicules).

Les valeurs proposées pour les distances d'arrêt sont des arrondis par rapport à la formulation mathématique du phénomène. Dans certains cas très contraignants de site, on aura éventuellement intérêt à reprendre les valeurs précises mentionnées dans les annexes de l'ICTARN.

FIG. 3.1

Influence des déclivités sur la distance d'arrêt
Longueur de majoration ou de minoration (en m)

déclivité % \ vitesse km/h	- 6	- 4	- 2	0	+ 2	+ 4	+ 6
110	35	22	10	0	- 9	- 16	- 22
100	29	16	6	0	- 7	- 11	- 15
90	16	11	4	0	- 5	- 8	- 9
80	11	7	3	0	- 3	- 6	- 8
70	7	5	3	0	- 2	- 3	- 7
60	4	3	2	0	- 1	- 1	- 4
50	2	1	1	0	- 1	- 1	- 2
40	1	1	1	0	- 1	- 1	- 1

3.4.2 DÉGAGEMENT LATÉRAL AUX VUES

Les prescriptions des instructions en vigueur relatives aux conditions générales de visibilité sont rappelées ci-après :

L'œil du conducteur est supposé placé :

- à 1,00 m de hauteur au-dessus de la chaussée,
- à 2,00 m du bord droit de la voie élémentaire sur laquelle le véhicule circule (courbe à droite),
- à 1,50 m du bord gauche de la voie élémentaire la plus à gauche (courbe à gauche).

Les obstacles éventuels sur la chaussée sont supposés avoir une hauteur de :

- 0,15 m (obstacle éventuel dangereux),
- 1,20 m (véhicule),
- 0,35 m (feux arrières d'un véhicule).

Pour les obstacles permanents, on prend en compte leur hauteur réelle et notamment 0 pour une bande de peinture sur chaussée.

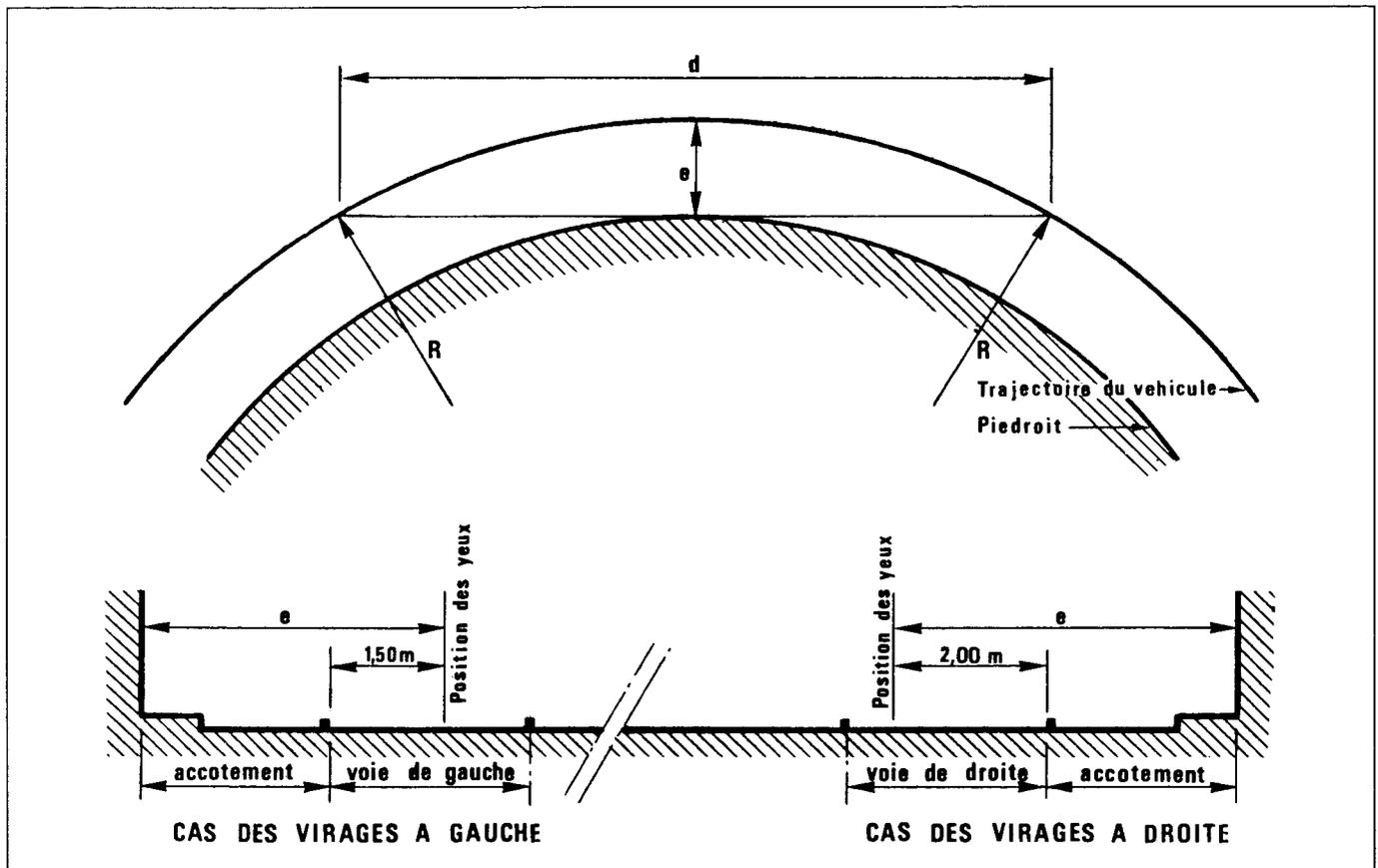
La visibilité latérale peut se vérifier par des constructions géométriques directes.

Dans une courbe de rayon R (m) (pris sur l'axe de la voie suivie), la relation entre la distance de visibilité assurée d (m) et le dégagement latéral aux vues e (m) (distance entre l'œil et le piedroit convexe) est donnée par la formule :

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

L'usage de cette formule est différent selon que le rayon R est imposé ou peut être modifié substantiellement au-delà des valeurs requises par la vitesse de base envisagée.

FIG. 3.2 - Vérification du dégagement latéral



Lorsque le rayon R est imposé, la valeur du dégagement latéral e qui résulte du profil en travers considéré, donne la distance de visibilité d réalisée à comparer avec la valeur correspondante de la vitesse de référence (selon le tableau du § 3.4.1). Dans le cas où la valeur trouvée est insuffisante, il faut alors soit abaisser cette vitesse au niveau imposé par d, ou soit reculer le piédroit (accroissement de e à la valeur $d^2/8R$).

La limitation de vitesse est généralement préférable à l'élargissement onéreux de la section en courbe, sauf type de construction favorable (par exemple tranchée couverte) : il s'agit ici d'une option fondamentale dans la définition géométrique du tunnel.

Lorsque le rayon R n'est pas imposé, la formule permet de vérifier que chaque courbe du tunnel offre la visibilité correspondant à la vitesse pratiquée, et lorsqu'elle ne l'offre pas, d'en accroître le rayon pour y parvenir.

On trouvera en figure 3.3 un tableau permettant de vérifier les conditions de visibilité en fonction de la vitesse pratiquée (V en km/h) du rayon en plan (R en m) et de la distance au piédroit (e en m), et ce pour des sections sans déclivité.

Pour les sections en déclivité, on déterminera la vitesse d'arrêt comme indiquée au paragraphe 3.4.1 et on appliquera la formule ci-dessus pour calculer e.

3.4.3 CONDITIONS PARTICULIÈRES IMPOSÉES AUX TUNNELS

Les dispositions indiquées ci-dessus sont strictement minimales et ne tiennent pas compte des difficultés spécifiques aux tunnels routiers :

- difficultés de perception dues à la présence de fumée de diesels, de poussières toujours plus ou moins en suspension en espace semi-clos, éclairage artificiel toujours très inférieur aux éclairages naturels quelque effort d'équipement qui soit fait, défaut de vision dû au changement brusque des luminances rencontrées dans le champ visuel après l'entrée dans un tunnel, etc...

- conditions de freinage différentes de celles rencontrées à l'air libre avant l'entrée en tunnel : dans certains tunnels des infiltrations d'eau ne peuvent être évitées et se répandent quelquefois sur la chaussée. En outre, les chaussées de tunnels, non lavées par l'eau de pluie, sont plus grasses qu'à l'air libre.

Les rayons trop faibles (inférieurs à 500 m) peuvent poser éventuellement des problèmes aux techniciens du génie civil, en particulier si le creusement envisagé est réalisé par une machine foreuse pleine section. Toutefois, les problèmes les plus importants sont relatifs au respect des conditions de visibilité pour l'utilisateur.

FIG. 3.3

Relations entre la distance au piédroit, la vitesse et le rayon de courbure
 $e = f(V, \text{Rayon})$

Rayon m	V km/h					Rayon m	V km/h				
	40	60	80	100	110		40	60	80	100	110
100	2,5	8				550		1,1	2,5	5,8	11,5 / 8,2
150	1,7	5,3				600		1	2,3	5,3	7,5
200	1,3 / 1	4	9			650		0,9	2,1	4,9	6,9
250	0,8	3,2	7,2			700		0,9	2	4,6	6,4
300		2,7 / 2	6			750		0,8	1,8	4,3	6
350		1,7	5,1			800		0,8	1,7	4	5,6
400		1,5	4,5 / 3,4	10,1		850			1,6	3,8	5,3
450		1,4	3,1	9		900			1,5	3,6	5
500		1,2	2,8	8,1 / 6,4	12,7	950			1,4	3,4	4,8



Cases dont le rayon en plan est inférieur aux rayons normalement réglementaires pour la vitesse de référence.

CHAPITRE 4

PROFIL EN LONG

Les caractéristiques du profil en long d'un tunnel sont à déterminer en tenant compte :

- du profil en long des accès,
- de l'hydrogéologie du site,
- de l'implantation des têtes.

Nous n'avons pas récapitulé ci-après les différents paramètres fondamentaux concernant le profil en long. On se référera aux instructions en vigueur (ICTAAL, ICTARN, ICTAVRU), les règles de base étant les mêmes en tunnel qu'à l'air libre. On a cherché simplement à mettre en valeur les problèmes particuliers aux ouvrages souterrains.

4.1 TUNNELS À DÉCLIVITÉ UNIQUE OU EN TOIT

Le choix entre un profil à déclivité unique ou un profil en toit dépend principalement de l'étude hydrogéologique et de l'importance des venues d'eau (voir document Génie civil). Ce point est particulièrement important pour les ouvrages souterrains où il faut éviter un profil plat de manière à assurer correctement tant au niveau des caniveaux (ou fils d'eau) que des conduites spécialisées, une évacuation naturelle des différentes eaux (infiltration, drainage, lavages...).

4.1.1 RAMPES (déclivités en sens montant)

Une rampe minimale de 0,2 à 0,4 % est imposée pour assurer le drainage naturel du chantier, et ultérieurement en exploitation l'écoulement longitudinal des eaux d'infiltration et de lavage. La valeur à adopter dépend dans chaque cas de la longueur de l'ouvrage, des venues d'eau prévisibles (diffusées ou concentrées) ainsi que de la méthode d'exécution (une ou plusieurs attaques).

Il est recommandé d'éviter en tunnel des déclivités maximales supérieures à celles des accès au tunnel.

Il vaut mieux ne pas dépasser 2 % dans les tunnels lorsque leur longueur dépasse 400 m et se limiter, lorsqu'on le peut, à 1,5 % pour les raisons suivantes :

- Le débit d'émission de polluants (gaz toxiques et fumées) par les véhicules augmente en fonction de la rampe. L'augmentation est particulièrement

sensible pour la fumée dégagée par les poids lourds diesel à partir d'une rampe de 1,5 à 2 % (Voir document Equipements-section Ventilation),

- la vitesse des camions lourds décroît très vite avec la rampe (surtout à partir de 1,5 %). Des vitesses de 50 km/h et moins nuisent à l'écoulement du trafic et doivent être évitées. Elles ont notamment pour effet de réduire la capacité et d'augmenter le nombre de véhicules présents dans le tunnel, donc les besoins en ventilation. Une voie supplémentaire, très coûteuse en tunnel, supprimera les bouchons ou les réductions de débit mais n'évitera cependant pas le dégagement important de fumées par les diesels. On trouvera en 4.4 le rappel des différentes instructions sur l'aménagement des voies réservées aux véhicules lents,

- l'expérience montre que les rampes ont une influence très importante sur le nombre de véhicules en panne dans un tunnel. Pour pallier l'effet des pannes sur la réduction de capacité et sur les risques de collision, il est nécessaire de construire en surlargeur des garages surtout dans les tunnels longs en rampe dont la largeur roulable ne permet pas la circulation à vitesse réduite sur deux files en présence d'un véhicule en panne.

4.1.2 PENTES (déclivités en sens descendant)

Pour les ouvrages à sens unique, les pentes conduisent à une diminution des besoins de ventilation. Toutefois, il convient de souligner leur effet néfaste en cas d'incendie en raison de l'effet "cheminée". On se référera à ce sujet au document Equipements -section Ventilation.

Les fortes pentes sont dangereuses en tunnel en raison des vitesses excessives que certains conducteurs peuvent être tentés de pratiquer. De plus elles incitent les poids lourds à ralentir, ce qui peut nuire à la capacité de l'ouvrage.

On pourra utiliser les règles valables pour les ouvrages à l'air libre.

4.2 TUNNELS À POINTS BAS (ou en angle rentrant)

Dans les tunnels à point bas (généralement passages souterrains de voirie urbaine ou passages sous fluviaux) on doit s'assurer que les plafonds ne réduisent pas les distances de visibilité au-dessous des distances d'arrêt données par le tableau du § 3.4.1, tant dans les entrées qu'en section courante de l'ouvrage (cf. fig. 4.1).

REMARQUES :

Pour des ouvrages à gabarit réduit (circulation réservée aux voitures légères) l'œil du conducteur sera pris à 1 m du sol.

Pour les ouvrages à gabarit normal, le cas défavorable est celui des conducteurs de poids lourds. Dans ce cas, la hauteur est de 2,5 m par rapport au sol.

4.3 TUNNEL À POINT HAUT (ou en angle saillant)

Il convient d'appliquer les règles données par les instructions pour les routes à l'air libre, permettant d'assurer la visibilité d'un obstacle derrière l'angle saillant (voir Fig. 4.2).

Les yeux du conducteur sont supposés être situés à une hauteur h (1 m pour le cas des véhicules légers, les plus défavorables à cet égard),

Les obstacles à prendre en compte sont supposés avoir une hauteur de :

- objet éventuel sur la chaussée : $x = 0,15$ m,
- feux arrières d'un véhicule : $x = 0,35$ m,
- véhicule : $x = 1,20$ m,
- au sol (marquage routier) : $x = 0$ m.

FIG. 4.1 - Visibilité dans un tunnel à point bas

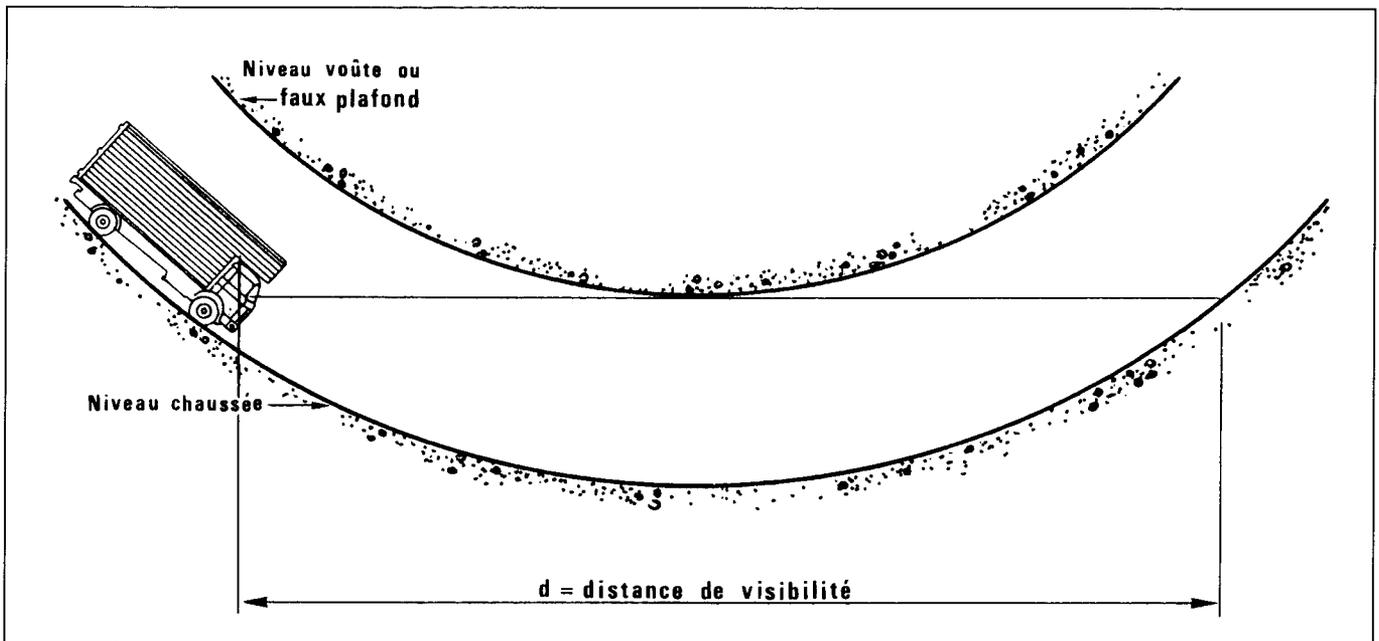
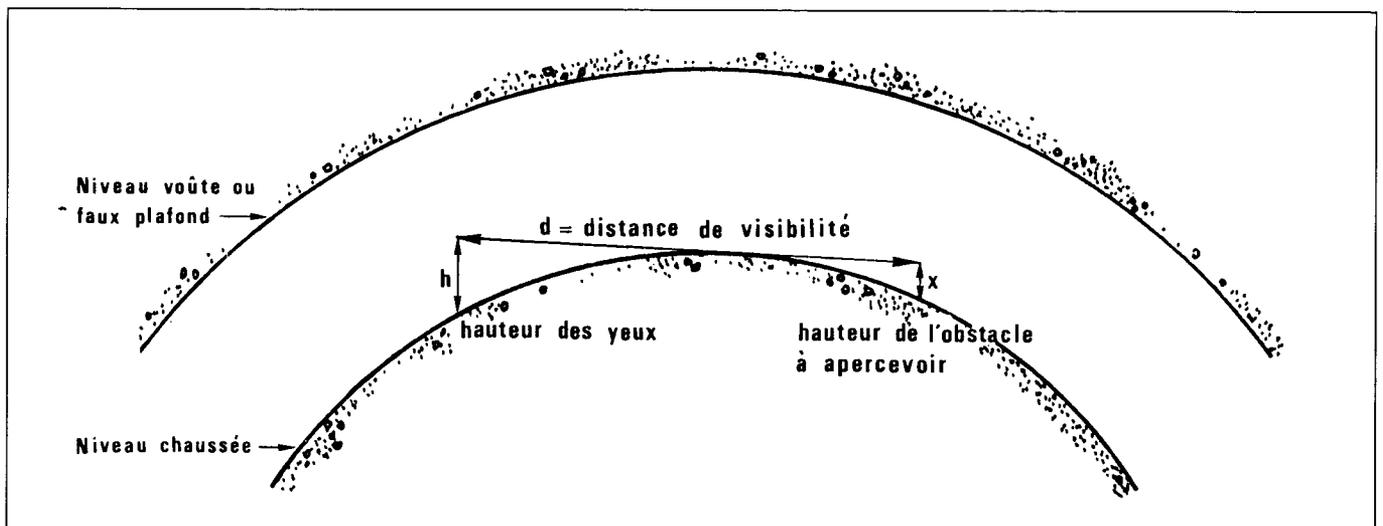


FIG. 4.2 - Visibilité dans un tunnel à point haut



Les règles générales du choix de l'obstacle à prendre en considération sont les suivantes :

- section courante :
 - normalement objet sur la chaussée,
 - exceptionnellement feux arrière d'un véhicule.
- voirie annexe, peu circulée : véhicule,
- dans le cas de souterrain en zone urbanisée où des changements d'affectation de file importants sont à attendre, il convient alors de prendre en compte le marquage du sol (attention, dans ce cas les distances d'arrêt devront être augmentées afin de prendre en compte les temps de décision).

4.4. VOIE SUPPLÉMENTAIRE EN RAMPE (pour véhicules lents)

Il a été vu auparavant en 4.1.1 que le profil en long avait une très grande importance sur la circulation lorsque l'on introduit de fortes rampes. Afin de remédier à cet état, le projeteur peut être alors tenté d'envisager une voie supplémentaire réservée aux véhicules lents (VSVL).

Cependant en souterrain, le coût supplémentaire entraîné par une VSVL est très important et sans commune comparaison avec un tracé à l'air libre. Pour cette raison, une méthode de choix afin de justifier une voie supplémentaire en rampe, basée sur de seules considérations économiques, en y incluant les avantages financiers pour l'usager, semble parfaitement illusoire.

En conséquence, on se contentera d'appliquer les règles générales édictées pour l'air libre et rappelées ci-après, basées sur la seule notion de vitesse (et non plus sur des critères économiques). Celles-ci pourront alors être transposées directement dans l'esprit pour la conception des ouvrages souterrains.

Les courbes de la figure 4.3 (page 26), établies par le SETRA, permettent de déterminer l'ordre de grandeur des vitesses atteintes par les poids lourds en fonction de leur vitesse initiale (90 km/h = trait plein, arrêt = trait tireté), de la rampe et de la longueur de celle-ci.

4.4.1 ICTAAL

Une voie supplémentaire banalisée peut être aménagée sur justification économique dans les sections en rampe, lorsque leur longueur et leur déclivité sont telles que la vitesse des véhicules lents est réduite à moins de 50 km/h.

On utilise les diagrammes de vitesse des véhicules lents, tels qu'ils peuvent résulter des mesures ou des programmes de calcul électronique, pour l'étude économique qui doit être faite afin de situer l'implantation optimale de l'origine et de l'extrémité de cette voie.

Toutefois, sur les autoroutes comportant des chaussées unidirectionnelles à plus de 2 voies, il n'y a pas lieu de prévoir de telles voies supplémentaires, sauf cas exceptionnel spécialement justifié.

REMARQUE : les études récemment menées montrent que pour les valeurs maximales de rampes, (de 5 à 7 % suivant la catégorie) les vitesses des véhicules lents (poids lourds pour l'essentiel) peuvent atteindre dans la condition la plus pénalisante :

Catégorie	L 80	L 100	L 120	
Rampe maximale				
	en montée	6 %	5 %	4 %
	en descente	6 %	6 %	5 %
V _{pl} (km/h)	30	40	50	

4.4.2 ICTAVRU

Pour des rampes supérieures à 3 %, on essaiera dans la mesure du possible de déterminer la vitesse des poids lourds dans la rampe en fonction de la longueur, afin de connaître à partir de quel point la vitesse des poids lourds devient très inférieure à celle des autres usagers, perturbant ainsi en heure creuse, le confort, et en heure de pointe, la capacité. La détermination de la vitesse atteinte par les poids lourds dans la rampe pourra être effectuée à l'aide de mesures, par consultation de courbes ou au moyen d'un programme de calcul électronique.

En fonction des résultats obtenus et du niveau de service offert à l'usager sur la voie, on pourra envisager d'ajouter une voie supplémentaire au nombre de voies déterminé par le trafic en UVP/h (où le coefficient d'équivalence PL est de 2), dans la section où la vitesse des PL chute en-dessous de 40 km/h.

4.4.3 ICTARN

L'étude économique permet de déterminer les déclivités à adopter et les aménagements à prévoir pour les rampes (ou pentes) correspondantes.

La diminution de vitesse des véhicules rapides due à la gêne apportée à la circulation par les véhicules lents dans les rampes peut justifier la construction d'une voie supplémentaire pour les véhicules lents.

Pour des trafics inférieurs à 15 000 véh/jour sur routes à 4 voies ou 2 fois 2 voies, et à 10 000 véh/jour sur routes à 2 ou 3 voies, la rentabilité de telles voies est surtout assurée pour des rampes de grande longueur, et pour des routes à chaussée unique bidirectionnelle à 2 voies où la visibilité de dépassement n'est pas assurée dans la rampe.

REMARQUE : la tendance actuelle et l'évolution de la doctrine vont vers la banalisation de cette voie. La notion de "voie spéciale pour véhicules lents" est donc à remplacer par celle de "voie supplémentaire en rampe".

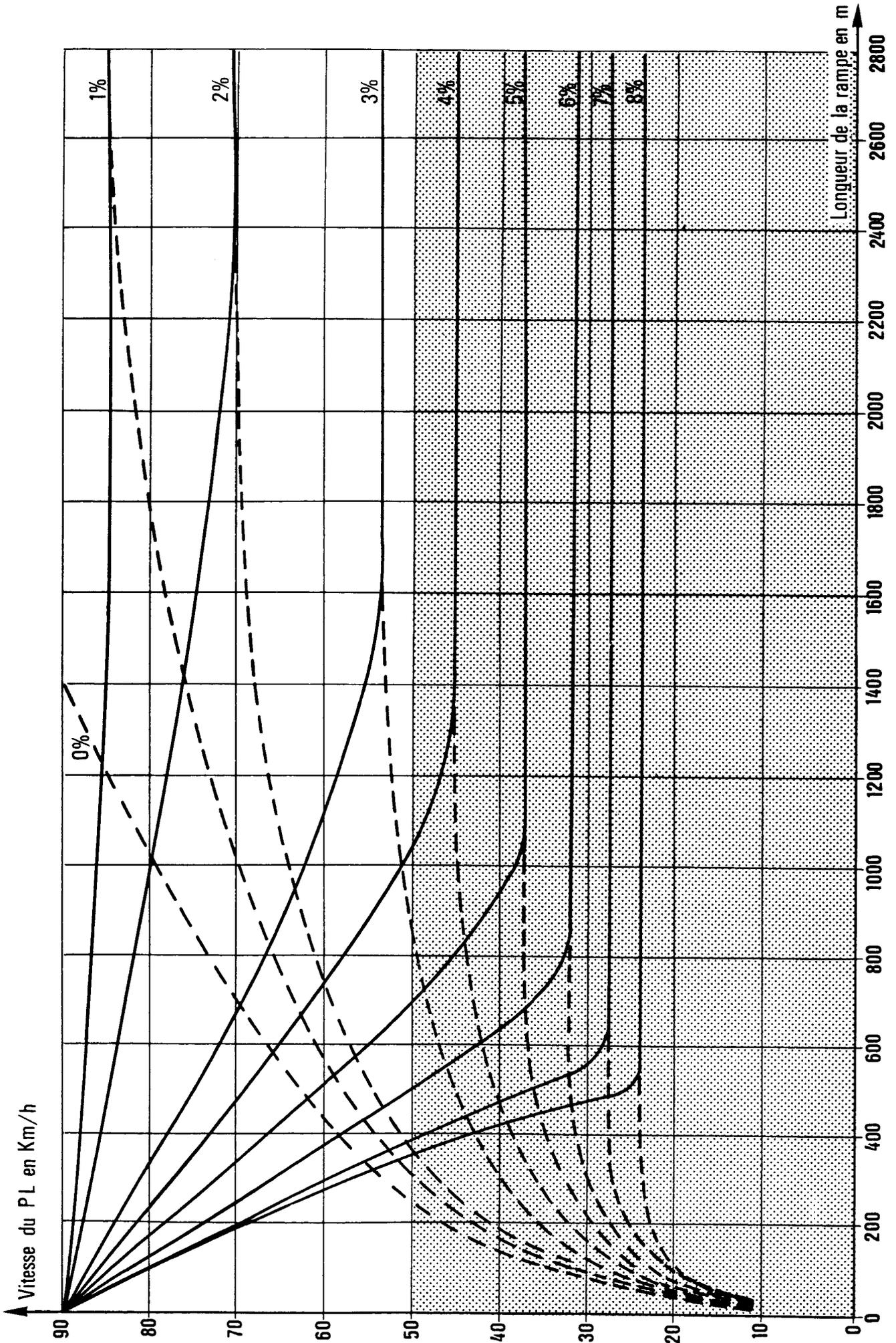


FIG. 4.3 - Vitesse des PL en rampe

CHAPITRE 5

PROFIL EN TRAVERS UTILE À LA CIRCULATION

Ce chapitre traite uniquement des caractéristiques géométriques imposées par les impératifs de la circulation. La détermination complète du profil en travers ne peut être effectuée qu'après avoir analysé les incidences des équipements (chapitre 6 du présent document) et des conditions géotechniques (document Génie civil).

5.1 DÉFINITIONS

Le profil en travers d'une plate-forme en tunnel comprend, comme indiqué sur la figure 5.1 :

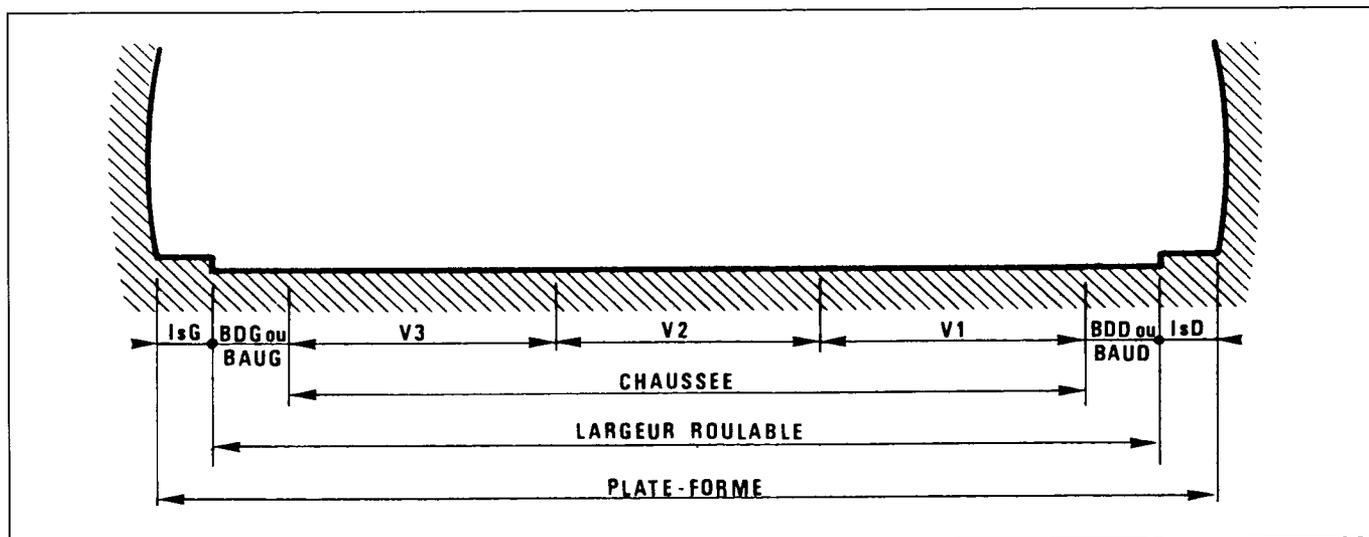
- un isolateur à droite constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues (ISD),
- une bande dérasée de droite pouvant servir (totalement, partiellement ou non) à l'arrêt d'urgence de certaines catégories de véhicules (BDD). Elle est appelée bande d'arrêt d'urgence de droite (BAUD) lorsque sa largeur est supérieure ou égale à 2 m,
- plusieurs voies élémentaires de circulation (V_i),
- une bande dérasée de gauche (BDG) ou bande d'arrêt d'urgence de gauche (BAUG),
- un isolateur à gauche (ISG) constitué d'un trottoir ou d'un bute-roues.

On appelle largeur roulable la partie accessible aux véhicules constituée par l'ensemble de la chaussée (au sens géométrique) et des deux bandes dérasées qui la bordent.

REMARQUES IMPORTANTES

En principe, la grande majorité des tunnels est équipée de trottoirs, sauf lorsqu'il y a des bute-roues. En souterrain, la largeur roulable est donc assimilée à la distance entre trottoirs, et comprend donc les caniveaux ou fils d'eau ainsi que les avaloirs (à la différence de l'air libre où ces dispositifs sont extérieurs à la largeur roulable). Des précautions sont donc à prendre à la construction afin qu'il n'y ait pas de différence de niveau significative pour la sécurité de la circulation entre la chaussée proprement dite et le caniveau. Le pro-

FIG. 5.1 - Élément du profil en travers



blème est également très important lors d'un rechargement éventuel de la chaussée.

Lorsqu'elles existent, les bandes dérasées de droite et de gauche doivent supporter les bandes de guidage latérales (à implanter hors de la chaussée) et nécessitent donc compte tenu des trottoirs, une largeur plus importante que la bande proprement dite qui est normalisée par les instructions sur la signalisation en vigueur.

On rappellera simplement que la largeur des lignes est définie par rapport à une largeur unité "U" différente suivant le type de route. La largeur des bandes latérales de guidage, est en général égale à 3 "U" avec les valeurs suivantes :

- U = 7,5 cm sur autoroutes et voies rapides urbaines,
- U = 6 cm sur les routes du schéma directeur et les voies urbaines assimilables,
- U = 5 cm sur toutes les autres routes.

Une valeur minimale de 0,30 m pour les bandes dérasées peut donc être recommandée.

Lorsqu'il n'y a pas de bandes dérasées, il sera fortement conseillé de peindre les bordures de trottoirs (ou bute-roues).

5.2 LARGEUR ROULABLE

5.2.1 IMPORTANCE DE LA LARGEUR ROULABLE

La largeur roulable conditionne les possibilités de l'ouvrage et constitue l'élément fondamental du dimensionnement de la plate-forme. Elle prend une particulière importance pour les ouvrages souterrains, tout élargissement de la plate-forme se traduisant directement par une augmentation de la section totale excavée et donc du coût de l'ouvrage.

Dans chaque projet, la largeur roulable constitue, une fois les données de trafic connues, l'un des premiers facteurs à analyser, bien avant que soit définie la composition de la plate-forme.

5.2.2 GÉNÉRALITÉS

Il convient dans chaque cas de tenir compte des quatre éléments suivants :

A) Homogénéité avec les accès. Ce point a été signalé au § 2.4.1. Il est rappelé ici en raison de son importance. Lorsque pour des raisons particulières, la largeur roulable doit être réduite en tunnel, il est essentiel que cette réduction règne avant l'ouvrage sur une longueur suffisante (au moins 100 à 150 m) afin que le conducteur ne soit pas surpris à l'entrée du tunnel.

B) Satisfaction des besoins de trafic qui nécessitent que soient bien appréhendés : la catégorie de l'itinéraire, les trafics prévisibles, le pourcentage de poids lourds en pointe et en heure normale, le mode d'exploitation, la présence et les caractéristiques des garages et niches de retournement en tunnel.

C) Maintien du niveau de service qui dépend de l'importance de l'itinéraire et des risques engendrés par une panne ou une congestion (longueur

de l'ouvrage augmentant la probabilité d'arrêt, niveau d'équipement).

A titre indicatif, on donne ci-après l'ordre de grandeur des fréquences des pannes et accidents, telles qu'elles résultent de l'analyse des tunnels français actuellement en service.

Événement	Taux pour 100 millions de véhicules.km	Taux moyen
Pannes	400 à 1 100	750
Accidents matériels	30 à 80	50
Accidents corporels	7 à 20	9
Morts	0 à 0,6	0,2
Incendies (petits incendies)	1 à 9	2

Pour plus de précision, il convient de se reporter au document Equipements - section Exploitation.

La fréquence des pannes en tunnel dépend dans une large mesure du profil en long. Elle peut varier dans la proportion de 1 à 10 selon la valeur des rampes et pentes. L'altitude a également une influence très marquée sur les pannes et particulièrement pour le trafic PL (problèmes de réglages des moteurs).

La fréquence des accidents dépend également du tracé en plan et du profil en long. De plus, pour les ouvrages urbains avec adjonction, bifurcation, le taux est beaucoup plus élevé (taux moyen de 300, 100 et 6 pour les accidents matériels, corporels et les tués).

D) Coût de l'ouvrage : l'attention est attirée sur les conséquences financières d'une augmentation abusive de la largeur roulable.

Indépendamment des indications données plus loin sur les notions propres à la composition de la largeur roulable (voies élémentaires de circulation, bandes dérasées) au sens matérialisation au sol par le marquage routier, il convient de réfléchir sur les éléments permettant de rechercher la permanence de l'écoulement du trafic en présence d'un véhicule en panne.

5.2.3 LARGEUR UNITAIRE DES COULOIRS DE CIRCULATION

Par opposition à la notion de voies unitaires de circulation (matérialisées au sol et valables pour une circulation normale), il convient de dimensionner la largeur roulable à partir de la notion de couloir de circulation à réserver pour chaque file de circulation qui peut se rencontrer à l'intérieur de l'ouvrage.

On trouvera ci-après un tableau donnant la largeur des couloirs de circulation suivant différentes vitesses. Les valeurs données prennent en compte les largeurs unitaires des véhicules (1,80 m pour les véhicules légers et 2,50 m pour les poids lourds) ainsi que les gardes nécessaires à droite et à gauche (fonction du type de véhicule et du cas de circulation envisagé).

Ces gardes sont valables quel que soit le type de circulation (bi ou unidirectionnelle).

Condition de circulation	Type	VL - Voiture légère	PL - Poids lourds
		m	m
Véhicule arrêté		2,15	2,85
Véhicule au pas		2,30	3,00
Vitesse prudente 40-50 km/h		2,70	3,25
Vitesse normale 60 km/h		3,00	3,5

REMARQUES :

Dans le cas d'ouvrages à très faible rayon de courbure en plan (inférieur ou égal à 200 m), il convient également de majorer la largeur du couloir de circulation afin de tenir compte des débordements latéraux supplémentaires de la carrosserie par rapport à la normale.

On pourra appliquer les surlargeurs suivantes (le rayon R étant exprimé en mètre) :

- voiture de tourisme : $8/R$ m,
- camion routier : $22,5/R$ m,
- transport semi-remorque : $55/R$ m réduite à $50/R$ dans les instructions.

Dans certains cas, il convient de vérifier également que les dispositions retenues pour la largeur rou-

lable permettent la giration des véhicules dans le couloir de circulation et qu'il n'y aura pas lieu d'introduire de surlargeurs complémentaires pour tenir compte des possibilités réelles de braquage des véhicules. On portera également son attention en milieu urbain sur les caractéristiques et les possibilités de certains véhicules, notamment les transports en commun, camions d'ordures ménagères ou véhicules de lutte contre l'incendie.

5.2.4 SCHÉMAS TYPES

On trouvera ci-après différents schémas types (applicables à 2 voies) ainsi que les différents tableaux permettant toutes les combinaisons possibles sur la vitesse des différentes voies de circulation.

5.2.4.1. Largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence

(valables pour une circulation uni ou bidirectionnelle).

On trouvera en fig. 5.2 et 5.3, les schémas des largeurs roulables valables pour deux courants de circulation pour des conditions normales.

Vitesse normale

FIG. 5.2 - Schéma des largeurs roulables en circulation sans arrêt d'urgence

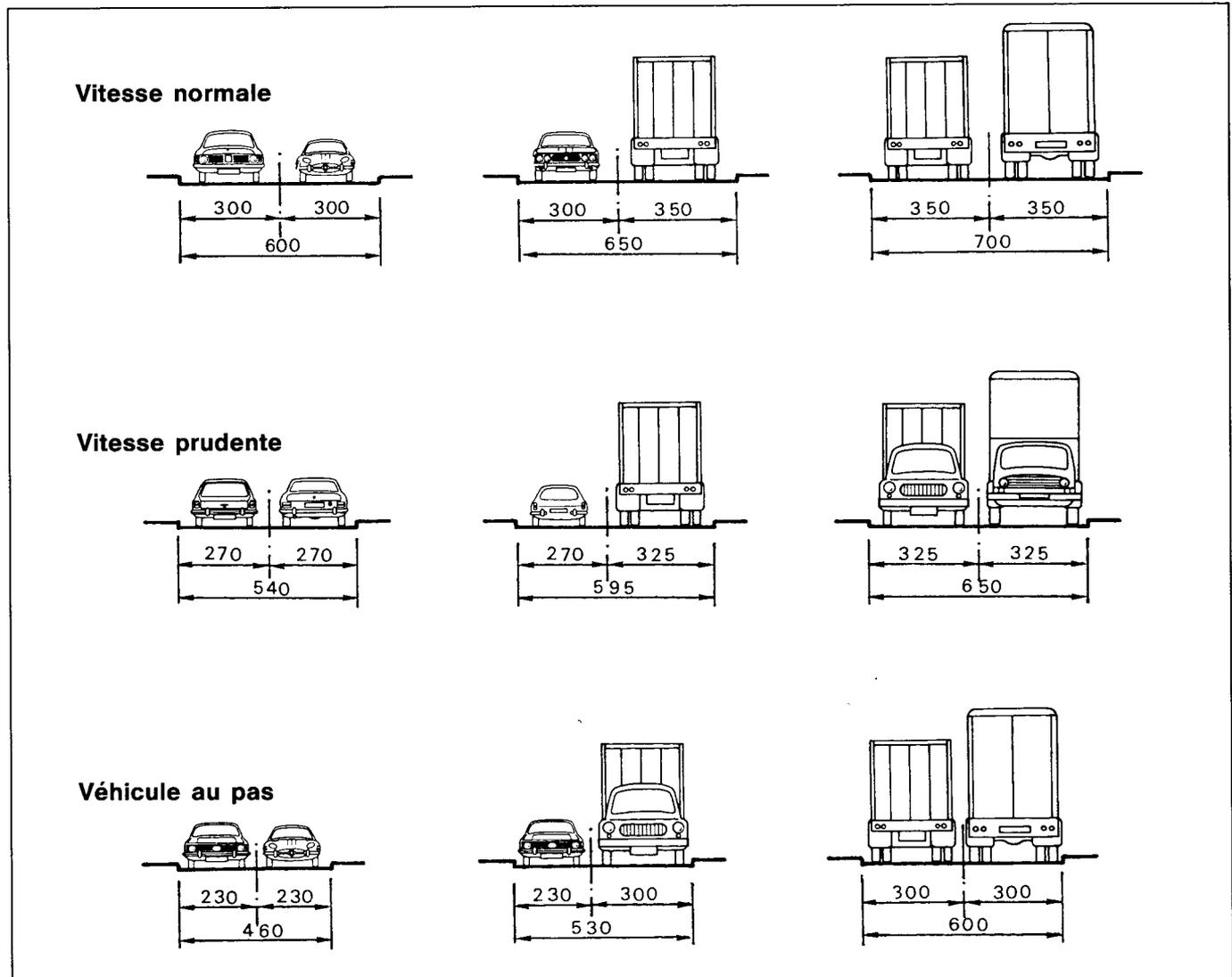


FIG. 5.3 - Tableau de combinaisons : largeur minimale pour 2 courants de circulation (bi ou unidirectionnelle)

File 2		Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas	
		VL 3 m	PL 3,5 m	VL 2,70 m	PL 3,25 m	VL 2,30 m	PL 3 m
VITESSE NORMALE	VL 3 m	6,00	6,50	5,70	6,25	5,30	6,00
	PL 3,5 m	6,50	7,00	6,20	6,75	5,80	6,50
VITESSE PRUDENTE	VL 2,70 m	5,70	6,20	5,40	5,95	5,00	5,70
	PL 3,25 m	6,25	6,75	5,95	6,50	5,55	6,25
VÉHICULE AU PAS	VL 2,3 m	5,30	5,80	5,00	5,55	4,60	5,30
	PL 3 m	6,00	6,50	5,70	6,25	5,30	6,00

5.2.4.2 Circulation au droit d'un véhicule en panne

(valable pour 2 voies de circulation bi ou unidirectionnelle)

On trouvera en fig. 5.4 et 5.5 les schémas et tableaux de combinaison des largeurs roulables nécessaires pour différents cas de circulation au droit d'un véhicule arrêté en panne.

FIG. 5.4 - Schéma de circulation au droit d'un véhicule en panne (valable pour 2 roues de circulation bi ou unidirectionnelle)

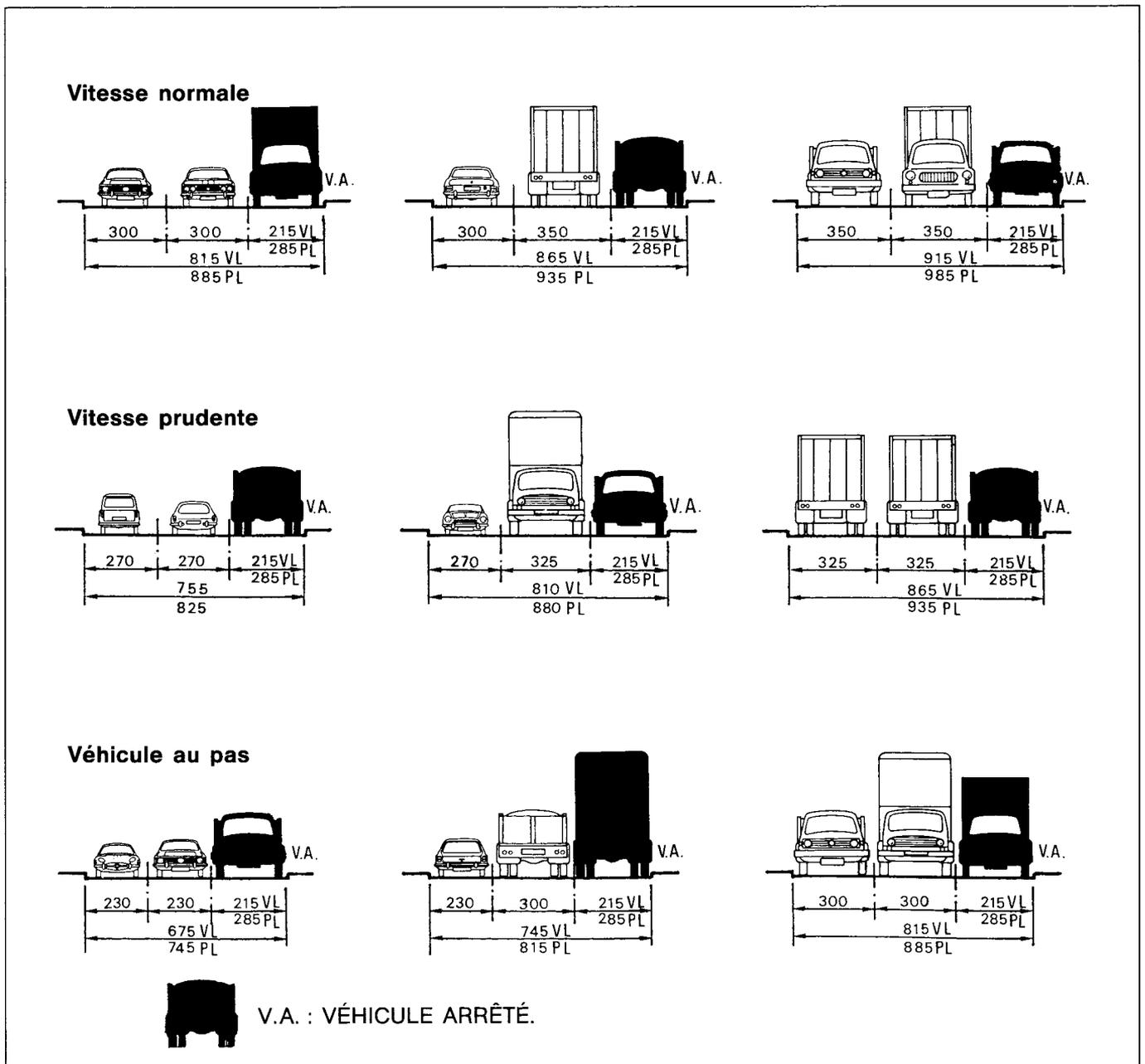


FIG. 5.5 - **Tableau de combinaisons** : largeur minimale nécessaire pour la conservation de deux voies de circulation (bi ou unidirectionnelle) au droit d'un véhicule arrêté.

File 1 ou 2 \ File 2 ou 1		PL ARRÊTÉ (2,85 m)								
		Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas				
		VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3			
V L A R R Ê T É 2 ; 1 5 m	Vitesse	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85	
	normale	PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35	
	Vitesse	VL 2,70	7,85	8,35	8,25	7,55	8,80	7,85	8,55	
	prudente	PL 3,25	8,40	8,90	8,10	8,65	9,35	8,40	9,10	
	Véhicule	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	7,45	8,15
	au pas	PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15	8,85	

NOTA : La partie du tableau au-dessus du trait oblique concerne le cas d'un poids lourd arrêté.

La partie du tableau au-dessous du trait oblique concerne le cas d'un véhicule léger arrêté.

Exemples d'utilisation du tableau de la fig. 5.5 :

FIG. 5.6 - **Exemple A** : Largeur roulable nécessaire pour 1 PL arrêté, 1 VL en circulation prudente et un PL en circulation au pas. LR = 8,55 m.

File 1 ou 2 \ File 2 ou 1		PL ARRÊTÉ								
		Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas				
		VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3			
V L A R R Ê T É	Vitesse	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85	
	normale	PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35	
	Vitesse	VL 2,70	7,85	8,35	8,25	7,55	8,80	7,85	8,55	
	prudente	PL 3,25	8,40	8,90	8,10	8,65	9,35	8,40	9,10	
	Véhicule	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	7,45	8,15
	au pas	PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15	8,85	

FIG. 5.7 - **Exemple B** : Largeur roulable nécessaire pour 1 VL arrêté, 1 VL en circulation prudente et 1 PL en circulation au pas. LR = 7,85 m.

File 1 ou 2 \ File 2 ou 1		PL ARRÊTÉ								
		Vitesse normale		Vitesse prudente		Véhicule au pas				
		VL 3	PL 3,5	VL 2,70	PL 3,25	VL 2,30	PL 3			
V L A R R Ê T É	Vitesse	VL 3	8,15	8,85	9,35	8,55	9,10	8,15	8,85	
	normale	PL 3,5	8,65	9,15	9,85	9,05	9,60	8,65	9,35	
	Vitesse	VL 2,70	7,85	8,35	8,25	7,55	8,80	7,85	8,55	
	prudente	PL 3,25	8,40	8,90	8,10	8,65	9,35	8,40	9,10	
	Véhicule	VL 2,30	7,45	7,95	7,15	7,70	7,45	6,75	7,45	8,15
	au pas	PL 3	8,15	8,65	7,85	8,40	7,45	8,15	8,85	

5.2.4.3 Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable

On trouvera en fig. 5.8 (page 33) le tableau récapitulatif, en fonction de la largeur roulable, des différentes conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté.

5.2.5 VOIES UNITAIRES DE CIRCULATION

La largeur des voies de circulation est en principe de 3,5 m.

Cependant :

- pour la voirie urbaine (infrastructure du type U à caractère non autoroutier), on pourra diminuer cette valeur jusqu'à 3 m, sans toutefois avoir pour une chaussée à deux voies, une largeur roulable inférieure à 6,5 m,
- pour les passages souterrains à gabarit réduit, le minimum est de 2,75 m pour un gabarit de 2,60 m,
- pour les routes nationales, la largeur peut être ramenée à 3 m (routes à 2 voies de 2^e, 3^e et 4^e catégories et routes à 4 voies de 3^e et 4^e catégories),
- pour les routes nationales à très faible circulation de 3^e et 4^e catégories, la largeur peut être réduite à 2,50 m.

En cas de création d'une voie supplémentaire en rampe, la voie de gauche pourra être réduite à 3 m (bande de guidage non comprise) dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel. Pour les tunnels bidirectionnels, on aura intérêt à diminuer la voie de droite à 3 m et laisser la voie montante gauche à 3,5 m afin de diminuer les risques de conflit de circulation entre les deux sens.

5.2.6 BANDES DÉRASÉES

Comme pour l'air libre, les largeurs comprises entre 1 et 2 m sont à proscrire car elles peuvent donner l'illusion d'une possibilité d'arrêt en sécurité.

En tunnel, la valeur normale de la bande d'arrêt d'urgence (à droite) est de 2 m permettant ainsi l'arrêt d'un VL (mais sans travaux possibles sur le véhicule). Cependant cette largeur infléchit légèrement la trajectoire des véhicules circulant sur la voie de droite.

Les bandes dérasées de droite ou de gauche ont une largeur comprise entre 0,30 m et 1 m. Les dimensions les plus couramment utilisées sont les suivantes : 0,30 m, 0,50 m, 0,60 m, 0,75 m ou 1 m.

La dimension de 0,30 m correspond à la largeur minimale permettant, en présence de trottoir, d'implanter les bandes de guidage peintes sur la plate-forme.

5.2.7 LARGEURS ROULABLES TYPES

Entre la largeur déterminée suivant la méthode exposée en 5.2.4 et la largeur à retenir finalement, il convient d'intégrer dans le profil en travers les aspects réglementaires sur les voies de circula-

tion, sur les bandes d'arrêt d'urgence et sur les bandes dérasées. Le projeteur a donc à composer sa plate-forme. Il faut retenir que les contraintes les plus fortes sont celles relatives aux bandes dérasées et aux bandes d'arrêt d'urgence dans la mesure où il est réglementairement interdit de prévoir tant à droite qu'à gauche des surlargeurs comprises entre 1 et 2 m.

On trouvera ci-après les profils en travers qui peuvent être utilisés de façon systématique. Le projeteur pourra apporter les adaptations nécessaires en fonction des particularités ou des contraintes du projet.

5.2.7.1 Règles de choix

Il convient avant tout de prendre en considération les facteurs liés au trafic devant emprunter l'ouvrage, les conditions exactes de circulation que l'on veut donner aux usagers, **et leur sécurité** en cas d'arrêt d'un véhicule.

De plus, il convient de tenir compte du degré d'équipement installé à l'intérieur ainsi que des possibilités d'information et d'intervention rapide sur la circulation, tant pour les usagers que pour les services appelés à intervenir.

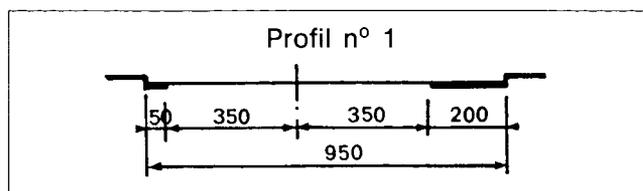
On rappellera que le choix de la largeur roulable conditionne également les besoins en ventilation dans la mesure où son dimensionnement nécessite la prise en considération des différentes conditions de circulation que l'on pourra trouver à l'intérieur de l'ouvrage.

En outre, la largeur roulable conditionne, et ce beaucoup plus qu'à l'air libre, l'économie générale du projet ; pour un tunnel, il semblerait illusoire en l'état actuel des connaissances, d'essayer de faire des calculs économiques car bon nombre de facteurs ne sont pas chiffrables financièrement ; en outre, pour des raisons évidentes de sécurité, il doit être dans le cas d'ouvrages souterrains tenu compte des événements exceptionnels, nécessitant de la part des secours spécialisés (pompiers, garagistes, SAMU...) une possibilité d'intervention très rapide.

5.2.7.2 Tunnels sur autoroutes de liaison, sur routes de catégorie exceptionnelle, et sur VRU de type A (circulation unidirectionnelle)

A) Profil sans réduction de vitesse

Les conditions essentielles à respecter sont la vitesse d'écoulement du trafic et la sécurité en cas d'arrêt d'un véhicule (VL ou PL) et ce quelle que soit la longueur de l'ouvrage.



Ce profil est celui qui est le plus satisfaisant sur le plan de la circulation, car il permet en cas d'arrêt d'un PL ou d'un VL de conserver 2 voies de circulation à vitesse normale (1 voie PL et 1 voie VL).

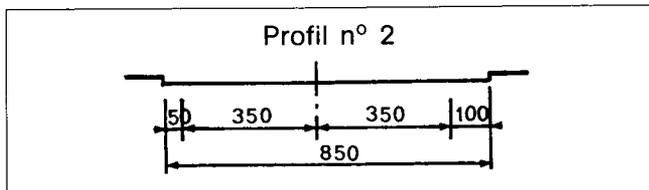
FIG. 5.8 - Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable (bidirectionnel ou unidirectionnel)

Largeur roulable	PL arrêté	VL arrêté	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
9,85					
9,60					
9,35					
9,15					
9,10					
9,05					
8,90					
8,85					
8,80					
8,65					
8,55					

Largeur roulable	PL arrêté	VL arrêté	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
8,40					
8,35					
8,25					
8,15					
8,10					
7,95					
7,85					
7,70					
7,55					
7,45					
7,15					
6,75					

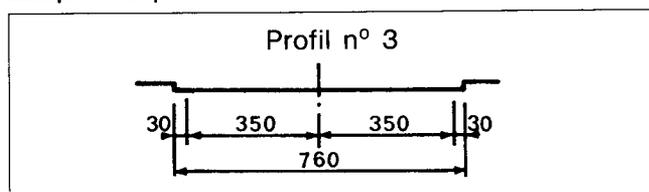
B) Profil avec légère réduction de vitesse et conservation du nombre de circulation.

Dans de nombreux cas, il peut être admis une certaine diminution de la vitesse au droit d'un véhicule en panne. Ceci est admissible pour tous les tunnels longs (supérieurs à 1 km) où la vitesse sera réduite et où des moyens de contrôle de la circulation et de la signalisation seront mis en œuvre.



C) Caractéristiques réduites - Non conservation du nombre de voies de circulation - Profil minimal

Lorsque le trafic prévisible est très faible, la notion de conservation du nombre de files de circulation au droit d'un véhicule en panne n'a plus sa raison d'être, toute la circulation pouvant alors se rabattre sur la voie de gauche sans risque. On pourra alors adopter le profil minimal suivant :

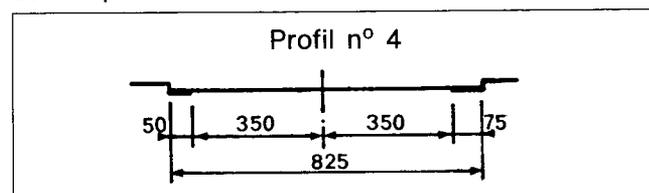


5.2.7.3 Tunnels sur VRU de type U et assimilables (circulation unidirectionnelle)

Sur ce type d'itinéraire, la vitesse, normalement limitée, n'est pas l'objectif essentiel. De plus la circulation est souvent congestionnée. Le dimensionnement de la largeur roulable doit permettre par contre de maintenir rigoureusement les possibilités d'écoulement au droit d'un véhicule en panne.

A) Avec un fort pourcentage de PL :

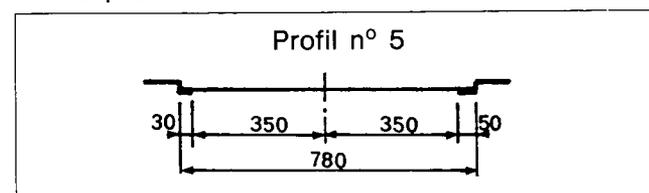
Dans ce cas, on pourra appliquer soit le profil n° 2, soit le profil minimal ci-dessous :



Ce profil permet en cas d'arrêt PL, 2 voies de circulation à vitesse prudente pour des VL ou 2 voies au pas pour un VL et un PL.

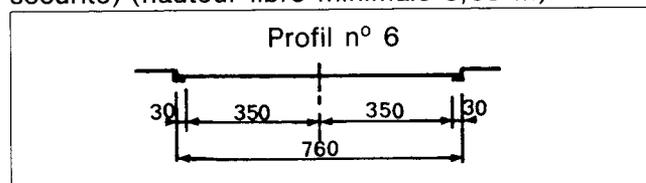
B) Avec un faible pourcentage de PL

Dans ce cas, on pourra appliquer soit le profil n° 4 soit le profil minimal ci-dessous :

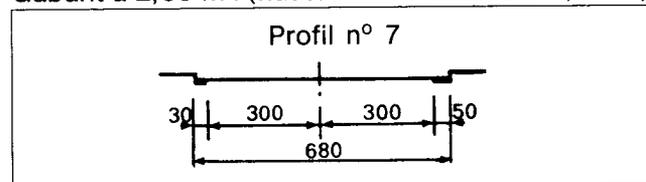


C) Pas de gros poids lourds : (cas des PSGR unidirectionnels)

Gabarit à 3,50 m : (bus, camionnettes, services de sécurité) (hauteur libre minimale 3,65 m).



Gabarit à 2,60 m : (hauteur libre minimale 2,70 m).



5.2.7.4 Tunnels bidirectionnels

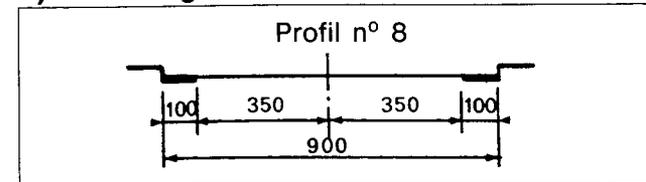
Le dimensionnement de ce type d'ouvrage dépend de la fonction qu'il doit remplir, parfois très différente suivant la catégorie de l'itinéraire ; il dépend donc du degré d'équipement de l'ouvrage, du pourcentage de poids lourds, et du volume de trafic, des possibilités d'intervention des services d'exploitation et de leur rapidité.

Pour les grands itinéraires de trafic international, la chaussée devra être au minimum de 7 m (l'ICTARN se référant à la déclaration du 16 septembre 1950 de la CEE), impliquant donc pour le cas particulier des tunnels une largeur entre trottoirs de 7,60 m afin de tenir compte des caniveaux. Cette valeur retenue par l'ICTARN a été confirmée par le décret 84.164 du 2 mars 1984, portant publication de l'Accord Européen sur les grandes routes de trafic international (A.G.R.) en date, à GENÈVE, du 15 novembre 1975.

En outre, pour les tunnels bidirectionnels, se pose un problème d'ordre réglementaire et de sécurité. En effet, d'après le Code de la Route, lorsqu'il y a présence d'une ligne continue séparant les 2 courants de circulation, les usagers ne peuvent en aucun cas la franchir sauf s'ils y sont autorisés par des personnels habilités à cet effet.

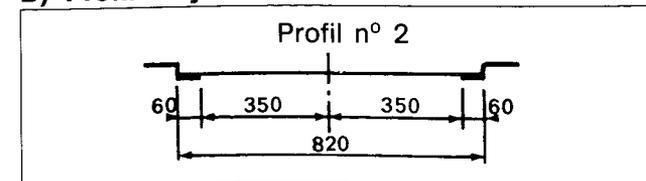
Le projeteur peut, en fonction des différents objectifs, choisir pour les ouvrages bidirectionnels, entre les différents profils types suivants :

A) Profil large



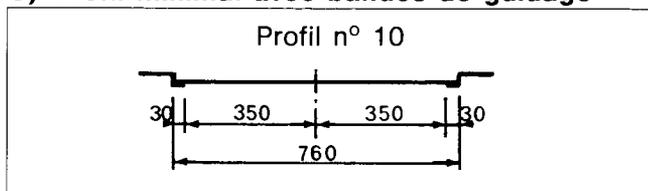
Dans le cas d'ouvrages destinés à devenir unidirectionnels dans une deuxième phase d'aménagement, ce profil pourra être porté à 9,50 m (profil n°1).

B) Profil moyen



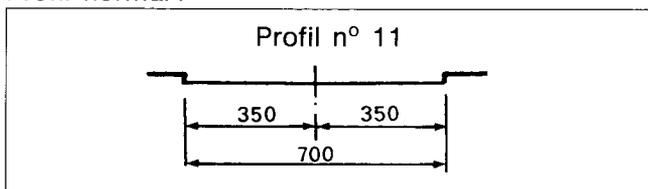
Dans le cas d'ouvrages unidirectionnels en deuxième phase, ce profil pourra être porté à 8,50 m (profil n°2).

C) Profil minimal avec bandes de guidage

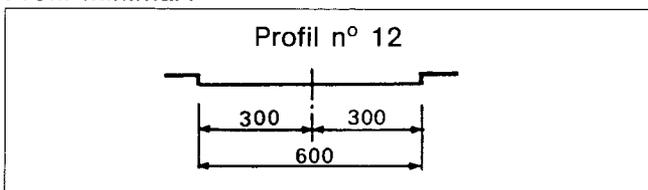


D) Profil sans bandes de guidage

Profil normal :



Profil minimal :



E) Remarques fondamentales sur les tunnels bidirectionnels :

Le dimensionnement de la largeur roulable d'un tunnel bidirectionnel nécessite une réflexion au coup par coup beaucoup plus importante que dans le cas d'un ouvrage unidirectionnel. Les problèmes de sécurité et d'entretien y sont plus aigus. La stratégie d'exploitation retenue et la rapidité tant dans la détection des incidents que dans l'intervention sur place sont autant d'éléments qu'il convient de prendre en considération.

L'analyse doit également prendre en compte la durée dans le temps du caractère bidirectionnel. A ce sujet, deux cas sont à dissocier :

- tunnel bidirectionnel à terme ou pendant une durée importante (cas des ouvrages devant ultérieurement devenir unidirectionnels),
- tunnel bidirectionnel pendant une durée relativement courte destinée à devenir ensuite rapidement unidirectionnel.

Dans le premier cas, l'analyse doit prendre en compte d'une manière certaine les aspects liés à la sécurité et l'influence générale sur la circulation au droit d'un véhicule arrêté. Par contre dans le second cas, l'influence sur la circulation et les restrictions qui en découlent peuvent être éventuellement négligées (ce qui n'empêchera d'ailleurs pas de prévoir alors les moyens techniques et humains afin de remédier aux inconvénients le plus rapidement pendant la phase provisoire).

Il ne semble pas raisonnable d'envisager pour des ouvrages à 2 voies, l'installation d'un séparateur central, sauf s'il est admis que sur tout arrêt de véhicule, la circulation pourra être stoppée et arrêtée. Cette solution nécessitera cependant obligatoirement des moyens conséquents de détection,

d'alerte, d'avertissement et d'évacuation rapide du véhicule arrêté.

Pour les ouvrages bidirectionnels à terme ou pendant une durée importante, on peut éventuellement envisager des solutions du genre :

- exploitation à deux voies (une par sens) avec réalisation au centre d'un marquage au sol permettant de séparer les courants de circulation et rendant possible le dépassement des véhicules en panne sans devoir circuler sur la voie à contre sens ;
- exploitation à 3 voies avec affectation possible de la voie centrale à l'un des deux courants de circulation (voie dans un seul sens).

5.2.8 PISTES ET BANDES CYCLABLES

En zone urbaine, péri-urbaine ou de rase campagne, il arrive fréquemment que certains itinéraires soient empruntés par un nombre plus ou moins élevé de deux roues. La présence de ces usagers (s'ils sont autorisés sur l'itinéraire sans possibilité de déviation au niveau de l'ouvrage souterrain) perturbe les schémas simples décrits précédemment (croisement ou juxtaposition des courants de circulation). Le Code de la Route prévoit une marge d'un mètre pour le dépassement d'un deux roues par un autre usager. En outre, bon nombre de vélos modernes ne sont plus équipés de dispositifs réfléchissants ou lumineux, posant en tunnel un problème de perception par l'automobiliste.

Afin de traiter ce problème lorsqu'il se présente, trois solutions sont possibles :

- Soit une bande cyclable dans le sens de la circulation (exclusivement réservée à la circulation des deux roues), latérale à la chaussée et délimitée par un trait de peinture relativement large (minimum 0,30 m). La largeur de la bande cyclable est en général de 1,70 m avec une possibilité de réduction de 1,20 m, voire 1 m dans des situations exceptionnelles. La bande cyclable à contre-sens (2 à 2,30 m de large) est à proscrire dans les tunnels. La couleur du revêtement de la bande cyclable doit être différente de celle de la chaussée.
- Soit une piste cyclable exclusivement réservée à la circulation deux roues. Elle est située entre la chaussée et le trottoir et est séparée de la chaussée par un terre-plein (largeur généralement admise : 0,70 m). Les largeurs normales sont de 2 m pour une piste cyclable unidirectionnelle et de 3 m pour une bidirectionnelle. Il conviendrait normalement de prévoir 0,20 m de surlargeur par sens pour les effets de parois ou alors de chanfreiner les bordures.

- Soit une surlargeur de la file de circulation. Lorsque l'emprise disponible est insuffisante, son coût prohibitif ou lorsque le trafic deux roues est très faible, l'élargissement de la file de droite de la chaussée peut améliorer les conditions de sécurité et de confort des deux roues. La largeur de cette voie ne devra toutefois **pas excéder 3,80 m**, afin d'éviter que cet élargissement ne permette une file de circulation supplémentaire, ce qui irait à l'encontre de l'effet recherché.

Ces différents éléments sur les pistes et bandes cyclables sont conformes au dossier CETUR n° 8 de 1980 "les deux roues légers - Aménagements spécifiques" (actualisation des recommandations).

5.3 ISOLATEURS

5.3.1 OUVRAGES NORMALEMENT ACCESSIBLES AUX PIÉTONS

Dans les ouvrages où la circulation piétonnière est autorisée, il convient de prévoir des isolateurs constitués de trottoirs suffisamment larges et en nette saillie sur la chaussée afin d'assurer la sécurité des piétons.

Il peut être avantageux, du point de vue de la sécurité et des normes de ventilation, de séparer l'espace réservé aux piétons par une cloison. Il convient en tout cas, d'effectuer une étude spéciale sur les plans de la géométrie et de la pollution.

On ne saurait trop conseiller que les trottoirs soient très surélevés par rapport au niveau de la chaussée (minimum 0,50 m).

Le dimensionnement de ces trottoirs sera conforme aux errements en vigueur. Pour les ouvrages interurbains, on se référera à l'ICTARN (§ III.4.3). Dans le cas d'ouvrages urbains, le dimensionnement sera effectué conformément au guide technique de juin 1975 édité par le SETRA (les aménagements en faveur des piétons).

En tout état de cause, leur largeur ne sera pas inférieure à 1,50 m.

5.3.2 OUVRAGES NORMALEMENT INTERDITS AUX PIÉTONS

Les seuls piétons qui ont exceptionnellement à circuler dans les ouvrages où la circulation piétonnière est interdite sont les agents du service d'exploitation et les usagers en panne. Les isolateurs peuvent être de simples bute-roues (de 0,25 m de large) au minimum ou de véritables trottoirs (de 0,60 à 0,75 m au minimum dans les cas courants). Ils sont en saillie sur la chaussée, les bordures à utiliser étant en général du type T2 (cf. § 5.3.4).

Le bute-roues ne pourra être envisagé qu'en présence d'une bande d'arrêt d'urgence.

La largeur minimale des trottoirs est de 0,60 m pour les piédroits concaves et 0,75 m pour les piédroits verticaux afin de disposer d'au moins 0,75 m au niveau des épaules et des coudes d'un piéton éventuel. Toutefois leur dimensionnement ne peut être arrêté définitivement que lorsque toutes les réservations et réseaux divers devant être mis sous trottoirs auront été répertoriés et définis. Les principaux sont les suivants : (liste non exhaustive)

CÂBLES :

- câbles d'alimentation en énergie (BT, MT),
- câbles de télétransmission des informations,
- câbles du réseau d'appel d'urgence (RAU),
- câbles pour la télévision.
- ...

RÉSEAUX DIVERS :

- conduite incendie,
- évacuation des eaux de surface et des eaux de drainage du terrain,
- système de récupération des matières dangereuses liquides,
- chambres de tirage et de dérivation des câbles,
- chambres de visite pour l'entretien des conduites,
- ...

En outre, il convient également dans une grande majorité des cas de placer au droit des trottoirs, un certain nombre d'équipements (signalisation, capteurs...).

D'autres facteurs interviennent également dans le choix de la largeur à mettre en œuvre, comme les dévers, la visibilité, les impératifs de génie civil et le mode de construction. On trouvera dans le document Génie civil, un certain nombre de dessins types pour les trottoirs. Comme on pourra le constater, dans certains cas, la largeur des trottoirs devra être de 0,80 à 1 m pour implanter les différents réseaux et passages de câbles.

On trouvera en fig. 5.9 (page 37) le dessin de l'homme type pour dimensionner les trottoirs en fonction des gabarits à prendre en compte pour le passage occasionnel des piétons en profil cadre ou voûté.

5.3.3 JUSTIFICATION DE L'IMPLANTATION DE TROTTOIRS

5.3.3.1 Cas des tunnels cadres (piédroit vertical) et des profils cintrés à 3 centres

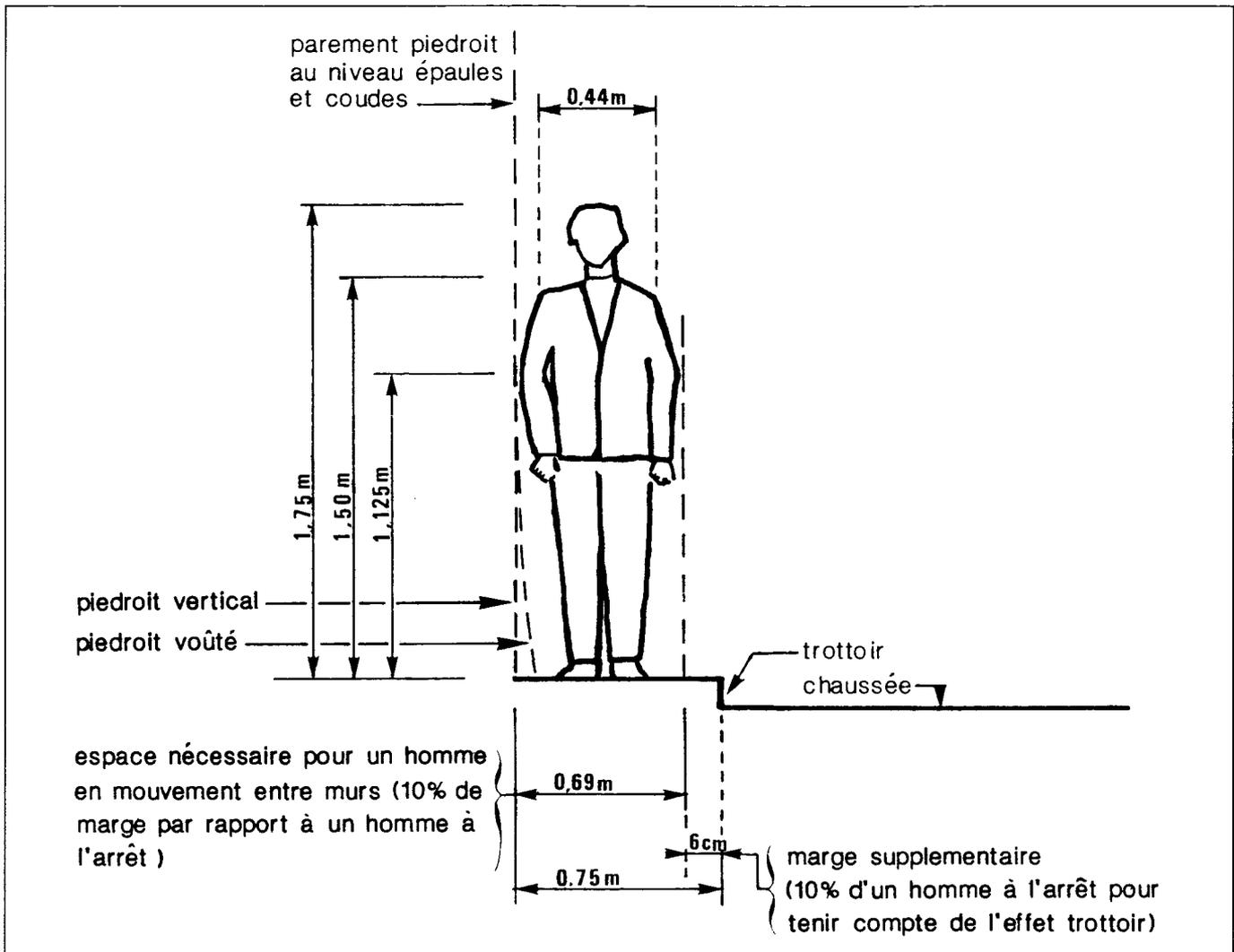
Dans ce cas, l'implantation de trottoirs conduit à une surexcavation. Les projeteurs peuvent être tentés (lorsqu'il existe une BD ou une BAU) de supprimer les trottoirs et de les remplacer par un simple bute-roues. Il convient cependant de ne pas perdre de vue différents avantages du trottoir :

- La sur largeur offerte par les trottoirs permet outre l'implantation de différents réseaux ou câbles, la mise en œuvre d'une signalisation latérale et d'un certain nombre d'équipements (éclairage, capteurs...) et leur protection physique.
- Le trottoir produit un petit effet de paroi qui réduit le confort de l'utilisateur, et le conduit à diminuer sa vitesse (pour les vitesses élevées supérieures à 90 km/h), ce qui est un des buts recherchés.
- Pour les véhicules arrêtés, une implantation de trottoirs permet aux usagers de sortir de leur voiture sans devoir ouvrir la portière côté circulation, opération qui est toujours potentiellement dangereuse.
- En tracé en plan en courbe, l'espace dégagé par les trottoirs permet le respect des distances de visibilité ou leur amélioration.

5.3.3.2 Cas des tunnels "plein cintre" (à un seul centre)

L'implantation de trottoirs à largeur raisonnable (0,60 à 0,80 m pour des profils à 2 voies, 1 m à 1,20 m pour 3 voies) permet des économies sur le

FIG. 5.9 - Encombrement type d'un homme en marche



volume excavé par rapport à une solution à butes-roues de 0,25 m, et la même largeur roulable. Par contre dans le cas de tunnels avec faux plafond, la surface dégagée pour la ventilation est plus faible. Une étude économique (dépenses d'investissement et d'exploitation) est à effectuer au cas par cas.

Les avantages soulignés dans le paragraphe précédent sont également valables.

5.3.3 Remplacement des trottoirs par des dispositifs du genre bordure de retenue

Certains projeteurs peuvent être tentés pour des besoins de sécurité en comparaison avec ce qui est réalisé à l'air libre, de mettre en œuvre latéralement des bordures de retenue pour véhicules qui est un dispositif de retenue utilisé en zone urbaine réduite de 0,32 m à 0,40 m (type Autonor, Trief...). Si cette disposition en elle-même part d'un bon raisonnement, elle offre en tunnel des inconvénients :

- L'accès aux bornes d'urgence n'est pas facilité pour les personnes à mobilité réduite (hauteur à franchir 0,40 à 0,50 m). De plus, la marche sur le trottoir surélevé pour accéder aux bornes et l'attente des services d'intervention sont plus

déliçates que dans le cas d'un trottoir légèrement surélevé (20 cm). En tout état de cause, il conviendrait d'augmenter dans ce cas la largeur (un minimum de 0,80 à 1 m semble convenable).

- Cette disposition ne permet pas l'ouverture des portières côté piédroit, sauf si l'usager en détresse prend en compte cette possibilité, empiétant donc d'autant sur la largeur roulable. Afin de tenir compte de cet élément, il conviendrait donc d'augmenter la largeur roulable de 0,50 m par rapport à une solution avec trottoirs bas.

5.3.4 TROTTOIRS FRANCHISSABLES

Dans la majorité des cas, il est implanté des bordures de trottoir type T2 non franchissables. Toutefois, parfois, il peut être envisagé des bordures franchissables dans le but de :

- permettre aux usagers en détresse de profiter au maximum de la largeur entre piédroits pour se garer et d'influencer le moins possible la circulation,
- permettre aux services d'exploitation en roulant tant sur la B.D. que sur le trottoir, d'accéder en tout point du tracé lorsque la circulation est congestionnée ou arrêtée.

Cette disposition a toutefois des conséquences sur le dimensionnement du profil en travers et les

exigences particulières suivantes doivent être examinées :

- protection de la signalisation et des autres équipements (implantation en hauteur pour permettre le passage des véhicules),
- hauteur libre minimale de 3,65 m (hauteur requise pour les véhicules de sécurité) à l'aplomb du trottoir, conduisant donc, en cas de profil voûté, à un surdimensionnement important.

5.3.5 SÉPARATEUR CENTRAL (OU DISPOSITIF CENTRAL DE RETENUE)

Dans le cas d'implantation d'un séparateur central permettant de séparer les 2 courants de circulation dans les ouvrages bidirectionnels, deux optiques peuvent être retenues :

- soit séparateur central (dimensions minimales 0,20 m de haut sur 0,30 m de large) permettant la séparation normale des courants de circulation, mais ne prenant pas en compte le franchissement possible (en cas d'accident) d'un véhicule. Cette solution permet de lutter contre les excès de vitesse et les dépassements intempestifs.
- soit séparateur central (dimension minimale tant en largeur qu'en hauteur de 0,45 m) empêchant le franchissement d'un véhicule en cas de perte de contrôle. Il se pose alors le problème supplémentaire de l'ouverture des portières du fait de cette hauteur.

Dans ces deux solutions, l'établissement du profil en travers devra tenir compte des sujétions entraînées par un tel dispositif, qui est certes sur le plan sécurité très attrayant mais qui est lourd de conséquences sur le plan financier.

On rappellera également que les largeurs prises en compte ci-dessus sont des dimensions minimales par rapport à celles généralement retenues pour l'air libre.

5.4 HAUTEURS

Les éléments explicités ci-après sont conformes à la circulaire du 17 octobre 1986 (Équipement, Logement) relative au dimensionnement de la hauteur des ouvrages routiers sur le réseau national.

5.4.1 TERMINOLOGIE

La figure 5.10 (page 39) visualise les définitions données ci-après :

A) Hauteur libre de l'ouvrage (ou tirant d'air) : (H)

Cette valeur représente la distance minimale entre tout point de la partie roulable de la plate-forme existante ou projetée et de tout point de la sous face de l'ouvrage, ou le cas échéant, de la partie inférieure des équipements que supporte cette sous face.

B) Hauteur libre minimale (Hm)

Cette donnée représente la hauteur minimale que doit normalement présenter l'ouvrage tout au long de sa durée de vie afin de pouvoir assurer le passage des véhicules en mouvement.

C) Gabarit (G)

Il caractérise la hauteur statique maximale d'un véhicule, chargement compris, dont le passage peut être accepté sous un ouvrage, dans des conditions normales de circulation. Cette grandeur est associée au véhicule.

D) Revanche de construction et d'entretien (Rc)

Lors du dimensionnement il est nécessaire de prévoir par rapport à la hauteur libre minimale que l'ouvrage doit normalement présenter tout au long de sa durée de vie, une "revanche de construction et d'entretien" afin de tenir compte des tassements ou des erreurs de nivellement éventuels ainsi que des rechargements qui pourraient être réalisés sur la chaussée.

E) Revanche de protection (Rp)

Afin de préserver la pérennité des nombreux équipements en tunnel, il convient d'ajouter une revanche de protection;

F) Revanche de signalisation (Rs)

Entre le gabarit, caractéristique du véhicule à l'arrêt, et la valeur en hauteur représentative du véhicule en mouvement, il convient évidemment de prévoir une marge de sécurité qui tient compte aussi bien des écarts dynamiques du véhicule, ou des bâches flottantes que d'une imprécision sur l'appréciation de sa hauteur. A cet égard, c'est cette même marge de sécurité appelée en l'occurrence "revanche de signalisation", qui est prise en compte pour déterminer la hauteur limite des véhicules concernés ou encore le gabarit admissible.

G) Récapitulation :

- Ouvrages à construire : $H = H_m + R_c + R_p$.
- Ouvrages construits : $G = H - R_s - R_p$ arrondi au multiple de 0,10 m inférieur.

5.4.2 VALEURS RÉGLEMENTAIRES DE LA HAUTEUR LIBRE MINIMALE

Les hauteurs libres minimales à prendre en compte sont les suivantes :

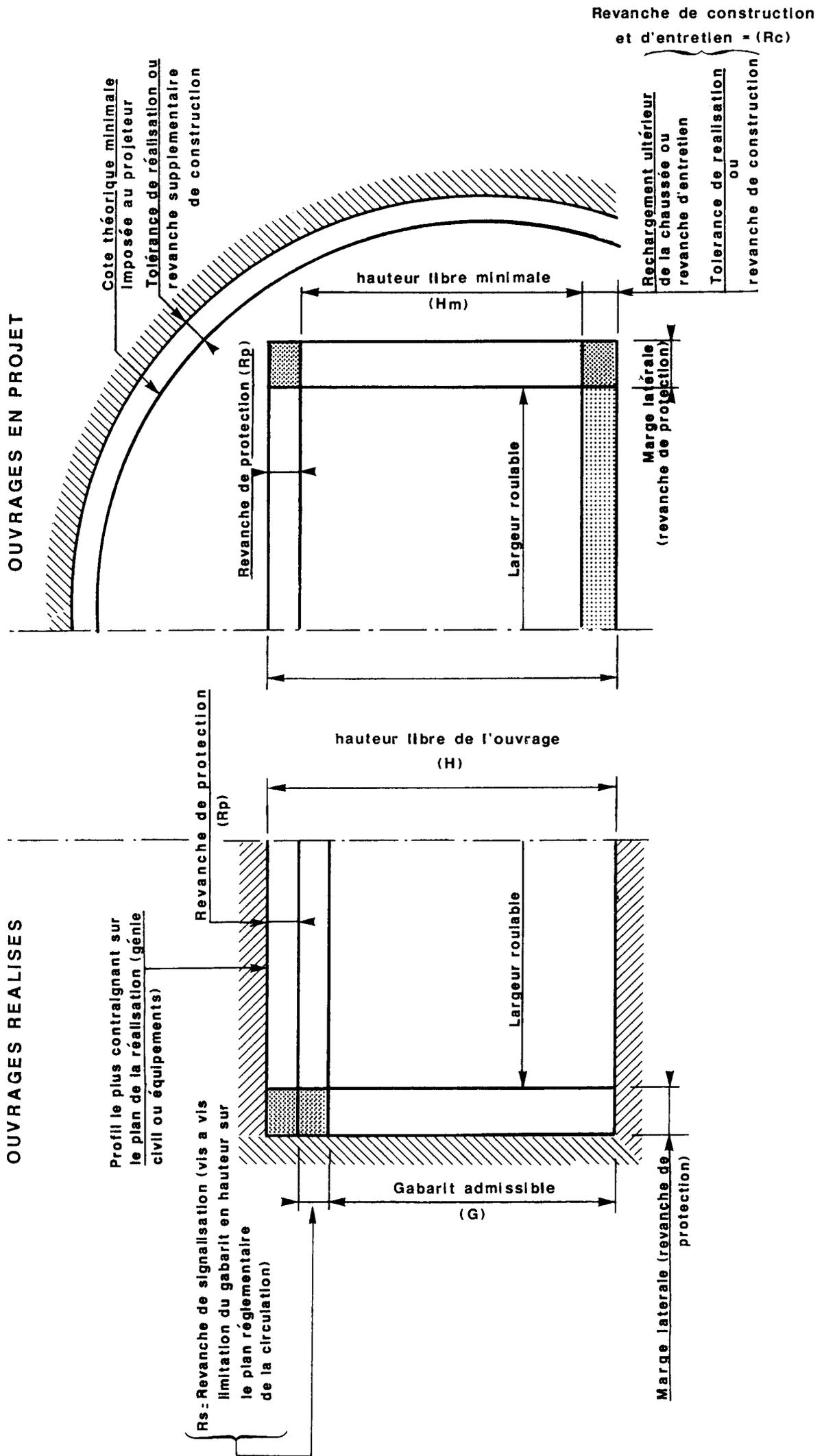
- autoroutes = 4,75 m,
- grandes routes de trafic international (définies suivant les termes de l'accord de Genève du 15 novembre 1975) = 4,50 m,
- autres routes du réseau national = 4,30 m.

Pour des raisons d'homogénéité, il est cependant possible de continuer à admettre la hauteur libre de 4,75 m à titre dérogatoire et sur justifications spécifiques qui devront être soumises à approbation, sur certaines routes qui s'intègrent dans un maillage dont les ouvrages répondent aux mêmes caractéristiques.

Sur autoroutes, pour les tunnels et tranchées couvertes, sur justifications économiques et techniques qui devront être soumises à approbation, il est possible de ramener la hauteur libre de 4,75 à 4,50 m.

Pour ce qui est des passages souterrains à "gabarit réduit", seules les hauteurs libres minimales de 2,75 m (admettant un gabarit de 2,60 m) et 3,65 m (admettant un gabarit de 3,50 m)

FIG. 5.10 - Terminologie employée



paraissent mériter une attention particulière, étant entendu que toute implantation de PSGR nécessite une réflexion spécifique, en fonction des caractéristiques des véhicules concernés. La hauteur libre minimale de 3,65 m permet le passage de la plupart des autobus urbains, fourgons de secours et véhicules de service. En tout état de cause, afin de rester homogène et en conformité avec les règles sur la signalisation, les hauteurs libres à prendre en compte devraient être de 2,80 m et de 3,70 m (cf. § 5.4.6).

REMARQUES IMPORTANTES SUR LES "GABARITS RÉDUITS"

Le projeteur portera son attention sur les problèmes posés par l'adoption d'un "gabarit réduit" et sur la valeur exacte à prendre en compte. En effet, les dispositions générales et commentaires officiels de l'arrêté du 25 juin 1980 relatif au règlement de sécurité contre les risques d'incendie et de panique dans les établissements recevant du public indiquent que pour les véhicules de secours, la hauteur libre sur les sections d'accès doit être au minimum de 3,50 m sur terrain plat pour la desserte de tels établissements. Il faut savoir que cela ne comprend pas les tolérances vis à vis du gabarit, ni les différentes revanches constructives, ce qui pour l'accès à de tels établissements conduit à une hauteur libre de 3,65 m au moins (3,70 m afin de respecter les règles de signalisation).

En ce qui concerne les véhicules de sécurité capables d'intervenir seulement au profit des usagers à l'intérieur d'un tunnel, ils n'ont pas de gabarit normalisé et ils doivent s'adapter aux conditions locales. Néanmoins, si l'on choisit une hauteur libre minimale trop faible pour des tunnels urbains de grande longueur, on limite la capacité d'intervention des moyens de secours à l'intérieur d'une agglomération et aussi le nombre de véhicules capables d'intervenir au profit des usagers.

Pour les raisons qui viennent d'être exposées, il paraît souhaitable, en site urbain et pour des tunnels routiers d'une certaine importance (longueur du tunnel, caractère de la zone desservie), de retenir une hauteur libre minimale de 3,70 m.

Il conviendra en tout état de cause de vérifier sur le plan local avec les services concernés (pompiers) si le gabarit envisagé permet le passage de leurs gros engins d'intervention (véhicules avec échelle ou avec groupe mousse).

Si pour les ouvrages normaux à 4,30 m, 4,50 m et 4,75 m, le projeteur ne doit pas se poser de questions vis-à-vis du gabarit, il n'en est pas de même pour les passages souterrains à "gabarit réduit" où la notion d'objectif à atteindre est très importante.

5.4.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES :

Lors de la conception d'un ouvrage, il convient de majorer les valeurs précédentes :

– d'une revanche de "construction et d'entretien" (représentant les aléas de construction, les déformations de l'ouvrage ainsi que le problème de rechargement ultérieur de la chaussée),

– d'une revanche de protection supplémentaire par rapport à la précédente afin de protéger efficacement les équipements fragiles d'un tunnel.

A) Revanche de construction et d'entretien

Pour les tunnels et tranchées couvertes, elle peut être fixée de 0,05 à 0,10 m suivant la politique prévue pour le rechargement ultérieur de la chaussée.

Il est déconseillé en général de prévoir une telle opération, car elle nécessite de telles sujétions (trottoirs qui "disparaissent", réhaussement presque obligatoire des avaloirs, changement du gabarit admissible à l'intérieur de l'ouvrage) que l'on n'a généralement pas intérêt à prévoir une réfection par dessus l'ancienne couche de roulement. Ce cas n'est à prévoir en règle générale que pour les ouvrages courts qui sont passibles de la même politique d'entretien que la chaussée à l'air libre.

B) Revanche de protection

Vis-à-vis des équipements, la valeur minimale à prendre en compte est de 0,10 m. Il reste bien évident qu'elle s'appliquera au droit des équipements et que dans le cas où le projeteur dispose d'espaces importants (par exemple profil voûte sans plafond de ventilation), on aura intérêt à augmenter sensiblement cette valeur.

C) Remarques

Il convient parallèlement de tenir compte de l'ensemble des éléments qui peuvent intervenir sur l'évaluation de la hauteur libre, à savoir :

- influence du tracé en plan : il entraîne des variations de dévers dont l'influence est loin d'être négligeable et qui doivent être systématiquement prises en compte,
- influence du profil en long : pour les tunnels à point bas (en angle rentrant), on aura soin également de vérifier que la distance de visibilité longitudinale est respectée.

5.4.4 LARGEURS À PRENDRE EN COMPTE

La hauteur libre minimale augmentée de la revanche de construction et d'entretien doit régner sur toute la largeur roulable augmentée de chaque côté d'une marge latérale ou revanche latérale de protection. Les valeurs à prendre en compte vis-à-vis du génie civil seront les suivantes :

- chaussée bordée d'une bande d'arrêt d'urgence : 0 m,
- chaussée bordée d'une bande dérasée :
 - 0,10 m pour les hauteurs de 4,50 et 4,30 m,
 - 0 m pour la hauteur libre de 4,75 m.

En cas de présence d'équipements latéraux, la marge latérale doit être au minimum de 0,25 m.

Dans le cas particulier où des équipements sont implantés dans les coins, le projeteur prend en compte la hauteur libre (et non plus minimale) avec la marge latérale de protection de 0,25 m vis-à-vis des différents appareils mis en œuvre.

5.4.5 PROBLÈMES PARTICULIERS DE CONSTRUCTION DES PROFILS VOÛTES :

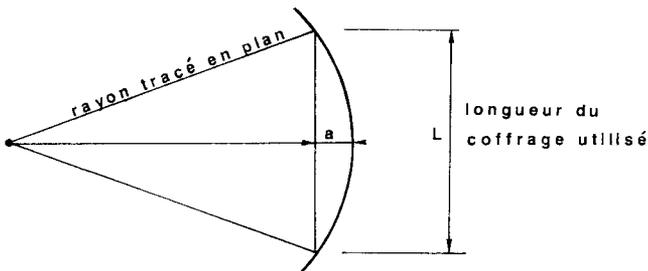
A) Aléas de construction du profil voûte :

Compte tenu de la déformation des coffrages utilisés pour la réalisation des profils voûtés, l'aléa de construction d'un profil voûté est de 0,05 m par rapport au rayon théorique du coffrage.

Il conviendra de tenir compte de cette tolérance de réalisation (ou revanche supplémentaire de construction) lorsque cet aléa peut engager la hauteur libre réelle de l'ouvrage ou poser des problèmes vis à vis de l'implantation des équipements.

B) Problème particulier des tracés en plan courbes :

La réalisation d'un tracé en plan courbe pose également quelques problèmes. En effet, les coffrages utilisés sont droits en plan de par leur fabrication. A la réalisation du génie civil, dans les courbes, la forme donnée prendra donc la corde réduisant en tout point du profil en travers les dimensions géométriques du projet (et donc les hauteurs libres).



La réduction maximale occasionnée est donnée par la relation :

$$a = R - \sqrt{R^2 - L^2/4}$$

Ce problème est à prendre en compte dans la conception et de la réalisation de l'ouvrage, car la réduction occasionnée peut être importante (si l'on n'y fait pas attention) pour les faibles rayons.

Pour un coffrage de 10 m environ et un rayon en plan de 200 m, elle est de l'ordre de 6 à 6,5 cm environ, auxquels il convient d'ajouter également les aléas de construction comme indiqué dans le paragraphe précédent.

C) Conclusion

Ces éléments, s'ils sont difficilement appréhendables au niveau de l'avant projet, sont à regarder

de très près et à prendre en considération au niveau du dossier de consultation des entreprises, ainsi qu'au moment de la réalisation. Ces notions sont rappelées et explicitées plus à fond dans le document "Génie civil" du présent dossier pilote.

5.4.6 NOTION DE GABARIT

A) La notion de gabarit (associé à la hauteur proprement dite des véhicules) n'est à employer que vis-à-vis de la signalisation et de la réglementation de limitation en hauteur pour les ouvrages construits (et non pas projetés).

Le gabarit se déduit de la hauteur libre mesurée sous l'ouvrage par la formule :

$G = \text{Hauteur libre} - \text{Revanche de protection} - \text{Revanche de signalisation}$.

Cette valeur est arrondie au multiple de 0,10 m inférieur pour donner le gabarit admissible à l'intérieur de l'ouvrage, à mentionner sur les panneaux B.12 qui sont implantés au niveau de l'ouvrage proprement dit et au niveau de la présignalisation de l'itinéraire de déviation.

B) D'après les textes en vigueur sur la signalisation, l'ensemble revanche de protection - revanche de signalisation a une valeur de 0,20 m à 0,30 m. En complément à cette règle nous préconisons d'adopter les usages suivants :

– Pour les hauteurs libres supérieures à 4,30 m on peut retenir :

- sans équipement : 0,20 à 0,30 m,
- avec équipement : 0,30 à 0,40 m.

– Pour une hauteur libre de 3,65 m : à la construction, il conviendrait d'adopter une hauteur minimale de 3,70 m (et non plus 3,65 m) dont on retranche pour la détermination du gabarit (obligation de gabarit 3,50 m) les valeurs suivantes :

- sans équipement : 0,20 m,
- avec équipement : 0,30 m.

– Pour une hauteur libre de 2,75 m (PSGR type B) : à la construction, la hauteur libre minimale souhaitable est de 2,80 m (et non plus de 2,75 m), dont on retranche les valeurs mentionnées ci-dessus, afin d'obtenir un gabarit de 2,60 m sans équipements.

– Pour une hauteur libre de 2 m (PSGR type A) : comme dans le cas précédent, il serait souhaitable de passer à 2,10 m (et non plus à 2 m) pour obtenir un gabarit à 1,90 m sans équipements avec les revanches préconisées ci-dessus.

5.4.7 RÉCAPITULATIF

I - TABLEAU RÉCAPITULATIF

Conception d'un ouvrage neuf			Signalisation d'un ouvrage existant	
Revanche de protection. Revanche de construction et d'entretien.	Rp Rc	H Hauteur libre de l'ouvrage	Rp Rs	Revanche de protection. Revanche de signalisation.
Hauteur libre minimale.	Hm		G	Gabarit admissible.
$H = Hm + Rc + Rp$			Valeur du gabarit admissible $G = H - Rp - Rs$ arrondi au multiple de 0,10 inf.	

II - VALEURS USUELLES

<p style="text-align: center;">Hauteur libre minimale Hm</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - cas général : 4,30 m, - route internationale : 4,50 m, - autoroute : 4,75 m (avec possibilité de dérogation à 4,50 m dans les tunnels), - P.S.G.R. bus : 3,65 m avec souhait à 3,70 m, - P.S.G.R. A ou B : voir dossier pilote P.S.G.R. (2 m, 2,75 m avec souhait à 2,10 m et 2,80 m). 	<p style="text-align: center;">Revanche de protection Rp en tunnel et tranchée couverte</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - génie civil : 0, - équipements : 0,10.
<p style="text-align: center;">Revanche de construction et d'entretien Rc</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - tunnel et tranchée couverte : 0,05 m à 0,10 m suivant la politique de rechargement ultérieur. 	<p style="text-align: center;">Revanche de signalisation Rs</p> <hr/> <ul style="list-style-type: none"> - 0,20 m à 0,30 m.

CHAPITRE 6

INFLUENCE DES ÉQUIPEMENTS SUR LE PROFIL EN TRAVERS

Dans le chapitre 5 ont été données les indications permettant de déterminer les caractéristiques géométriques (largeur roulable, isolateurs, gabarit, dévers) imposées par les impératifs de la circulation routière.

Le dimensionnement définitif du profil en travers nécessite en outre de connaître les incidences :

- des conditions géotechniques qui déterminent la forme générale du profil en travers des tunnels creusés (profil plein cintre, voûte surbaissée, radier en contre-voûte, profil circulaire...) et le dimensionnement du revêtement,
- des méthodes de construction, en particulier de l'utilisation éventuelle d'une machine foreuse à pleine section,
- des équipements du tunnel (ventilation, éclairage, équipements de sécurité et éventuellement signalisation de direction) qui nécessitent la réservation d'un espace suffisant pour loger les gaines ou appareillages en dehors du "gabarit" routier.

Les deux premiers facteurs sont examinés dans le document "Génie civil".

Le troisième fait l'objet du présent chapitre qui rassemble les indications du document "Equipements" ayant une incidence sur la géométrie.

6.1 INFLUENCE DE LA VENTILATION

L'influence sur le profil en travers de l'installation de ventilation mécanique dépend dans une large mesure du système de ventilation adopté (les différents systèmes sont décrits au chapitre 3 de la section Ventilation du document Equipements).

6.1.1 VENTILATION LONGITUDINALE

La ventilation longitudinale par accélérateurs n'a pratiquement pas d'influence sur la géométrie des tunnels voûtés, si l'on se limite à des diamètres de ventilateurs de 0,80 m à 1,50 m environ. La place disponible en voûte, au-dessus du gabarit routier et de sa hauteur libre minimale associée est suffisante. La revanche de protection **au droit** des groupes moto-ventilateurs sera d'au moins 0,10 m. Pour les tunnels à profil rectangulaire, au contraire, la ventilation longitudinale a une influence non négligeable sur la géométrie du profil en travers, étant donné que l'on ne peut généralement pas installer les accélérateurs au-dessus des trottoirs sans engager le gabarit routier.

Les solutions adoptées pour réserver au moindre coût les emplacements nécessaires à l'installation des accélérateurs sont différentes selon qu'il s'agit d'une tranchée couverte ou d'un tunnel immergé :

- Dans les tranchées couvertes, les accélérateurs peuvent être exceptionnellement installés dans des niches aménagées dans le plafond ou dans les pénétrations. Pour des accélérateurs de 1,20 m de diamètre, les dimensions de ces niches sont les suivantes :

Longueur : 20 à 25 m.

Profondeur : 1,60 à 1,80 m.

La longueur importante est nécessitée par le raccordement à la section courante qui doit être progressif du côté du refoulement des accélérateurs pour conduire les jets d'air. La profondeur se détermine en prenant une garde de 0,30 m entre les accélérateurs et les parois, afin de diminuer les frottements des jets d'air contre ces dernières qui réduisent l'efficacité des accélérateurs ; une revanche minimale de protection de 0,10 m entre les accélérateurs et la hauteur libre minimale (définie au chapitre 5) est à prendre en compte afin d'éviter les accrochages par les bâches flottantes de

certain poids lourds. On veillera également à soigner la forme aérodynamique de la niche.

– Dans les tunnels immergés, une étude économique et technique est à effectuer au cas par cas entre les quatre solutions suivantes :

- augmenter la hauteur sous plafond de la quantité nécessaire sur toute la longueur de l'ouvrage,
- augmenter la largeur de l'ouvrage sur toute la longueur afin de pouvoir implanter les accélérateurs latéralement,
- prévoir des caissons spéciaux pouvant recevoir les accélérateurs soit au-dessus ou soit latéralement.

pements de ventilation. Les conduits d'air frais sont situés sous la chaussée et les conduits d'air vicié au-dessus du gabarit routier.

C) Tunnels à profils rectangulaires

Dans ce cas la ventilation a une influence souvent très grande sur la géométrie du tunnel. Elle nécessite soit un approfondissement, soit un élargissement de l'ouvrage. On cherche en général à réduire la section des conduits de ventilation en augmentant le nombre des usines de ventilation, ce qui a pour effet de réduire les débits d'air dans les conduits.

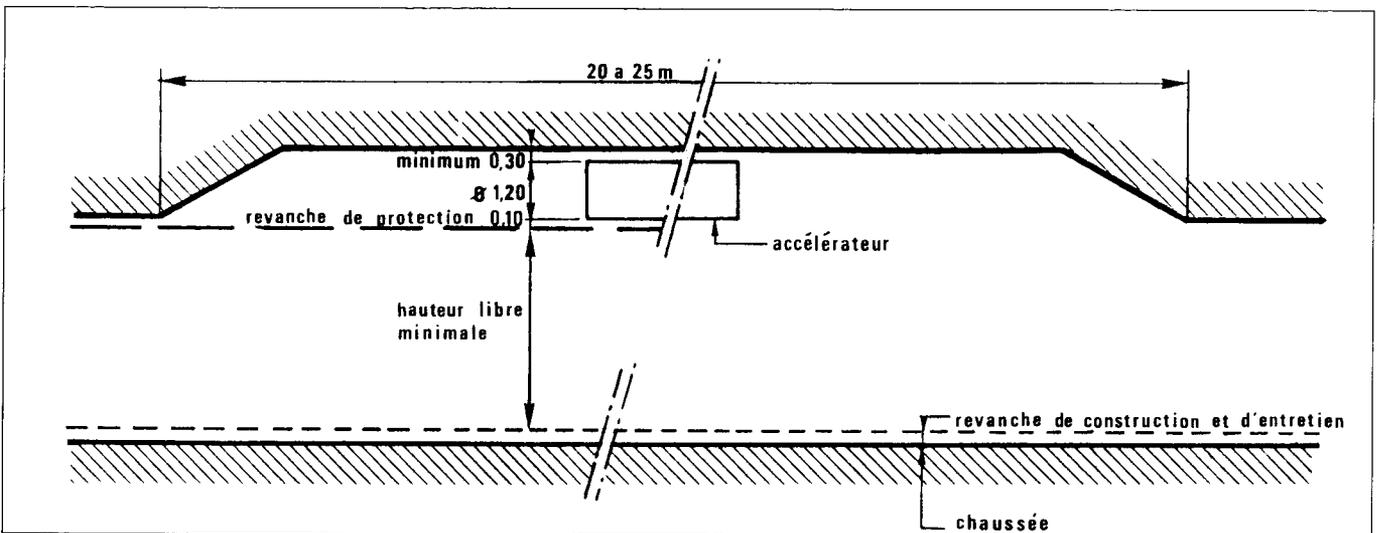


FIG. 6.1 - Coupe au droit d'une niche de ventilation

6.1.2 VENTILATION SEMI-TRANSVERSALE, TRANSVERSALE OU TRANSVERSALE PARTIELLE

L'influence de ces installations de ventilation dépend dans une large mesure de la forme du profil en travers.

A) Tunnels voûtés

La ventilation a en général beaucoup d'influence sur la géométrie, et ce surtout s'il s'agit d'un tunnel très long pour lequel la construction de puits de ventilation en nombre suffisant est trop coûteuse ou impossible. Les conduits de ventilation sont placés de préférence en voûte dans la section disponible au-dessus du gabarit routier. Dans certains cas on est amené à augmenter la section déroctée pour assurer aux conduits de ventilation une section suffisante. L'agrandissement se fait de préférence au-dessus du gabarit routier, car la construction des conduits est en général plus économique en voûte que sous la chaussée, en raison des coûts respectifs d'un faux plafond et d'une dalle de chaussée. En règle générale, il faut effectuer une étude économique.

B) Tunnels à profil circulaire

L'adoption d'un profil circulaire, pour des raisons constructives, permet de loger facilement les équi-

6.2 INFLUENCE DE L'ÉCLAIRAGE

L'influence de l'éclairage sur la géométrie du profil en travers est différente selon qu'il s'agit d'un éclairage par appareils étanches à flux dirigé ou d'un éclairage par paroi lumineuse.

6.2.1 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS ÉTANCHES À FLUX DIRIGÉ

Dans ce cas l'éclairage a généralement peu d'influence sur la géométrie.

Dans les tunnels voûtés sans faux plafond, à 2 ou 3 voies, l'installation des appareils d'éclairage ne nécessite aucune modification du profil en travers.

Dans les tunnels voûtés larges comportant un faux plafond et dans les tunnels à profil rectangulaire, les appareils d'éclairage se trouvent soit au-dessus de l'espace réservé à la circulation, soit au-dessus des trottoirs. Leur installation en plafond nécessite une augmentation de 0,30 à 0,40 m de hauteur libre minimale.

D'une façon générale, il est recommandé de réserver une garde suffisante entre ces appareils et la hauteur libre minimale, afin d'éviter leur détérioration par les bâches flottantes. La revanche de protection doit être au minimum de 0,10 m.

6.2.2 ÉCLAIRAGE PAR APPAREILS À FLUX DIRIGÉ IMPLANTÉ EN GALERIE

Ce mode d'éclairage est employé dans certains tunnels urbains où il y a volonté d'effectuer les interventions sans avoir à arrêter ou à réduire la circulation. Il nécessite une galerie d'environ 1 m de large et 2 m de haut. Elle peut être jumelée avec les conduits de ventilation.

6.3 INFLUENCE DE LA SIGNALISATION

L'influence de la signalisation est assez voisine de celle de l'éclairage. Elle est en général nulle pour des ouvrages voûtés à 2 voies et pour les tunnels à profil rectangulaire si les panneaux sont installés en piédroits. Il convient simplement de vérifier que l'on dispose d'environ 0,50 m (plus 0,25 m de garde) entre le gabarit en largeur et le piédroit dans les cas courants de panneaux de signalisation (gamme miniature) ou de feux tricolores.

Dans les ouvrages à plus de 2 voies comportant un faux plafond et dans les ouvrages à profil rectangulaire où la signalisation est implantée au-dessus des voies, le surgabarit moyen en hauteur nécessité par les feux d'exploitation de voie est de 0,40 m environ (0,30 m d'équipement pour des \varnothing 20 et 0,10 m de revanche de protection).

Dans certains tunnels, il est nécessaire d'installer des panneaux directionnels dont les dimensions, très variables, peuvent être importantes. Il convient d'en tenir compte au niveau du dimensionnement géométrique. De telles dispositions sont à éviter dans toute la mesure du possible, en raison des répercussions importantes sur le profil en travers.

Dans certains cas spéciaux, les panneaux réglementaires (limitation de vitesse, interdiction de doubler) peuvent ne pas être implantés latéralement, mais au-dessus de la hauteur libre de l'ouvrage. Il convient alors d'en tenir compte dans le dimensionnement général, et en particulier du faux plafond de ventilation ou plafond.

Dans tous les cas, il conviendra de s'assurer que la gamme miniature pour la signalisation (feux, panneaux de signalisation) est adéquate et qu'il ne convient pas de prendre en compte des gammes petite, normale, grande ou très grande. La dimension réglementaire des panneaux de signalisation (en mm) est définie par le tableau ci-dessous :

Type de panneau GAMME	Triangle (côté nominal)	Disque (diamètre)	Octogone (largeur)	Carré (côté nominal)
Très grande	1 500	1 250	1 200	1 050
Grande	1 250	1 050	1 000	900
Normale	1 000	850	800	700
Petite	700	650	600	500
Miniature	500	450	400	350

L'implantation en hauteur des panneaux de signalisation peut dans le cas des tunnels être adaptée. On trouvera toutefois ci-après la partie réglementaire concernant cette question (Signalisation Routière - livre I première partie - article 9) :

La hauteur des panneaux au-dessus du sol s'entend toujours sauf indication contraire, de la hauteur du bord inférieur du panneau ou du panneau associé (mais non d'un cartouche éventuel) par rapport au niveau de l'accotement (ou du trottoir).

a) En rase campagne

La hauteur réglementaire est fixée en principe à 1 m (si plusieurs panneaux sont placés sur le même support, cette hauteur est celle du panneau inférieur), hauteur assurant généralement la meilleure visibilité des panneaux frappés par les feux des véhicules.

Elle peut être modifiée compte tenu des circonstances locales :

- soit pour assurer une meilleure visibilité des panneaux,
- soit pour éviter qu'ils masquent la circulation. C'est ainsi que, sur les îlots directionnels, ils peuvent être placés à une hauteur inférieure à 1 m.

b) En agglomération

Dans les agglomérations bénéficiant d'un éclairage public, les panneaux peuvent être placés à une hauteur allant jusqu'à 2,30 m pour tenir compte notamment des véhicules qui peuvent les masquer, ainsi que de la nécessité de ne gêner qu'au minimum la circulation des piétons.

AVERTISSEMENT

De par l'influence énorme que peut représenter la signalisation sur la conception du profil en travers et sur les réservations éventuellement nécessaires, on aura tout intérêt lors des études préliminaires à étudier ces équipements (implantation dans le tracé en plan et le profil en travers, taille...).

Le document 4 Equipements section 4 reprend en les explicitant, les différents problèmes liés à cet équipement.

6.4 INFLUENCE DU PASSAGE DE CÂBLES ET DE CANALISATIONS

(complément du § 5.3 du présent document)

Dans les tunnels routiers, à l'exception des ouvrages très courts sans équipements, il est nécessaire d'assurer le passage des câbles pour l'alimentation électrique des équipements et pour les télétransmissions. Certains tunnels sont équipés d'une conduite incendie. En outre, ils doivent parfois livrer passage à des câbles électriques ou à des canalisations diverses sans rapport avec les équipements de l'ouvrage, notamment si des venues d'eaux importantes sont drainées par le tunnel.

Dans certains cas, ces câbles et canalisations doivent être installés sous les trottoirs, ce qui peut conduire à remplacer de simples bute-roues, suffisants sur le plan de la circulation routière, par des trottoirs plus larges.

Il est plus commode de placer les câbles sous trottoirs dans des caniveaux (généralement préfabriqués) plutôt que de prévoir des fourreaux. Un jeu suffisant doit être aménagé dans leur logement.

Dans bien des cas, une galerie visitable, indépendante de l'espace réservé à la circulation, serait utile. Bien que l'incidence financière soit généralement importante, il convient, au niveau du projet,

d'étudier la faisabilité d'une telle galerie en cherchant à utiliser les espaces disponibles en dehors du gabarit routier.

On trouvera dans le document "Génie civil" des schémas types pour les trottoirs et les différentes réservations pour le passage de câbles et des canalisations.

CHAPITRE 7

DISPOSITIONS DE SÉCURITÉ RELATIVES AU GÉNIE CIVIL ET À LA GÉOMÉTRIE

Ce chapitre fait l'inventaire des dispositions spéciales de sécurité relative au génie civil et à la géométrie qui sans être à proprement parler de la géométrie, doivent être connues du projeteur et des "décideurs" ; ces éléments peuvent éventuellement influencer les choix relatifs à la largeur roulable, au profil en travers, au tracé en plan et au profil en long.

Tous les éléments explicités ci-après contribuent à la sécurité des usagers et facilitent l'intervention des secours ainsi que l'évacuation des automobilistes.

Nous avons reproduit ci-après un certain nombre de prescriptions réglementaires de la circulaire interministérielle 81.109 du 29 décembre 1981 relative à la sécurité dans les tunnels routiers situés sur le réseau national.

Toutefois, un certain nombre d'évolutions constructives qui sont apparues pourraient être débattues lors de l'examen du projet par la commission départementale de sécurité. On trouvera d'ailleurs en 7.7 les points susceptibles d'évoluer.

7.1 CIRCULATION DES PIÉTONS

Ce point a déjà été examiné dans le cadre du présent document (cf. § 5.3). On rappellera qu'il faut distinguer les ouvrages où les piétons sont admis (trottoirs surélevés et de 1,50 m de large) et ceux où ils sont interdits.

7.2 ÉVACUATION DES USAGERS

Il convient de prendre des dispositions afin de permettre l'évacuation à pied des usagers bloqués en tunnel à la suite d'un sinistre grave. Différentes possibilités sont offertes qui sont répertoriées ci-après :

7.2.1. Pour les tunnels à couverture très faible (cas général des tunnels urbains en tranchée couverte), on prévoit des communications avec l'air libre, accessibles aux piétons à partir de l'intérieur tous les 200 m environ.

7.2.2. Pour les tunnels comportant deux tubes à circulation unidirectionnelle, des galeries de communication sont implantées à intervalles réguliers voisins de 400 m. Ces galeries sont accessibles aux piétons. Certaines d'entre elles, en règle générale une sur deux, doivent être également accessibles aux véhicules.

Dans le cas des tranchées couvertes juxtaposées ces dispositions sont également appliquées (galeries de communications devenant communications directes).

7.2.3. Pour les tunnels à double sens et à couverture importante, pour lesquels la communication directe avec l'air libre n'est pas possible, on doit étudier la faisabilité technique et financière d'une galerie piétonne parallèle au tunnel.

Si cette faisabilité n'est pas assurée, on doit :

- soit prévoir des refuges (éclairés, ventilés) au droit des galeries de retournement,
- soit aménager les gaines techniques d'amenée d'air frais afin de permettre leur utilisation pour l'évacuation ou la mise à l'abri des usagers.

7.2.4. Les galeries pour piétons ainsi que les issues de secours doivent avoir pour largeur un multiple de 0,70 m (avec un minimum de 1,40 m) et une hauteur de 2,60 m.

7.3 ARRÊT ET ÉVACUATION DES VÉHICULES

7.3.1 ARRÊT DES VÉHICULES

Les perturbations apportées par la présence d'un véhicule en panne dépendent surtout de l'impor-

tance du trafic et de la largeur roulable qui peut ne pas être suffisante dans tous les cas.

Aussi, il est recommandé lorsque la largeur roulable ne permet pas la circulation sur le nombre nominal de files au droit d'un véhicule arrêté, de prévoir des garages tous les 800 m environ, cette distance étant à moduler en fonction des déclivités. La figure 7.1 (page 49) montre les dispositions qui peuvent être adoptées.

7.3.2 ÉVACUATION DES VÉHICULES

Il est souhaitable pour des raisons de sécurité, en particulier dans les tunnels longs, de prendre des dispositions spéciales en vue de pouvoir faire évacuer les véhicules bloqués dans l'ouvrage.

On distingue à cet effet deux sortes d'aménagement répondant à des objectifs différents, et représentés sur la figure 7.2 (page 50) :

– Les galeries de retournement sont autant que possible prévues dans le cas des tunnels ne comportant qu'un seul tube. Leur dimensionnement doit permettre le retournement des poids lourds, en tenant compte de la largeur roulable disponible dans le tunnel.

– Les galeries de communication entre les deux tubes des tunnels unidirectionnels sont implantées à intervalles réguliers de 800 m environ (couplées avec les galeries piétons). Ces galeries doivent permettre d'une part l'évacuation des voitures de tourisme et petites fourgonnettes en cas de sinistre, et d'autre part, l'accès des véhicules de secours. Leur largeur est un multiple de 5 m avec une hauteur minimale permettant le passage des véhicules à gabarit de 3,50 m, soit environ 3,60 à 3,70 m de hauteur libre à la construction.

7.3.3 DISPOSITIONS CONSTRUCTIVES

Tant pour les garages mentionnés en 7.3.1. que pour les différentes galeries de retournement ou de communication (paragraphe 7.3.2.), des dispositifs spéciaux peuvent être éventuellement prévus afin que les angles formés par les 2 piédroits (tunnel et galerie) ne puissent pas constituer un point de choc dangereux pour les automobilistes.

7.4 SÉCURITÉ INCENDIE

7.4.1 MOYENS DE LUTTE CONTRE L'INCENDIE

Une conduite incendie doit être prévue. Des points d'eau disposant de 120 m³ à la pression de 6 bars sont installés tous les 200 m. Le débit à la sortie des bouches d'incendie doit être de 60 m³/h. Dans le cas d'alimentation par réservoir, l'installation de deux réservoirs, un à chaque extrémité du tunnel, d'une capacité minimale de 60 m³ chacun, est recommandée.

On doit veiller au problème de la mise hors gel de cette conduite incendie et du réservoir (avec remplissage automatique).

L'attention du projeteur doit être attirée également sur les réservations à prévoir au niveau du profil en travers pour l'implantation de cette conduite incendie (en général sous un trottoir).

7.4.2 PROTECTIONS DIVERSES CONTRE LES EFFETS DE L'INCENDIE

7.4.2.1 Matériaux généraux de construction

Les matériaux de construction du tunnel exception faite des éléments de chaussée doivent être classés M0 du point de vue de la réaction au feu au sens de l'arrêté du 4 juin 1973 du Ministère de l'Intérieur.

7.4.2.2 Protection des bâtiments en superstructure ou contigus

Lorsque le tunnel se trouve contigu ou situé sous un immeuble habité ou occupé, les murs ou les parois mitoyens sont :

– coupe-feu de degré 4 heures pour un immeuble de grande hauteur,

– coupe feu de degré 3 heures au moins pour un établissement recevant du public, un établissement classé au titre de la loi du 19 juillet 1976 en raison du risque d'incendie,

– coupe-feu de degré 2 heures dans les autres cas.

Dans la mesure où une ou plusieurs parties du tunnel constituent des éléments de la structure porteuse des équipements en superstructure, indépendamment des mesures citées ci-dessus, ces éléments porteurs doivent présenter un même degré de stabilité au feu que ceux des bâtiments en superstructure.

7.4.2.3 Protection des locaux techniques

Si des locaux techniques du tunnel communiquent directement avec le tunnel, les portes de communication doivent être coupe-feu de degré deux heures. Toutefois, pour les cas où ces locaux techniques présenteraient des dangers particuliers d'incendie, l'installation d'un sas ventilé est conseillée.

7.4.2.4 Parois des gaines techniques

Les parois séparant une gaine technique du tunnel ou deux gaines techniques entre elles doivent être coupe-feu de degré deux heures au moins.

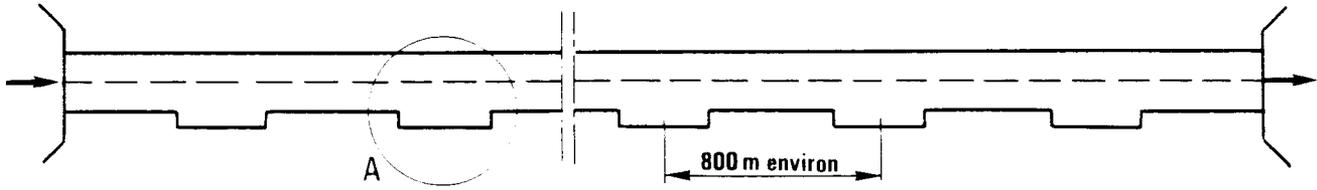
Dans la mesure où les gaines techniques d'amenée d'air frais sont utilisées pour l'évacuation ou la mise à l'abri des usagers, le calcul de leurs planchers devra prendre en compte une surcharge minimale de 250 daN/m² (kg/m²) pour utilisation exceptionnelle en cas de panique.

7.5 NICHES DE SÉCURITÉ

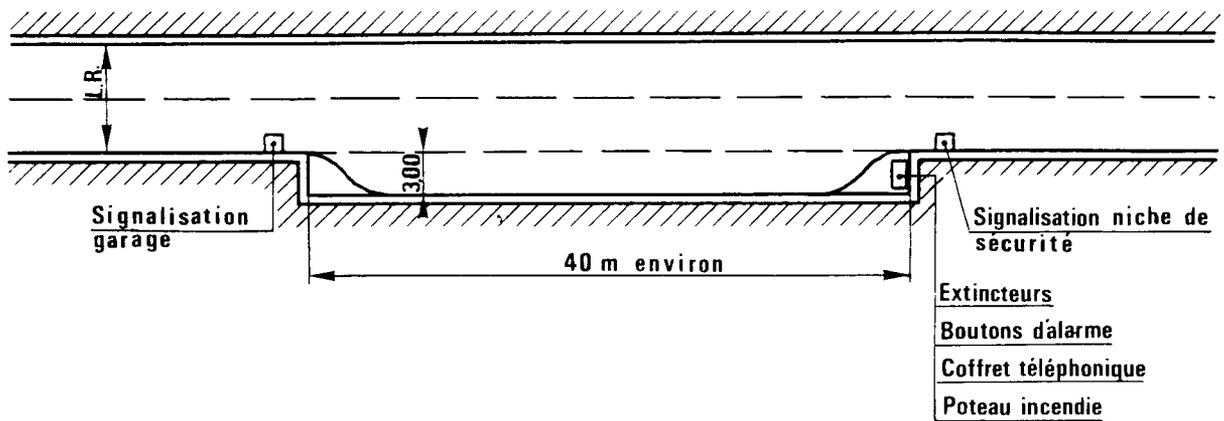
Comme décrit dans le document Equipements, un certain nombre d'équipements sont implantés régulièrement (200 m environ) tout au long de l'ouvrage.

Outre les équipements dits de sécurité (téléphone, extincteurs, boutons-poussoirs, alimentation en énergie, poteaux incendie) on a intérêt à regrou-

Disposition en plan



Vue en plan - détail A



Vue en travers - détail A

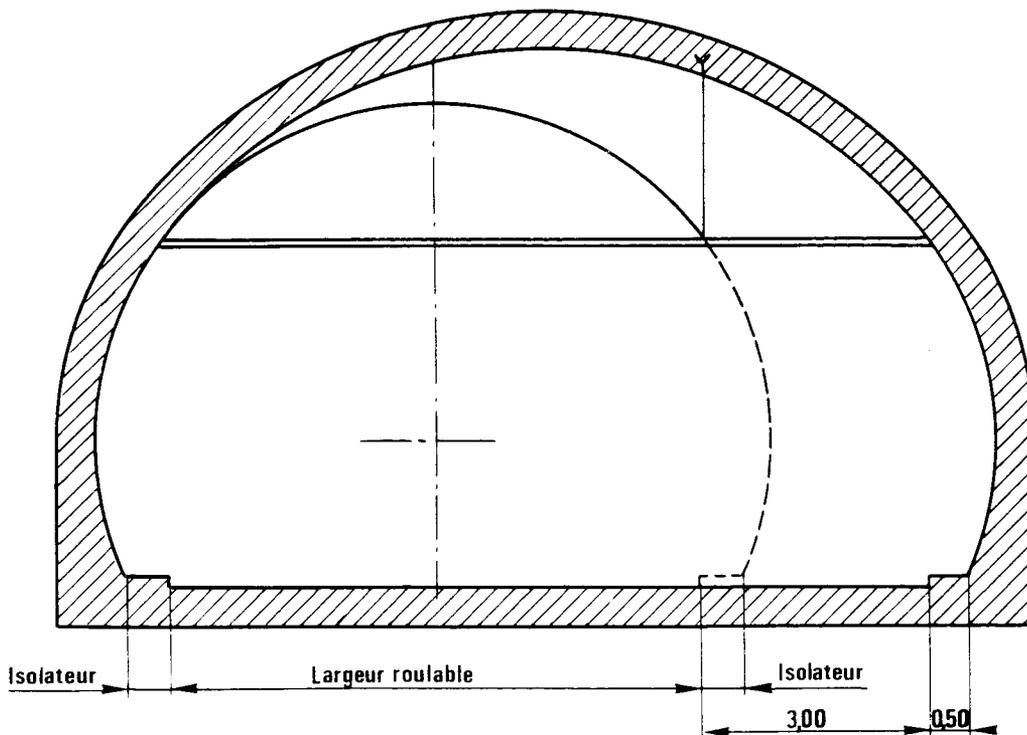
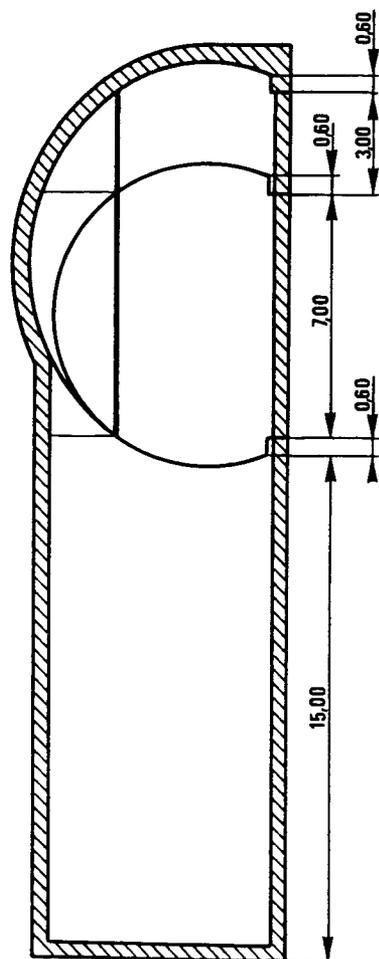
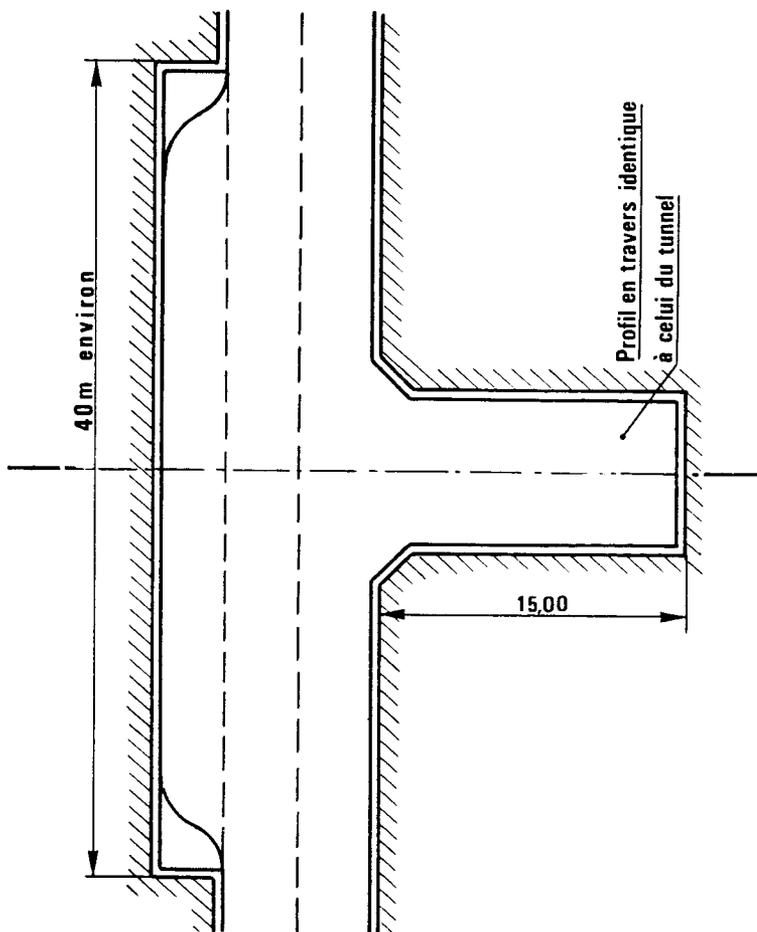


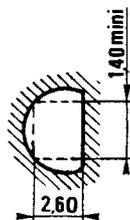
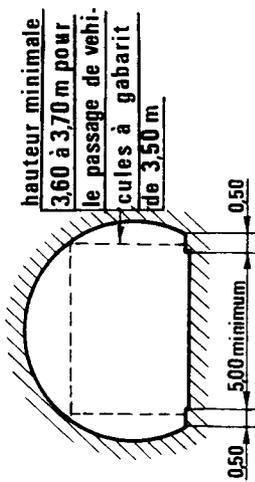
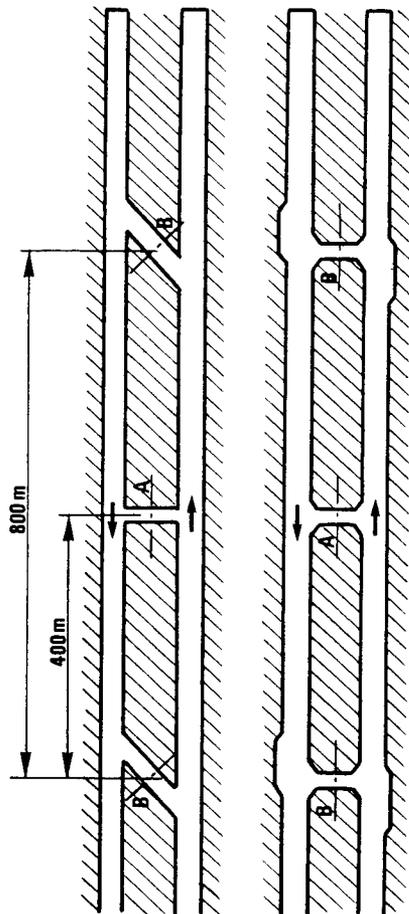
FIG. 7.2 - Evacuation des véhicules et usagers

GALERIE DE RETOURNEMENT



PASSAGES DE SECOURS (2 tubes parallèles)

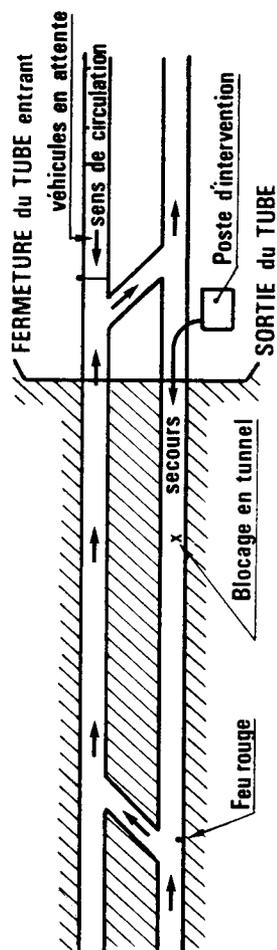
Variantes possibles



GALERIE PIETONS
Coupe A

GALERIE POUR VEHICLES
Coupe B

EXEMPLE D'UTILISATION



per à ce niveau d'autres équipements comme les armoires de signalisation, les capteurs (ou prises), de manière à simplifier les problèmes d'entretien et d'exploitation.

Les niches de sécurité prévues à cet effet ont les dimensions minimales suivantes :

- largeur 2 m,
- hauteur 2 m sur toute la largeur,
- profondeur 0,70 m.

Toutefois ces dimensions sont à adapter en fonction des matériels à implanter et des possibilités offertes par le génie civil (cf. fig. 7.3 et 7.4 à titre d'exemples) (page 52).

7.6 AMÉNAGEMENTS SPÉCIAUX

7.6.1 TUNNEL CADRE

Si les engins de relèvement des véhicules renversés ne peuvent intervenir efficacement dans les tunnels "cadre" en raison du gabarit limité, il est recommandé de placer un anneau (force minimale 5 t) dans les piédroits entre 0,5 m et 1,5 m du sol, tous les 50 m en quinconce.

7.6.2 TUNNEL OÙ LE TRANSIT DES MATIÈRES DANGEREUSES EST AUTORISÉ

Si le passage des matières dangereuses est autorisé, il est nécessaire de prévoir les aménagements suivants :

- caniveau fendu continu ou recueil tous les 50 cm sur toute la longueur de l'ouvrage pour collecter les liquides inflammables répandus,
- canalisation d'évacuation d'une capacité de 200 l/s, et bouches de communication avec le tunnel tous les 50 m d'une capacité de 100 l/s et munie d'un syphon,
- fosse de récupération au point bas d'une capacité de 50 m³.

REMARQUE :

Ces dispositions peuvent être étendues au cas des tunnels routiers où le transit des matières dangereuses, même s'il est interdit à l'ouverture, n'est pas totalement à exclure à long terme.

7.7 PRINCIPALES ÉVOLUTIONS ENVISAGEABLES PAR RAPPORT À LA CIRCULAIRE 81.109 DU 29.12.1981

(données à titre indicatif)

7.7.1 MATÉRIAUX DE CONSTRUCTION

Les matériaux de construction du gros œuvre du tunnel, exception faite des éléments de chaussée, doivent être incombustibles.

Les matériaux de revêtement et les matériaux de couverture doivent être classés M0 et M1 en réaction au feu au sens des dispositions de l'arrêté du 30 juin 1983.

Cette prescription vise principalement les matériaux utilisés pour recouvrir les piédroits, ou pour réaliser une couverture légère translucide.

7.7.2 PROTECTION DES BATIMENTS EN SUPERSTRUCTURE

Lorsqu'un tunnel se trouve en tout ou partie contigu à des locaux ou situé sous un immeuble habité ou occupé, à défaut de justification par le calcul d'une résistance au feu qui tienne compte du risque réel d'incendie pouvant résulter d'un accident de la circulation, on fait en sorte forfaitairement que :

- les parois mitoyennes soient coupe-feu de degré trois heures,
- la ou les parties du tunnel constituant des éléments de la structure porteuse des bâtiments en superstructure soient stables au feu de degré trois heures.

Si les locaux techniques du tunnel communiquent directement avec le tunnel, les portes de communication doivent être coupe-feu de degré deux heures. Toutefois, pour le cas où ces locaux techniques présenteraient des dangers particuliers d'incendie, l'installation d'un sas ventilé est nécessaire.

Si le tunnel communique avec un complexe d'urbanisme souterrain, on prévoit un sas globalement coupe-feu trois heures (cela peut être obtenu avec deux portes coupe-feu de degré une heure et une surface au sol comprise entre 6 et 10 m²).

7.7.3 RÉFLEXIONS SUR LES ACTES TERRORISTES

Lors de la conception du projet, le projeteur peut prendre également en compte des considérations liées aux actes terroristes tant dans la possibilité d'accès à certains points sensibles du tunnel (équipements techniques) qu'aux possibilités d'arrêt (garages, galeries...).

7.7.4 COMMISSION ADÉQUATE DE SÉCURITÉ

La circulaire 81/109 du 29/12/1981 prévoit qu'au cours de l'étude de l'avant-projet de l'ouvrage, il convient de faire examiner par la commission départementale de sécurité concernée les dispositifs prévus.

Il semblerait actuellement que la commission concernée soit la Commission Consultative Départementale de la Protection Civile, de la Sécurité et de l'Accessibilité (C.C.D.P.C.S.A.) créée par le décret 85.988 du 16 septembre 1985 (Ministère de l'Intérieur et de la Décentralisation).

Dans le cas particulier de Paris, les Hauts-de-Seine, la Seine-Saint-Denis et le Val-de-Marne, la C.C.D.P.C.S.A. est à remplacer par la Commission Départementale de Sécurité.

FIG. 7.3 - Niche de sécurité type ouverte sur piédroits voûtés

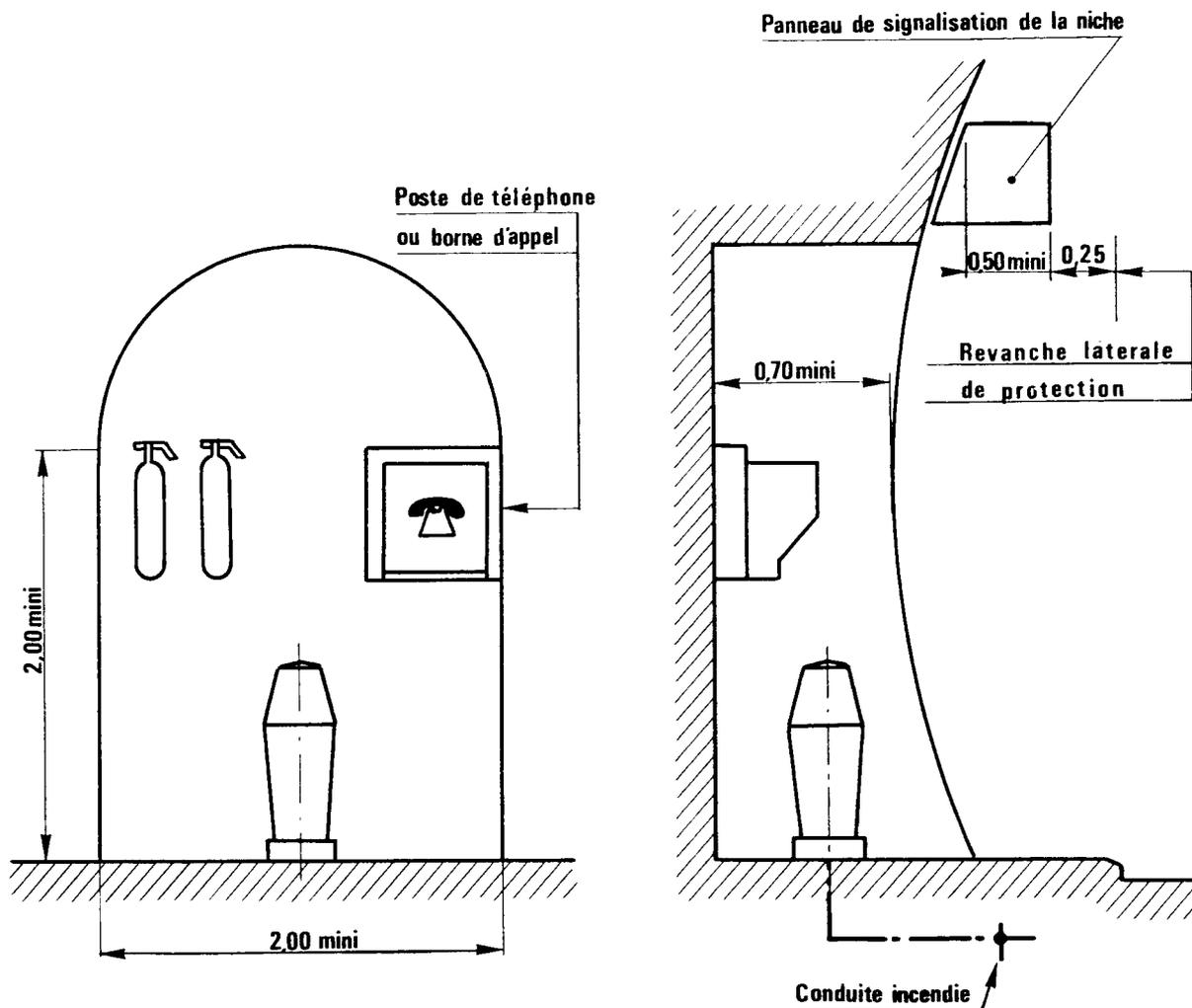
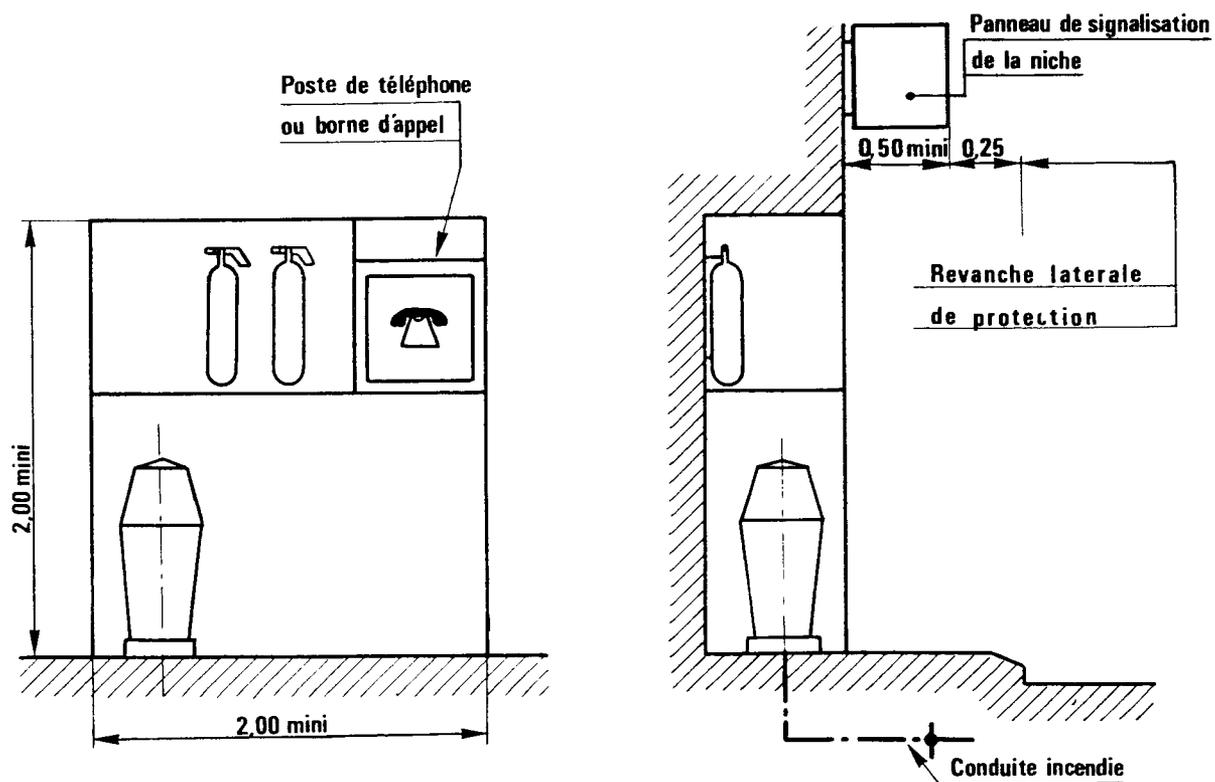


FIG. 7.4 - Niche de sécurité type fermée sur piédroits verticaux



CHAPITRE 8

PROFILS TYPES (à forme circulaire)

8.1 FICHER DE PROFILS TYPES

On trouvera ci-après un fichier de profils types permettant à partir des caractéristiques largeur roulable et hauteur libre minimale de déterminer pour une première approche, les données géométriques d'un profil en travers à forme circulaire.

Ces profils types sont établis sur les bases suivantes :

- dévers variable de -3 à $+3$ % (avec point de rotation sur axe chaussée),
- pas de contraintes particulières liées à la ventilation (dans un système avec faux plafond) ou aux autres équipements à implanter dans le profil en travers (éclairage, signalisation ou exploitation et sécurité),
- tolérance de réalisation du génie civil : ± 5 cm.

FICHER DE PROFILS TYPES

Largeur roulable	Largeur trottoir horizontale m	Hauteur libre m	Section intérieure avec tolérance réalisation (m ²) (intradoss)	Position du centre/axe chaussée m	Hauteur du centre m	Rayon du cercle m
7,60 m	0,65	4,35	52,31	0	1,69	4,76
	0,65	4,55	54,30	0	1,81	4,81
	0,66	4,80	56,83	0	1,96	4,87
8,20 m	0,75	4,35	57,13	0	1,55	5,09
	0,75	4,55	59,23	0	1,68	5,13
	0,75	4,80	61,90	0	1,83	5,19
8,50 m	0,75	4,35	59,58	0	1,53	5,22
	0,75	4,55	61,72	0	1,66	5,27
	0,75	4,80	64,44	0	1,81	5,32
9,00 m	0,84	4,35	63,76	0	1,37	5,51
	0,85	4,55	66,01	0	1,51	5,55
	0,85	4,80	68,86	0	1,67	5,60
9,50 m	0,84	4,35	66,84	0	1,26	5,73
	0,84	4,55	70,41	0	1,47	5,78
	0,85	4,80	73,35	0	1,64	5,83

REMARQUE :

Le cas 9,5 m de largeur roulable et à 4,35 m de hauteur libre a été adapté, le profil minimal correspondant étant un demi-cercle parfait ($R = 6,51$ m).

8.2 CAS DU 8,5 m DE LARGEUR ROULABLE

La largeur roulable de 8,5 m est couramment utilisée dans les ouvrages actuellement en exploitation ou projetés sur autoroutes, routes express ou sur VRU. On trouvera ci-après quelques exemples de l'utilisation de cette largeur roulable dans différentes hypothèses de contraintes particulières sur le plan équipements ou données géométriques, pour un profil en travers circulaire.

8.2.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DE LARGEUR DE TROTTOIRS

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- dévers variables + 3 à - 3 %,
- pas de ventilation.

B) Tableau des résultats

Minimum trottoir m	Largeur trottoir horizontale m	Section intérieure avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	rayon m	Hauteur libre requise m
0,25	0,31	59,68	0	2,02	4,99	4,35
0,50	0,55	59,60	0	1,75	5,11	
0,60	0,65	59,58	0	1,64	5,17	
0,70	0,75	59,58	0	1,53	5,22	
0,80	0,84	59,59	0	1,41	5,28	
1,00	1,04	59,64	0	1,18	5,41	
0,25	0,31	61,61	0	2,13	5,04	4,55
0,50	0,56	61,65	0	1,87	5,16	
0,60	0,65	61,68	0	1,76	5,21	
0,70	0,78	61,72	0	1,66	5,27	
0,80	0,85	61,77	0	1,55	5,33	
1,00	1,04	61,90	0	1,32	5,45	
0,25	0,32	64,09	0	2,26	5,10	4,80
0,50	0,56	64,26	0	2,02	5,22	
0,60	0,66	64,35	0	1,92	5,27	
0,70	0,75	64,44	0	1,81	5,32	
0,80	0,85	64,54	0	1,71	5,38	
1,00	1,04	64,76	0	1,49	5,50	

C) Commentaire :

Dans tous les cas, en l'absence de faux-plafond, on peut donc porter les trottoirs à 1 m sans augmenter la surface intérieure (au maximum, 1 % d'augmentation de la section pour une hauteur libre de 4,80 m lorsque les trottoirs passent de 0,25 à 1 m).

8.2.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- dévers variables + 3 à - 3 %,
- largeur trottoir minimale 0,60 m,
- épaisseur faux plafond 0,25 m.

B) Tableau des résultats.

Hauteur libre	Hauteur sous plafond	Surface ventilation m ²	Surface totale avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	Rayon cercle m
4,55 m	5,08 m pour dévers 0 (4,55 m + 0,30 équipement + 0,10 revanche protection)	8,65 profil minimal	61,68	0	1,76	5,21
		10	63,93	0	1,89	5,26
		12,5	67,80	- 0,01	2,09	5,35
		15	71,42	- 0,01	2,28	5,43
4,55 m	4,68 m pour dévers 0 (4,55 m pas d'équipement)	11,83 profil minimal	61,68	0	1,76	5,21
		12,5	62,83	- 0,01	1,82	5,24
		15	66,26	0	2,02	5,31
4,35 m	4,88 m pour dévers 0 (4,35 m + 0,30 équipement + 0,10 revanche protection)	8,86 profil minimal	59,58	0	1,64	5,17
		10	61,43	- 0,01	1,74	5,21
		12,5	65,25	- 0,01	1,96	5,29
		15	68,82	- 0,01	2,15	5,37
4,35 m	4,48 m pour dévers 0 (4,35 m sans équipement)	12,05 profil minimal	59,58	0	1,64	5,17
		12,5	60,33	- 0,01	1,67	5,19
		15	63,83	- 0,01	1,88	5,26

C) Commentaire :

Pour ce type de profil, une valeur minimale de surface de ventilation est toujours disponible. A largeur de plate-forme fixée, elle est d'autant plus importante que la hauteur libre est plus faible. Au-delà de ce minimum toujours disponible, une augmentation des besoins en surface de ventilation se traduit par une augmentation de la section intérieure qui lui est supérieure d'environ 50 %.

8.2.3 EXEMPLE AVEC 1 m DE ROULABLE SUR TROTTOIR AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m

8.2.3.1 1 m à droite (un seul côté)

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- hauteur libre 4,55 m sur LR + 3,65 m sur 1 m du trottoir droit,
- dévers - 3 ; + 3 ‰,
- pas de contraintes équipement ou ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir gauche 1,04 m,
- LR = 8,5 m,
- trottoir droit :
 - roulant sous 3,65 m : 1 m,
 - complément trottoir droit non roulant = 0,44 m,
 - total trottoir droit = 1,44 m.
- position centre 0 ; hauteur centre 1,28 m,
- rayon du cercle 5,64 m,
- surface totale intérieure (avec tolérance réalisation) 65,19 m².

8.2.3.2 1 m à droite et à gauche (de 2 côtés)

A) Données de base :

- LR = 8,5 m,
- hauteur libre 4,55 m sur LR + 3,65 m sur 1 m du trottoir droit et gauche,
- dévers - 3 ; + 3 %,
- pas de contraintes équipement, ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir droit ou gauche = 2,20 m,
- position centre 0,
- hauteur centre 0,
- rayon du cercle 6,45 m,
- section intérieure avec tolérance réalisation 66,37 m².

8.3 CAS DU 7,60 m DE LARGEUR ROULABLE

8.3.1 EXEMPLE DE L'INFLUENCE DE LA VARIATION DES TROTTOIRS

A) Données de base :

- dévers variables + 3 à - 3 %,
- pas de contraintes particulières équipement ou ventilation.

B) Tableau des résultats

Minimum trottoir m	Largeur trottoir horizontale m	Section intérieure avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	rayon m	Hauteur libre requise m
0,25	0,31	52,05	0	2,04	4,59	4,35
0,50	0,55	52,23	0	1,79	4,71	
0,60	0,65	52,31	0	1,69	4,76	
0,70	0,75	52,41	0	1,59	4,82	
0,80	0,84	52,51	0	1,48	4,88	
1,00	1,04	52,75	0	1,27	5,00	
0,25	0,31	53,90	0	2,14	4,64	4,55
0,50	0,56	54,17	0	1,91	4,76	
0,60	0,65	54,30	0	1,81	4,81	
0,70	0,75	54,43	0	1,72	4,86	
0,80	0,85	54,57	0	1,61	4,92	
1,00	1,04	54,88	0	1,41	5,04	

C) Commentaire :

L'influence de la largeur des trottoirs sur la section intérieure reste faible, même si elle est plus sensible que pour une largeur roulable de 8,5 m (au maximum 1,8 % d'augmentation de la section lorsque les trottoirs passent de 0,25 m à 1 m avec une hauteur libre de 4,55 m).

8.3.2 EXEMPLE DE VARIATION DES BESOINS EN SURFACE DE VENTILATION

A) Données de base :

- dévers variables + 3 à - 3 %,
- largeur trottoir 0,60 m,

B) Tableau des résultats.

Hauteur libre	Hauteur sous plafond requise pour dévers 0	Surface ventilation m ²	Surface totale avec tolérance réalisation m ²	Position centre m	Hauteur centre m	Rayon cercle m
4,55 m	5,06 m (4,55 m + 0,10 revanche protection + 0,30 équipement)	5,93 profil minimal	54,30	0	1,81	4,81
		7,5	57,07	- 0,01	1,97	4,88
		10	61,06	- 0,01	2,19	4,98
		12,5	64,94	- 0,01	2,39	5,08
		15	68,60	0	2,58	5,17
4,55 m	4,66 m (4,55 m pas d'équipement)	8,72 profil minimal	54,30	0	1,81	4,81
		10	56,32	0	1,93	4,86
		12,5	60,11	- 0,02	2,13	4,96
		15	63,68	- 0,02	2,32	5,05
4,35 m	4,46 m (4,35 m pas d'équipement)	8,90 profil minimal	52,31	0	1,69	4,76
		10	54,10	- 0,01	1,79	4,81
		12,5	57,74	- 0,01	2	4,90
		15	61,15	0	2,20	4,98
4,35 m	4,86 m (4,35 m + 0,10 revanche protection + 0,30 équipement)	6,10 profil minimal	52,31	0	1,69	4,76
		7,5	54,74	0	1,84	4,82
		10	58,67	- 0,01	2,06	4,92
		12,5	62,51	- 0,02	2,26	5,02
		15	66,12	- 0,01	2,45	5,11

C) Commentaire :

La surface minimale toujours disponible pour la ventilation est évidemment plus faible qu'avec une largeur roulable de 8,5 m. Une augmentation des besoins en surface pour la ventilation au-delà de ce minimum a une influence comparable au cas précédent sur la section intérieure, qui augmente de 50 % à 60 % de plus que la section de ventilation.

8.3.3 EXEMPLE AVEC 1 m DE ROULABLE SUR TROTTOIRS DROIT ET GAUCHE AVEC UNE HAUTEUR LIBRE DE 3,65 m

A) Données de base :

- LR = 7,60 m,
- hauteur libre : 3,65 m sur 1 m de trottoirs droit et gauche 4,55 m sur LR,
- dévers - 3 ; + 3 %,
- pas de contraintes équipement, ventilation ou génie civil.

B) Résultats :

- trottoir droit ou gauche = 2,30 m dont 1 m à 3,65 m,
- position centre 0,
- hauteur centre 0,
- rayon du cercle 6,10 m,
- section intérieure avec tolérance réalisation 59,41 m².

8.4 CONCLUSIONS GÉNÉRALES

Des quelques exemples développés ci-avant, il ressort qu'une étude sérieuse doit être effectuée sur le dimensionnement d'un profil en travers de tunnel creusé.

Dans le cas réel, il conviendra également de prendre en considération les surfaces nécessaires à la mise en œuvre du béton de voûte ainsi que la section sous chaussée ; des économies substantielles peuvent être réalisées, ou inversement on peut arriver à obtenir, à surface égale, une meilleure distribution au niveau de la chaussée.

Outre les aspects purement géométriques, il convient également de prendre en considération les problèmes liés à la nature des terrains et à la stabilité générale de l'ouvrage.

CHAPITRE 9

LEXIQUE FRANÇAIS - ANGLAIS

Français	Anglais
On trouvera ci-après, le lexique Français-Anglais des principaux termes utilisés dans le document et concernant tant la géométrie que le trafic.	<i>The French-English lexikon of major terms used in the document and concerning both geometry and traffic is given hereunder.</i>
Autoroute	<i>Motorway</i>
Bande d'arrêt d'urgence (BAU) de droite ou de gauche	<i>Right or left emergency lane</i>
Bande dérasée (BD) de droite ou de gauche	<i>Right or left shoulder</i>
Bute-roues	<i>Curb</i>
Capacité	<i>Capacity</i>
Chaussée	<i>Traffic lanes</i>
Débit	<i>Flow</i>
Débit de dimensionnement géométrique	<i>Geometric design flow</i>
Déclivité	<i>Gradient</i>
Dévers	<i>Super elevation</i>
Distance d'arrêt	<i>Stopping distance</i>
Distance de visibilité	<i>Viewing or visibility distance</i>
Gabarit	<i>Clearance</i>
Galerie de retournement	<i>Turning layby</i>
Garage	<i>Layby</i>
Hauteur libre	<i>Headroom</i>
Hauteur libre minimale	<i>Minimal headroom</i>
Isolateur (de droite ou de gauche)	<i>Insulator (right or left)</i>
Largeur roulable	<i>Roadway</i>
Marge latérale	<i>Lateral margin or clearance</i>
Moyenne journalière annuelle	<i>Annual daily average</i>
Niche de sécurité	<i>Emergency recess</i>
Niveau de service	<i>Service level</i>
Ouvrage en projet	<i>Structure under project</i>
Ouvrage réalisé	<i>Achieved structure</i>
Passage de secours	<i>Emergency passageway</i>
Profil en long	<i>Longitudinal profile</i>
Profil en travers	<i>Cross section</i>

Français	Anglais
Revanche de construction et d'entretien	<i>Construction and maintenance margin</i>
Revanche de protection	<i>Protection margin</i>
Revanche de signalisation	<i>Signalling margin</i>
Route de montagne	<i>Mountain road</i>
Route de rase campagne	<i>Rural road</i>
Route nationale	<i>National road</i>
Route urbaine	<i>Urban road</i>
Route interurbaine	<i>Intercity road</i>
Surlargeur	<i>Overwidth</i>
Tracé en plan	<i>Layout</i>
Trafic de pointe	<i>Peak traffic flow</i>
Trottoir	<i>Footway</i>
Tube	<i>Tube</i>
Tunnel bidirectionnel	<i>Two-way tunnel</i>
Tunnel cadre	<i>Tunnel of rectangular cross-section</i>
Tunnel unidirectionnel	<i>One-way tunnel</i>
Tunnel voûté	<i>Vaulted tunnel</i>
Vitesse de référence	<i>Design speed</i>
Voie élémentaire de circulation ou de chaussée	<i>Lane</i>
Voie pour véhicules lents	<i>Slow vehicle lane</i>
Voie rapide urbaine	<i>Urban motorway</i>
Voie supplémentaire en rampe	<i>Additional upgrade lane</i>

Conditions de circulation au droit d'un véhicule arrêté en fonction de la largeur roulable
(bidirectionnel ou unidirectionnel)

Largeur roulable	PL arrêté	VL arrêté	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
9,85					
9,60					
9,35					
9,15					
9,10					
9,05					
8,90					
8,85					
8,80					
8,65					
8,55					

Largeur roulable	PL arrêté	VL arrêté	VEHICULES EN MOUVEMENT		
			Vitesse normale	Vitesse prudente	au pas
8,40					
8,35					
8,25					
8,15					
8,10					
7,95					
7,85					
7,70					
7,55					
7,45					
7,15					
6,75					



CENTRE D'ÉTUDES DES TUNNELS

106 AVENUE SALVADOR ALLIENDS - CASE N° 1 - 92074 BOULVAZ COLOMBE
TEL. : 01 47 61 48 00 TELEX CETELVU 87008 P TELECOPIE 73 27 61 11
FRANCE