

Remplace, conjointement avec les normes SIA 197 et SIA 197/1,
les chapitres 1 et 2 de la norme SIA 198, édition 1993

Projektierung Tunnel – Strassentunnel

Progettazione di gallerie – gallerie stradali

Design of tunnels – road tunnels

Projets de tunnels Tunnels routiers

2
197
T

La SIA n'est pas responsable pour les dommages qui pourraient être causés par l'utilisation de la présente publication.

2004-07 1^{re} édition

TABLE DES MATIÈRES

Page	Page		
Avant-propos	4	9 Équipement d'exploitation et de sécurité	24
0 Champ d'application	5	9.1 Généralités	24
0.1 Délimitation	5	9.2 Centrales de commande	24
0.2 Références (normatives)	5	9.3 Éclairage	25
0.3 Conditions contractuelles générales ...	6	9.4 Ventilation	26
0.4 Dérogations à la norme	6	9.5 Gestion du trafic (signalisation et marquage)	27
1 Terminologie	7	9.6 Contrôle et communication	28
2 Principes	7	9.7 Installations d'extinction d'incendies ..	29
3 Massif	7	9.8 Alimentation en énergie	30
4 Sécurité	8	9.9 Installations annexes	31
4.1 Principes	8		
4.2 Menaces	8		
4.3 Prise en considération dans l'élaboration du projet	8		
4.4 Planification de la sécurité	8		
5 Environnement	9		
6 Exploitation	9		
7 Élaboration de projet de la structure porteuse	10		
7.1 Principes	10		
7.2 Analyse structurale	10		
7.3 Dimensionnement	10		
7.4 Actions exceptionnelles et corrosion ..	10		
7.5 Éléments de construction particuliers ..	11		
7.6 Contrôles d'exécution et surveillance ..	11		
8 Construction	12		
8.1 Généralités	12		
8.2 Tracé	12		
8.3 Section du tunnel	13		
8.4 Soutènement et revêtement	15		
8.5 Voie de circulation, banquettes et conduites de câbles	15		
8.6 Étanchéité	16		
8.7 Drainage	16		
8.8 Éléments complémentaires pour la sécurité	17		
8.9 Portails	21		
8.10 Ouvrages annexes	22		
Annexes			
A Durée d'utilisation	33		
B Charge d'incendie	35		
C Exemples de profils normaux	39		
D Exemple de schéma de fonctionnement pour un tunnel à double tube	45		
Adoption et entrée en vigueur			
48			

AVANT-PROPOS

L'ancienne norme SIA 198 *Travaux souterrains* (1993) comprenait principalement des dispositions d'exécution. Les questions de projet n'y étaient traitées que brièvement.

Les présentes normes:

- Norme SIA 197 *Projets de tunnels – Bases générales*
- Norme SIA 197/1 *Projets de tunnels – Tunnels ferroviaires*
- Norme SIA 197/2 *Projets de tunnels – Tunnels routiers*

comblent cette lacune. Elles s'adressent aux responsables des études, mais les maîtres d'ouvrage (propriétaires et exploitants) ainsi que les responsables de la direction des travaux et de l'exécution sont également concernés.

La norme SIA 197 fournit les bases de l'étude de tunnels de circulation, quelle que soit leur utilisation (ferroviaire ou routière). Les divers aspects de la sécurité et de la protection de l'environnement font partie de ces bases. Elle contient également les dispositions régissant l'étude des structures porteuses exécutées en souterrain, en s'appuyant sur les normes de structures de la SIA. Les normes spécialisées SIA 197/1 et SIA 197/2 traitent des points particuliers à prendre en considération pour les tunnels ferroviaires ou routiers.

Dans le but de faciliter leur utilisation, les trois normes présentent une structure identique jusqu'au troisième niveau de titres. De ce fait, certains titres ne sont pas suivis d'un texte proprement dit, mais seulement d'un renvoi à l'une ou aux deux autres normes.

Les dispositions d'exécution pour les constructions souterraines sont contenues dans la norme SIA 198 *Constructions souterraines – Exécution*.

Commission SIA 197

0 CHAMP D'APPLICATION

0.1 Délimitation

- 0.1.1 La norme SIA 197/2 *Projets de tunnels – Tunnels routiers* définit les bases d'étude spécifiques des projets de tunnels routiers, y compris de ceux de leurs ouvrages annexes, en complément aux dispositions de la norme SIA 197.
- 0.1.2 La norme SIA 197 *Projets de tunnels – Bases générales* définit les règles pour l'élaboration des projets de tunnels de circulation. Les aspects d'utilisation, d'exploitation et de conservation ne sont traités que dans la mesure de leur importance pour les études.
- 0.1.3 En ce qui concerne la conception générale des tunnels, les normes SIA 197 et SIA 197/2 sont valables aussi bien pour les tunnels exécutés en souterrain que pour ceux exécutés à ciel ouvert.
- 0.1.4 La norme SIA 198 *Constructions souterraines – Exécution* contient les spécifications relatives aux matériaux de construction et les principales prescriptions régissant l'exécution des travaux (gros œuvre des ouvrages souterrains).
- 0.1.5 Les normes SIA 197, SIA 197/2 et SIA 198 peuvent être appliquées par analogie à la transformation de tunnels existants.

0.2 Références (normatives)

0.2.1 Dispositions techniques

Voir la norme SIA 197.

En outre la présente norme renvoie aux normes, recommandations et directives énumérées ci-après, dont les dispositions s'appliquent en tout ou en partie selon l'énoncé du renvoi.

SN 640 080	Projets, généralités; la vitesse, base de l'étude des projets
SN 640 090	Projets, bases; distances de visibilité
SN 640 100	Tracé; éléments géométriques du tracé en plan
SN 640 105	Surlargeur en courbe
SN 640 110	Tracé; éléments du profil en long
SN 640 120	Tracé; pentes transversales en alignement et dans les virages, variation du dévers
SN 640 200	Profil géométrique type; principes généraux, définitions et éléments
SN 640 201	Profil géométrique type; dimensions de base et gabarit des usagers de la route
SN 640 324	Dimensionnement; superstructure des routes
SN 150 915	Öffentliche Beleuchtung: Strassentunnel, -galerien und -unterführungen (n'existe pas en français)

0.2.2 Renvois à des prescriptions légales

Voir la norme SIA 197, annexe A.

0.2.3 Directives de l'OFROU

D'autres prescriptions sont susceptibles d'être données dans les directives de l'Office fédéral des routes (OFROU). Elles sont mentionnées aux endroits correspondants du texte de la norme.

- Principes et recommandations pour la transformation de systèmes de canalisations de câbles
- Ventilation des tunnels routiers
- Signalisation des dispositifs de sécurité dans les tunnels
- Détection incendie dans les tunnels
- Système radio dans les tunnels
- Surveillance vidéo du trafic

0.3 Conditions contractuelles générales

Voir la norme SIA 197.

0.4 Dérogations à la norme

Voir la norme SIA 197.

1 TERMINOLOGIE

- 1.1 La présente norme utilise la terminologie définie dans la norme SIA 197.
- 1.2 Les termes techniques non définis dans la norme SIA 197 font l'objet d'une explication placée à proximité immédiate de leur apparition dans le texte de la présente norme.

2 PRINCIPES

Voir la norme SIA 197.

3 MASSIF

Voir la norme SIA 197.

4 SÉCURITÉ

4.1 Principes

Voir la norme SIA 197.

4.2 Menaces

Voir la norme SIA 197.

4.3 Prise en considération dans l'élaboration du projet

Voir la norme SIA 197.

4.4 Planification de la sécurité

4.4.1 Généralités

4.4.1.1 La sécurité dans les tunnels routiers dépend des groupes de facteurs suivants:

- usagers de la route,
- exploitation (fonctionnement et entretien des équipements d'exploitation et de sécurité, intervention en cas de sinistre),
- infrastructure (construction, équipements d'exploitation et de sécurité),
- véhicules (genre, état de fonctionnement et chargement).

4.4.1.2 La présente norme ne traite que du projet de l'infrastructure et donne quelques indications au sujet de l'utilisation et de l'exploitation.

Elle donne, pour la construction et pour les équipements d'exploitation et de sécurité, des prescriptions destinées à limiter autant que possible les conséquences de sinistres.

4.4.1.3 Seule une infrastructure adéquate et en parfait état de service est en mesure d'éviter des sinistres (panne, collision, incendie) ou d'en limiter les conséquences. En cas de sinistres, il est également important que les usagers (voyageurs) se comportent de façon correcte et que les services de secours (police, pompiers, médecin et ambulance, équipe d'entretien) soient prêts à intervenir rapidement.

4.4.1.4 Des dispositions de construction, d'exploitation et d'organisation seront prises de manière à permettre une intervention rapide sur les lieux du sinistre, d'abord par les usagers eux-mêmes, puis par les services de secours.

4.4.2 Manière de procéder, analyses de la sécurité et mesures à prendre

Voir la norme SIA 197, chiffres 4.4.2 à 4.4.6.

5 ENVIRONNEMENT

Voir la norme SIA 197.

6 EXPLOITATION

Voir la norme SIA 197 et l'annexe A.

7 ÉLABORATION DE PROJET DE LA STRUCTURE PORTEUSE

7.1 Principes

Voir la norme SIA 197.

7.2 Analyse structurale

Voir la norme SIA 197.

7.3 Dimensionnement

Voir la norme SIA 197.

7.4 Actions exceptionnelles et corrosion

7.4.1 Incendie

7.4.1.1 Les éléments principaux de la structure porteuse seront dimensionnés pour une charge d'incendie déterminée.

Des informations sur la manière de procéder au dimensionnement sont données au chiffre 15 de la norme SIA 261 et au chiffre 4.3.10 de la norme SIA 262.

7.4.1.2 La charge d'incendie est caractérisée par une courbe température–temps. L'annexe B contient des indications et des explications à ce sujet.

7.4.1.3 Les éléments de construction et les fixations faisant partie de l'équipement du tunnel seront conçus de manière à éviter une défaillance dans la phase initiale d'un incendie. Cette phase est définie par une température de 450 °C durant une demi-heure (charge limite pour des personnes en tenue de protection, voir annexe B, chiffre B.3).

7.4.2 Explosion

7.4.2.1 Le tunnel est attribué à la catégorie 1 selon le chiffre 17 de la norme SIA 261. L'attribution à une catégorie supérieure sera définie dans la convention d'utilisation.

7.4.2.2 La dalle intermédiaire est attribuée à la catégorie 2.

7.4.2.3 L'évolution de la charge due aux effets d'une explosion de vapeurs d'essence sera admise comme suit:
– augmentation subite ($t = 0$) de la pression dans le tunnel de 0 à 100 kN/m²,
– diminution linéaire de la pression de 100 kN/m² à 0 kN/m² en l'espace d'une milliseconde.

7.4.2.4 Les vérifications éventuellement nécessaires font partie de la planification de la sécurité. Les résultats constituent une base pour la planification de la sécurité et feront l'objet d'une description dans le rapport de sécurité.

7.4.3 Séismes

Voir la norme SIA 197.

7.4.4 Corrosion

Voir la norme SIA 197.

7.5 Éléments de construction particuliers

7.5.1 Voussoirs

Voir la norme SIA 197.

7.5.2 Soutènement et revêtement en béton non armé

Voir la norme SIA 197.

7.5.3 Fixations

Voir la norme SIA 197.

7.5.4 Dalle intermédiaire

7.5.4.1 La dalle intermédiaire sera dimensionnée pour les actions suivantes:

- poids propre et surcharges (p.ex. les éléments de ventilation),
- charges utiles (personnes, marchandises),
- surpressions et dépressions dues à la ventilation,
- actions exceptionnelles (incendie, explosion).

7.5.4.2 Une charge verticale de $2,0 \text{ kN/m}^2$ dirigée vers le bas et placée défavorablement sera prise en considération comme charge utile.

7.5.4.3 On tiendra compte des éventuelles contraintes induites par les déformations du revêtement (massif).

7.5.5 Aménagement intérieur et installations annexes

7.5.5.1 D'autres éléments de construction seront définis de façon spécifique et décrits dans la base du projet.

7.5.5.2 Le tunnel peut comprendre:

- une dalle de chaussée sur appuis,
- une galerie technique pour câbles et conduites,
- des caniveaux à fentes,
- des ouvrages particuliers d'évacuation des eaux,
- un revêtement des parois.

7.5.5.3 Les installations annexes peuvent comprendre:

- des structures porteuses courantes de bâtiments,
- des routes et des places.

7.6 Contrôles d'exécution et surveillance

Voir la norme SIA 197.

8 CONSTRUCTION

8.1 Généralités

Voir la norme SIA 197.

8.2 Tracé

8.2.1 Tracé en plan

- 8.2.1.1 Le système de ventilation et la disposition des chemins de fuite sont susceptibles d'influencer le choix du tracé.
- 8.2.1.2 Dans les longs tunnels, la zone des portails présentera si possible à la sortie un tracé en courbe pour tenir compte des effets d'éblouissement (voir chiffre 8.9.1.3).
- 8.2.1.3 Dans les longs tunnels, les tronçons rectilignes ne devraient pas dépasser 3 km de longueur.
- 8.2.1.4 Pour des raisons de visibilité, les tunnels de moins de 200 m de longueur seront rectilignes.
- 8.2.1.5 Les normes SN 640 090 et SN 640 100 seront prises en considération.

8.2.2 Profil en long

- 8.2.2.1 Les effets des changements de la pente longitudinale (points hauts, points bas) sur l'évacuation des eaux ou sur la ventilation seront pris en considération. On évitera si possible de créer des cuvettes.
- 8.2.2.2 Pour des raisons de sécurité (accidents fréquents, propagation de fumée), la pente longitudinale maximale ne dépassera pas 5%.
- 8.2.2.3 La norme SN 640 110 sera prise en considération.

8.2.3 Pentes transversales

- 8.2.3.1 La pente transversale sera d'au moins 2,5% et ne dépassera pas 5%. La pente minimale doit être respectée pour garantir l'écoulement rapide de pertes accidentielles de fluides.
- 8.2.3.2 Des changements de la pente transversale sont susceptibles de compliquer la disposition des collecteurs et seront évités dans la mesure du possible.
- 8.2.3.3 Au droit des changements de la pente transversale, la pente longitudinale maximale peut être localement réduite à 0,5%.
- 8.2.3.4 La norme SN 640 120 sera prise en considération à titre de complément.

8.2.4 Ramifications en tunnel

- 8.2.4.1 On entend par ramifications les jonctions ou les bifurcations.
- 8.2.4.2 Les ramifications à l'intérieur d'un tunnel doivent si possible être évitées.
- 8.2.4.3 Une jonction en tunnel presuppose l'adjonction de voies de circulation.
- 8.2.4.4 Une bifurcation en tunnel présentera une voie de décélération suffisamment longue.

8.2.4.5 Dans un tunnel à double tube, les changements de voies seront évités.

8.2.5 **Carrefours à proximité des portails**

8.2.5.1 Les carrefours seront si possible évités à proximité des portails.

8.2.5.2 Si un tel carrefour se révèle nécessaire, on vérifiera que la colonne qui se forme à l'entrée du carrefour ne s'étend pas jusque dans le tunnel.

8.3 **Section du tunnel**

8.3.1 **Généralités**

Voir la norme SIA 197.

8.3.2 **Profil théorique**

8.3.2.1 Le gabarit nécessaire par la dynamique de circulation sera déterminé en fonction de la vitesse de base du projet, du tracé et du genre de trafic, selon les normes SN 640 200, SN 640 201 et SN 640 105.

8.3.2.2 Des bandes de stationnement ne sont généralement pas prévues dans les tunnels. Les exceptions à cette règle seront justifiées dans la base du projet.

8.3.2.3 Sur les axes principaux, les exigences imposées au gabarit d'espace libre par des transports exceptionnels seront prises en considération.

8.3.2.4 Pour les tunnels à rayon de courbure réduit, il sera tenu compte d'une surlargeur pour les véhicules et des distances de visibilité.

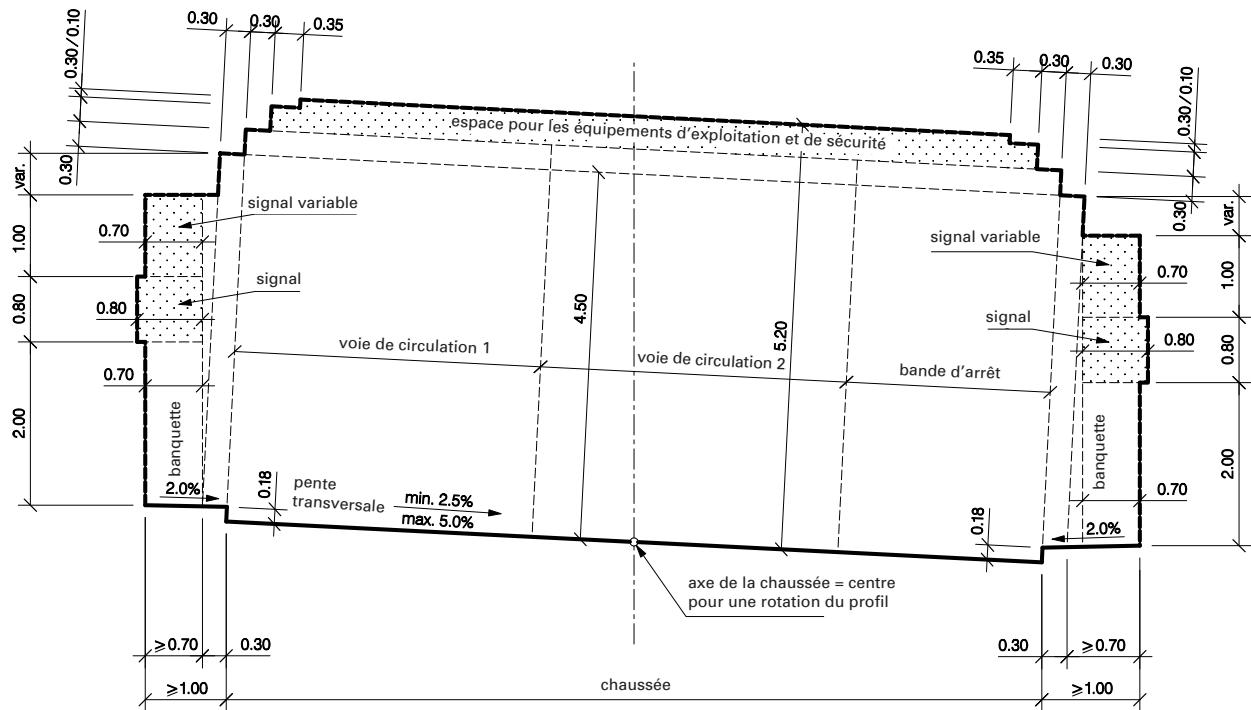
8.3.2.5 Pour les tunnels devant également servir aux piétons, aux vélos et aux vélorouteurs, l'espace nécessaire sera défini et justifié dans la base du projet (voir également le chiffre 8.8.8).

8.3.2.6 L'espace pour les équipements correspond à l'espace nécessaire pour les équipements d'exploitation et de sécurité (y compris les ventilateurs de soufflage), placés à côté ou en dessus du gabarit d'espace libre. Une distance de sécurité de 30 cm sera prévue par rapport au gabarit d'espace libre.

8.3.2.7 Pour autant que ce soit utile, les câbles et conduites seront placés dans une galerie technique accessible placée sous la chaussée. Dans des tunnels construits à ciel ouvert, elle peut être située latéralement.

8.3.2.8 L'espace utile pour le trafic est défini à la figure 1. L'annexe C donne quelques exemples de profils normaux.

Figure 1 Espace utile pour le trafic



Largeur des voies de circulation et des bandes de stationnement selon les normes VSS et les directives de l'OFROU

8.3.3 Écarts par rapport aux dimensions de projet (erreurs d'exécution)

Voir la norme SIA 197.

8.3.4 Dalle intermédiaire

- 8.3.4.1 La hauteur libre du canal de ventilation (mesurée au centre) sera d'au moins 1,8 m.
- 8.3.4.2 La dalle intermédiaire sera étanche (joints) et autoportante (par exemple légèrement bombée). Une attention particulière sera portée à la conception des joints.
- 8.3.4.3 La dalle intermédiaire et ses appuis seront conçus de manière à ce que des déformations éventuelles du revêtement ne causent pas de dégâts.
- 8.3.4.4 Les appuis sollicités à la traction (suspensions, ancrages) seront évités. Des exceptions à cette règle sont admises dans le cas de dalles intermédiaires à grande portée.
- 8.3.4.5 La construction tiendra compte de l'agressivité élevée de l'air vicié (choix de matériaux adéquats, protection contre la corrosion).

8.3.5 Revêtement antibruit dans la zone des portails

- 8.3.5.1 Le revêtement antibruit ne doit pas empiéter sur le gabarit d'espace libre.
 - 8.3.5.2 Le revêtement antibruit sera conçu de manière à satisfaire aux exigences de durabilité (air corrosif, facilité de lavage des parois).
- La construction sera robuste, apte à résister à d'éventuelles collisions latérales de véhicules.

8.4 Soutènement et revêtement

- 8.4.1 Comme les véhicules introduisent des eaux chargées de sel déverglaçant dans le tunnel, on évitera si possible l'emploi de béton armé pour le revêtement.
- 8.4.2 Pour un revêtement double coque, le revêtement intérieur aura une épaisseur d'au moins 30 cm.
- 8.4.3 Le revêtement présentera une surface aussi lisse que possible, afin de faciliter
 - l'application de peintures sur les parois (de teinte claire pour des raisons d'éclairage)
 - le nettoyage des parois.

8.5 Voie de circulation, banquettes et conduites de câbles

8.5.1 Voie de circulation

- 8.5.1.1 Le dimensionnement de la superstructure routière se fera selon la norme SN 640 324.
- 8.5.1.2 La superstructure sera drainée de manière à éviter toute eau stagnante. Le drainage (couche drainante, conduite d'évacuation) sera placé au point bas de la section du profil normal.
- 8.5.1.3 Le projet d'une chaussée sur appuis (dalle de chaussée) sera établi comme celui de la structure portante d'un pont.
- 8.5.1.4 La chaussée ne doit pas comporter de séparations entre les voies de circulation (glissières, etc.).
- 8.5.1.5 Aucun regard ne sera placé dans l'emprise de la chaussée et des bandes de stationnement.

8.5.2 Banquettes

- 8.5.2.1 La largeur de la banquette sera d'au moins 1,0 m. Cette largeur comprend celle de la bordure.
- 8.5.2.2 La hauteur libre en dessus de la banquette sera d'au moins 2,0 m.
- 8.5.2.3 Une surface quadratique de 0,8 m de côté sera réservée pour le placement latéral de signaux (en dessus de la banquette).

8.5.3 Conduites de câbles (galerie technique)

- 8.5.3.1 Afin que les opérations d'entretien et de remplacement puissent se dérouler sans perturbation importante du trafic, il est opportun de placer les conduites d'alimentation et d'évacuation ainsi que les câbles des installations de communication et de sécurité dans une galerie technique indépendante de la zone de trafic.
- 8.5.3.2 La disposition de la galerie technique sera adaptée aux exigences d'exploitation. La galerie technique sera accessible. La hauteur libre sera d'au moins 2,0 m en dehors des zones de traversées de conduites et câbles. La largeur libre restante sera d'au moins 1,0 m.
- 8.5.3.3 Dans un tunnel à simple tube, les accès à la galerie technique seront placés dans l'emprise des élargissements d'arrêt. Dans un tunnel à double tube, ils seront placés dans l'emprise des liaisons transversales carrossables.
- 8.5.3.4 Il faut si possible prévoir un accès dans la zone des portails qui soit indépendant de l'espace de circulation (tunnel).
- 8.5.3.5 La galerie technique peut servir de canal d'aspiration d'air pour la ventilation des liaisons transversales et des centrales souterraines.

8.5.3.6 Les «Principes et recommandations pour la transformation de systèmes de canalisations de câbles» de l'OFROU seront pris en considération.

8.5.4 **Protection contre les ébranlements et le bruit solidien**

8.5.4.1 Sur la base des expériences existantes, il n'est généralement pas nécessaire de prendre des mesures particulières pour éviter des impacts inadmissibles du trafic routier sur les ouvrages voisins.

8.5.4.2 Le cas échéant, des mesures particulières seront prises dans les cas suivants:

- bâtiments situés en dessus ou à proximité immédiate de tronçons de tunnels exécutés à ciel ouvert,
- tunnels excavés immédiatement en dessous ou à côté de bâtiments existants,
- dalles de chaussée sur appuis (joints de raccord).

8.6 **Étanchéité**

Voir la norme SIA 197.

8.7 **Drainage**

8.7.1 **Généralités**

Les eaux du massif (eau propre) et les eaux d'exploitation (eau polluée) seront généralement évacuées séparément.

8.7.2 **Concrétions**

Voir la norme SIA 197.

8.7.3 **Captage de l'eau**

Voir la norme SIA 197.

8.7.4 **Évacuation de l'eau**

8.7.4.1 La distance entre les regards ou les niches de purge ne dépassera pas 75 m.

8.7.4.2 Les ouvertures d'accès aux regards et aux niches auront un diamètre d'au moins 600 mm. Les ouvertures de purge auront une largeur d'au moins 300 mm (largeur des engins de purge, y compris la marge de manœuvre nécessaire).

8.7.4.3 Les conduites d'évacuation susceptibles d'être inspectées par le personnel auront un diamètre intérieur d'au moins 600 mm.

8.7.4.4 Les éventuels regards seront placés en dehors de la chaussée.

8.7.5 **Évacuation de l'eau devant le portail**

Voir la norme SIA 197.

8.7.6 **Évacuation des eaux d'exploitation**

8.7.6.1 Le drainage de la chaussée sera assuré par des rigoles à couverture perforée capables d'évacuer rapidement en dehors de l'espace de circulation les fluides inflammables, explosifs ou toxiques.

- 8.7.6.2 Les fluides seront évacués dans un système fermé. Les exigences suivantes de la protection contre les explosions seront prises en considération, soit:
- des écoulements à siphon évitant le reflux de gaz explosifs dans l'espace de circulation,
 - un remplissage permanent des regards à siphon,
 - des couvercles de regards étanches et verrouillés, afin de réduire les risques dus aux déflagrations dans le système d'évacuation (projection de couvercles).
- 8.7.6.3 Les rigoles seront raccordées tous les 50 m à la conduite collectrice par l'intermédiaire de regards à siphon. La capacité d'absorption de ces derniers sera d'au moins 100 l/s.
- 8.7.6.4 Les conduites collectrices seront constituées de tubes sans perforation et avec des joints étanches.
- 8.7.6.5 La conduite collectrice sera dimensionnée pour un écoulement libre de 100 l/s. Elle doit être en mesure d'absorber momentanément une pointe de 200 l/s en se mettant en pression.
- 8.7.6.6 Le débit d'eau de lavage sera de 10 l/s, celui d'eau d'extinction d'incendies de 20 l/s.

8.8 Éléments complémentaires pour la sécurité

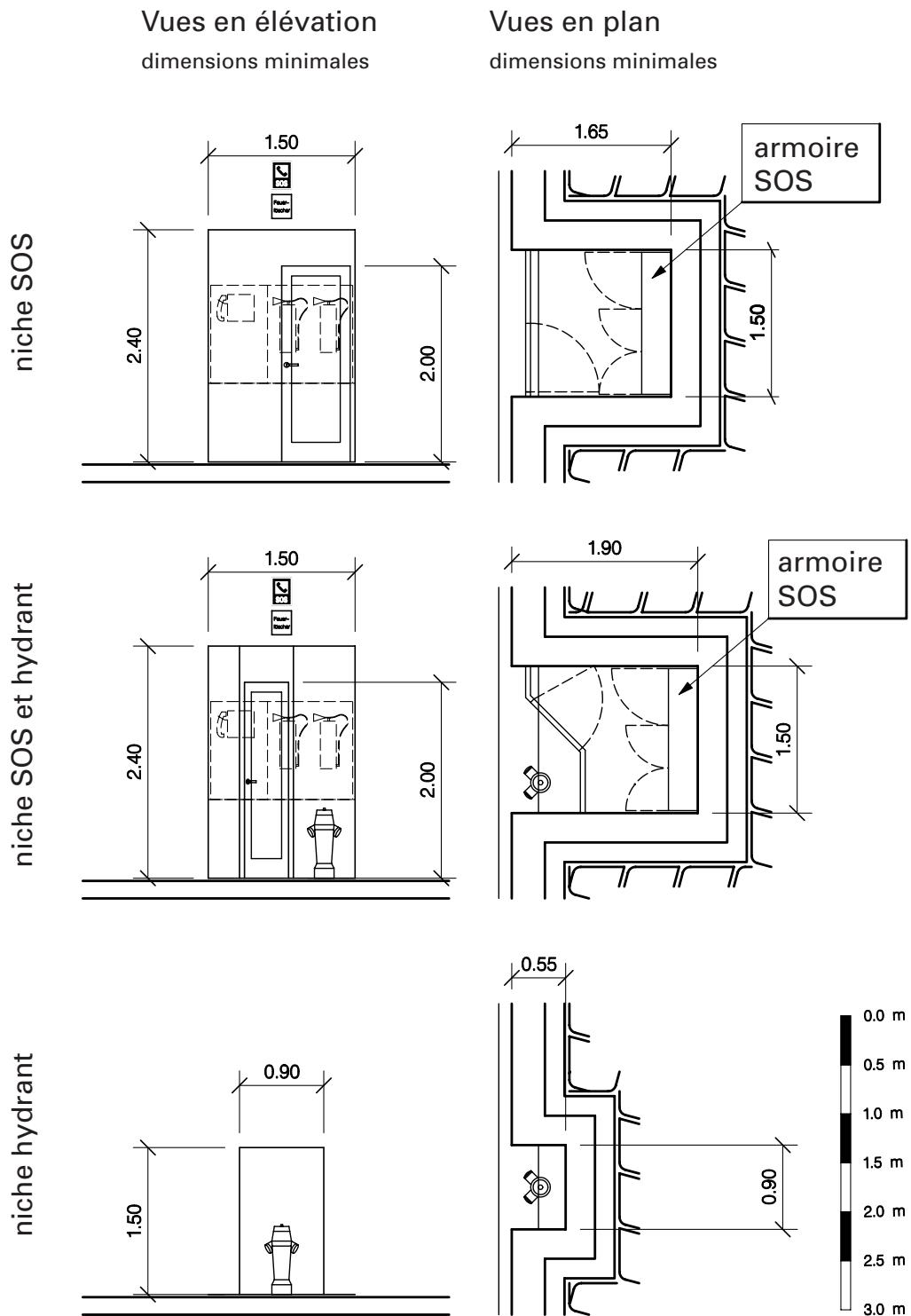
8.8.1 Généralités

- 8.8.1.1 Les éléments aptes à garantir la sécurité des utilisateurs peuvent comprendre:
- des niches,
 - des élargissements d'arrêt,
 - des chemins de fuite menant en dehors de l'espace de circulation comme
 - des liaisons transversales vers le tunnel voisin, accessibles à pied ou carrossables,
 - des liaisons vers l'extérieur,
 - des liaisons transversales vers une galerie ou un canal parallèle.
- 8.8.1.2 Les mesures à prendre ne sont pas les mêmes pour un tunnel à simple tube que pour un tunnel à double tube (voir chiffres 8.8.2 et 8.8.3).
- 8.8.1.3 L'espacement longitudinal des éléments de sécurité sera basé sur une trame de 150 m.
- 8.8.1.4 Des éléments de sécurité seront prévus dans les tunnels d'une longueur supérieure à 300 m. Les dérogations (par exemple en cas de trafic peu intense ou de succession rapide de plusieurs tunnels courts) feront l'objet d'une justification.

8.8.2 Tunnel à simple tube: niches, élargissements d'arrêt, chemins de fuite

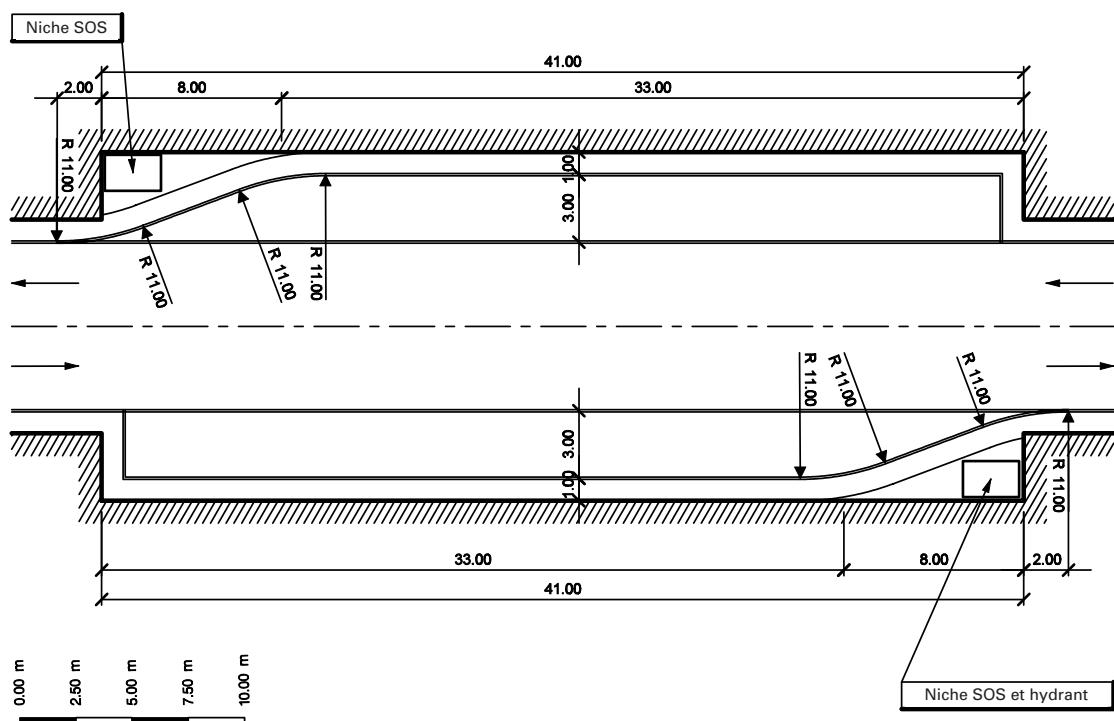
8.8.2.1 Les niches avec équipement SOS seront placées tous les 150 m, alternativement de chaque côté du tunnel. Les hydrants seront placés tous les 150 m généralement sur un seul côté. Les dimensions minimales à respecter pour les différents genres de niches possibles sont données à la figure 2.

Figure 2 Niches



- 8.8.2.2 Des élargissements d'arrêt seront prévus tous les 600 à 900 m sur les deux côtés, un en face de l'autre (figure 3). Ils pourront être déplacés en cas de conditions de terrain difficiles.

Figure 3 Élargissements d'arrêt

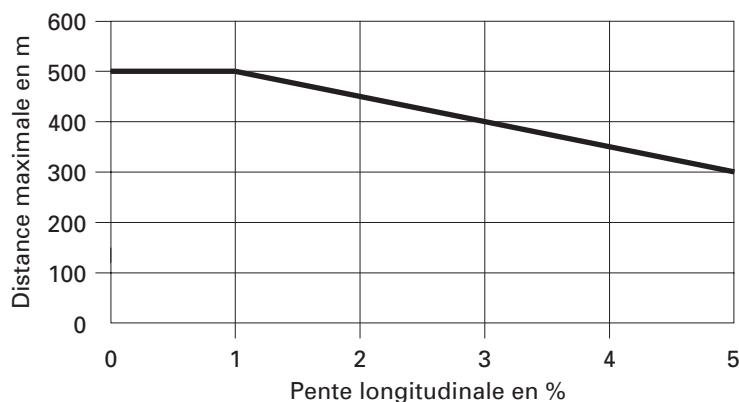


- 8.8.2.3 Les chemins de fuite menant en dehors de l'espace de circulation seront prévus unilatéralement à distances régulières. En cas de sinistre, les chemins de fuite, en combinaison avec d'autres dispositifs de sécurité, doivent permettre aux usagers du tunnel de s'éloigner en temps utile de la zone de danger.

Dans les tunnels construits à ciel ouvert, la distance maximale entre les chemins de fuite est de 300 m.

Dans les tunnels construits en souterrain, la distance maximale entre les chemins de fuite dépend de la pente longitudinale du tunnel. Elle peut être déterminée selon la figure 4.

Figure 4 Distance maximale entre les chemins de fuite



La pente longitudinale déterminante est donnée par la valeur la plus élevée de la pente moyenne sur un tronçon de tunnel de 800 m.

Les tunnels ayant une pente supérieure à 5% exigent des études particulières.

- 8.8.2.4 Les chemins de fuite suivants ne sont pas admissibles:
- chemins de fuite qui aboutissent à des espaces sans issue vers l'extérieur,
 - chemins de fuite qui aboutissent à un espace situé en dessus de la chaussée (par exemple un espace séparé par une dalle intermédiaire).
- 8.8.2.5 Suivant les possibilités, les chemins de fuite mènent:
- directement à l'air libre dans le cas de tunnels à faible recouvrement (comme des tunnels exécutés à ciel ouvert) ou dans le cas d'une topographie favorable (tunnel proche du flanc de la montagne),
 - à une galerie parallèle (galerie de sécurité) débouchant à l'air libre,
 - à une galerie technique située dans le profil du tunnel en dehors de l'espace de circulation et débouchant à l'air libre (par exemple une galerie technique située sous la chaussée).
- 8.8.2.6 Si la construction d'un deuxième tunnel est prévue à plus ou moins brève échéance, une galerie de sondage parallèle sera construite et pourra servir dans l'intervalle de galerie de sécurité.
- 8.8.2.7 Pour les tunnels bidirectionnels à simple tube, les prescriptions du chiffre 8.8.3 s'appliquent pour les niches et les élargissements d'arrêt.

8.8.3 Tunnel à double tube: niches, élargissements d'arrêt, chemins de fuite

- 8.8.3.1 Les niches avec équipement SOS seront placées tous les 150 m sur le côté droit de la chaussée. Les hydrants seront aussi placés tous les 150 m, en général sur un seul côté à droite de la chaussée. Les dimensions minimales à respecter pour les niches sont données à la figure 2.
- 8.8.3.2 Des élargissements d'arrêt ne seront prévus qu'au droit de centrales non accessibles directement de l'extérieur (voir chiffre 8.10.2.3).
- 8.8.3.3 Les chemins de fuite seront prévus selon des intervalles réguliers ne dépassant pas 300 m, sous forme de liaisons transversales entre les deux tubes accessibles à pied.
- 8.8.3.4 Dans les tunnels de plus de 1,2 km de longueur, un chemin de fuite au moins sera rendu carrossable pour les véhicules des services d'intervention. Dans les tunnels de plus grande longueur, il en sera de même pour un chemin de fuite sur trois (intervalle maximale 900 m).

8.8.4 Liaisons transversales accessibles à pied

- 8.8.4.1 Les liaisons transversales accessibles à pied présenteront un profil théorique d'au moins 2,0 m de largeur et 2,5 m de hauteur.
- 8.8.4.2 Les portes auront au moins 1,0 m de largeur et 2,0 m de hauteur. Elles seront faciles à ouvrir.
On prévoira généralement des portes battantes. Elles seront appliquées à l'arrière de la paroi du tunnel et s'ouvriront vers la liaison transversale.
En cas de portes coulissantes (uniquement dans les cas particuliers où elles se justifient), leur fonctionnement doit sauter aux yeux de l'usager.
- 8.8.4.3 Dans la zone des liaisons transversales, le bord de la chaussée (bordure en pierre, caniveau à couverture perforée) ne doit pas être surbaissé.

8.8.5 Liaisons transversales carrossables

- 8.8.5.1 Les liaisons transversales carrossables présenteront un profil théorique d'au moins 4,2 m de largeur et d'au moins 4,5 m de hauteur.
- 8.8.5.2 Les portes auront au moins 4,0 m de largeur et 4,3 m de hauteur. Elles comprendront une porte de service conforme aux exigences du chiffre 8.8.4.2.

8.8.6 Détails de construction des liaisons transversales

- 8.8.6.1 Les liaisons transversales seront peu inclinées (15% au maximum).
- 8.8.6.2 Si un escalier est nécessaire pour une liaison transversale, on prévoira un palier suffisamment grand (au moins 8 m² de surface) entre la porte et l'escalier. Ce dernier aura une largeur libre d'au moins 1,0 m.
- 8.8.6.3 La liaison transversale sera éclairée et, en cas d'incendie, séparée de part et d'autre de la chaussée par des portes.
- 8.8.6.4 Les dispositifs de fermeture rempliront les conditions données au chiffre 7.4.1. Les portes présenteront une résistance au feu correspondant au minimum aux exigences de la classe de résistance T30.

8.8.7 Galerie parallèle

- 8.8.7.1 Dans certains cas, une galerie parallèle servant d'abord de galerie de sondage ou de galerie pilote pourra être aménagée finalement comme galerie de sécurité.
- 8.8.7.2 La galerie présentera un profil théorique d'au moins 2,0 m de largeur et d'au moins 2,5 m de hauteur.
- 8.8.7.3 Les chemins de fuite seront prévus tous les 300 m comme des liaisons transversales accessibles à pied à partir du tunnel et séparées de la galerie et de l'espace de circulation par des portes.
- 8.8.7.4 La galerie parallèle ne doit pas être prévue pour des véhicules normaux homologués selon la loi fédérale sur la circulation.
- 8.8.7.5 La galerie parallèle doit être éclairée.

8.8.8 Pistes pour piétons et cyclistes

- 8.8.8.1 Dans la mesure du possible, on évitera le trafic de piétons, de vélos et de vélomoteurs dans des tunnels à trafic motorisé.
- 8.8.8.2 Si des piétons et des cyclistes doivent accéder au tunnel, des pistes ou des cheminements séparés seront prévus.
- 8.8.8.3 Les banquettes bilatérales selon le chiffre 8.5.2.1 ne serviront que de chemins de secours.

8.9 Portails

8.9.1 Principes

- 8.9.1.1 Une réduction de la largeur de la chaussée (diminution du nombre de voies de circulation) se fera à l'extérieur du tunnel.
- 8.9.1.2 Les portails seront conçus de manière à garantir la sécurité du trafic du tronçon à ciel ouvert en direction du tunnel ou dans le sens inverse.
- 8.9.1.3 Un éblouissement des conducteurs dû au soleil à la sortie du tunnel sera réduit par un choix judicieux du tracé.

8.9.2 Accessibilité des portails

- 8.9.2.1 Dans la mesure du possible, les portails doivent être également accessibles à partir du réseau routier environnant.
- 8.9.2.2 Pour les tunnels à double tube, une liaison carrossable d'une chaussée à l'autre sera prévue à proximité des portails pour les équipes de secours (traversée de la bande médiane).
- 8.9.2.3 Le plan de déneigement du tronçon de route sera pris en considération dans l'étude de la zone des portails. Le cas échéant (fin d'étapes de déneigement), les engins doivent pouvoir manœuvrer devant le portail.

8.9.3 Dispositions devant les portails

- 8.9.3.1 En cas d'absence de bandes d'arrêt sur le tronçon à ciel ouvert, des emplacements d'arrêt de la dimension des élargissements d'arrêt en tunnel seront prévus dans les deux directions de circulation.
- 8.9.3.2 Une armoire SOS avec un téléphone et deux extincteurs ainsi qu'un hydrant seront placés devant le portail.

8.10 Ouvrages annexes

8.10.1 Généralités

- 8.10.1.1 Les ouvrages annexes suivants peuvent se présenter:
 - des centrales,
 - des galeries et des puits de ventilation, y compris les ouvrages de sorties correspondants,
 - les accès à ces ouvrages.
- 8.10.1.2 Le terme général de centrale est appliqué à tous les locaux ou bâtiments nécessaires à l'exploitation, qu'il s'agisse de centrales de ventilation ou de centrales d'équipements d'exploitation et de sécurité (systèmes électriques et électroniques).

8.10.2 Disposition des centrales

- 8.10.2.1 Les centrales seront si possible placées à proximité des portails.
- 8.10.2.2 Les centrales seront si possible accessibles directement de l'extérieur, indépendamment de la chaussée du tunnel.
- 8.10.2.3 Pour des longs tunnels, il est possible que des centrales doivent être placées dans des cavernes sans accès séparés. Elles seront alors atteintes de la manière suivante:
 - dans un tunnel à simple tube: à partir d'élargissements d'arrêt placés de part et d'autre du tunnel (selon le chiffre 8.8.2.2)
 - dans un tunnel à double tube sans bande d'arrêt: à partir d'un élargissement d'arrêt unilatéral (selon le chiffre 8.8.2.2) et d'une liaison transversale carrossable.

8.10.3 Aménagement des centrales

- 8.10.3.1 L'aménagement des centrales à l'extérieur est soumis à des exigences analogues à celles concernant les portails (norme SIA 197, chiffres 8.9.1 et 8.9.2).
- 8.10.3.2 L'aménagement des centrales satisfera en plus aux exigences suivantes:
 - conditions favorables à l'entretien des équipements d'exploitation et de sécurité,
 - remplacement de composantes lourdes ou encombrantes sans entrave importante du trafic.

- 8.10.3.3 Les exigences physiques des constructions (conséquences des différences de température et d'humidité) seront prises en considération.
- 8.10.3.4 Les prescriptions de protection contre l'incendie seront prises en considération.
- 8.10.3.5 Le plan de protection contre l'incendie doit donner des indications concernant les compartiments coupe-feu, les installations de protection dans la centrale ainsi que les chemins de fuite à partir de la centrale.
- 8.10.3.6 La ventilation sera conçue pour une exploitation optimale, dans les limites du plan de protection contre l'incendie. Les locaux ne seront si possible pas entièrement séparés, afin de mieux pouvoir régler le climat ambiant (humidité, température).
- 8.10.3.7 Lorsqu'il existe une liaison avec le tunnel, les centrales seront ventilées en surpression, afin de limiter la pénétration de poussières et d'air corrosif en provenance de l'espace de circulation.

8.10.4 Canaux d'amenée d'air frais et d'évacuation d'air vicié

- 8.10.4.1 Les canaux de ventilation doivent être accessibles.
- 8.10.4.2 La distance entre les ouvrages d'amenée d'air frais et d'évacuation d'air vicié sera suffisante pour éviter que de l'air vicié soit à nouveau aspiré dans le tunnel.
- 8.10.4.3 L'implantation des galeries et des puits de ventilation sera choisie en fonction des conditions météorologiques, topographiques et géologiques.

9 ÉQUIPEMENTS D'EXPLOITATION ET DE SÉCURITÉ

9.1 Généralités

- 9.1.1 Les équipements d'exploitation et de sécurité seront déterminés en fonction de l'ouvrage. Ils seront décrits dans le manuel d'exploitation.
- 9.1.2 Sous réserve de dispositions différentes, les installations ci-après seront prévues dans les tunnels d'une longueur supérieure à 300 m. Des dérogations (par exemple en cas de trafic peu intense ou d'une succession rapide de plusieurs tunnels courts) sont admises. Elles seront mentionnées dans la base du projet et feront l'objet d'une justification.
- 9.1.3 Les équipements d'exploitation et de sécurité comprennent:
- les dispositifs de surveillance et de commande,
 - l'éclairage,
 - la ventilation,
 - les dispositifs de gestion du trafic (signalisation et marquage),
 - les dispositifs de contrôle et de communication,
 - les dispositifs d'extinction d'incendies.
- 9.1.4 L'exploitation des systèmes susmentionnés nécessite:
- une alimentation en énergie,
 - des installations annexes.
- 9.1.5 La surveillance et la commande de l'ensemble des équipements d'exploitation et de sécurité exigent:
- un système de commande d'ensemble,
 - un système de gestion du trafic,
 - des centrales téléphoniques et d'appels de secours,
 - des systèmes de mobilisation des équipes de secours,
 - des centrales ou des postes de commande.
- 9.1.6 Ces systèmes doivent pouvoir fonctionner indépendamment les uns des autres. Ils ne dépendront pas uniquement d'un dispositif de commande centralisé, afin d'éviter qu'une défaillance de ce dernier entraîne une panne simultanée de plusieurs systèmes.
- 9.1.7 L'interfonctionnement des systèmes d'exploitation et de sécurité sera représenté dans un schéma de fonctionnement. Ce dernier montrera les actions qui sont automatiquement déclenchées dans les divers systèmes d'exploitation par une alarme en provenance d'un système de surveillance.
Un exemple de schéma de fonctionnement est donné à l'annexe D.
- 9.1.8 La surveillance systématique et l'entretien des équipements sont des conditions sine qua non pour la fiabilité de l'utilisation et de l'exploitation d'un tunnel.

9.2 Centrales de commande

- 9.2.1 Il est d'usage de prévoir deux centrales de commande:
- une centrale de commande du trafic (centrale d'engagement) qui sert à surveiller et à diriger le trafic ainsi qu'à déclencher l'engagement des équipes de secours,
 - une centrale de commande de l'exploitation (centrale de maintenance) qui sert à surveiller les systèmes techniques et à assurer leur fonctionnement.
- 9.2.2 Le rôle des centrales de commande et des installations correspondantes sera défini dès la phase initiale des études.

9.3 Éclairage

9.3.1 Éclairage de l'espace de circulation

- 9.3.1.1 On distingue les genres d'éclairage suivants:
- éclairage de traversée,
 - éclairage d'adaptation (éclairages d'entrée et sortie),
 - éclairage de secours.
- 9.3.1.2 L'éclairage de traversée assure un éclairage uniforme de l'espace de circulation et une visibilité suffisante.
- 9.3.1.3 L'éclairage d'adaptation atténue la brusque transition entre la lumière extérieure et l'éclairage dans le tunnel et inversement. Il sera tel qu'il soit possible de repérer un obstacle sur la chaussée.
- 9.3.1.4 Le dimensionnement de l'éclairage est traité en détail dans la norme SN 150 915.
- 9.3.1.5 L'éclairage de secours assure un éclairage minimal de l'espace de circulation en cas de coupure de l'alimentation principale. Il est constitué d'une partie de l'éclairage de traversée, branchée séparément au réseau d'alimentation de secours disponible en permanence. Il est d'usage qu'un luminaire sur quatre soit attribué à l'éclairage de secours.

9.3.2 Éclairage de secours en cas d'incendie

- 9.3.2.1 L'éclairage de secours en cas d'incendie doit permettre de s'orienter après qu'un incendie s'est déclaré. Cet éclairage sera branché sur le réseau d'alimentation de secours disponible en permanence.
- 9.3.2.2 Les luminaires de l'éclairage de secours en cas d'incendie seront disposés tous les 50 m du côté des issues.
- 9.3.2.3 En cas d'absence d'issues menant aux chemins de fuite ou si de telles issues se trouvent exceptionnellement sur les deux côtés, les luminaires de l'éclairage de secours en cas d'incendie seront également disposés de part et d'autre du tunnel.
- 9.3.2.4 Les luminaires seront installés à une hauteur de 0,5 m en dessus de la banquette.

9.3.3 Commande de l'éclairage

- 9.3.3.1 L'éclairage d'adaptation sera réglé en fonction d'une mesure de l'intensité lumineuse devant le portail.
- 9.3.3.2 L'éclairage de traversée sera réglé en fonction de l'heure (jour, nuit). Il est souhaitable qu'il dépende également de l'intensité du trafic.
- 9.3.3.3 Si un incendie se déclare, l'éclairage de traversée sera amené à son maximum et l'éclairage de secours en cas d'incendie sera activé.

9.3.4 Luminaires et câblage

- 9.3.4.1 L'éclairage comprend:
- les luminaires avec socles et alimentation,
 - les suspensions et fixations,
 - les canaux de câbles.
- 9.3.4.2 Les luminaires auront un boîtier inoxydable de classe IP 65.
- 9.3.4.3 Les suspensions, fixations et canaux de câbles seront constitués de matériaux résistant à la corrosion.

- 9.3.4.4 Les boîtiers de luminaires et les canaux de câbles seront constitués de matériaux ininflammables ou difficilement inflammables (indice d'incendie I-I 5.3).
- 9.3.4.5 Les câbles ne présenteront pas d'éléments halogènes.

9.4 Ventilation

9.4.1 But de la ventilation

- 9.4.1.1 La ventilation est un élément important de la sécurité, aussi bien en exploitation normale qu'en cas de sinistre.
- 9.4.1.2 En exploitation normale, la ventilation a pour but d'assurer une qualité suffisante de l'air dans l'espace de circulation et de remplir d'éventuelles conditions liées à la protection de l'environnement.
- 9.4.1.3 Les paramètres permettant de juger de la qualité de l'air sont les suivants:
 - teneur en CO,
 - baisse de la visibilité,
 - teneur en oxydes d'azote (NO_x),
 - teneur en particules fines (PM10).
- 9.4.1.4 Une baisse de la visibilité est due
 - au trafic (gaz d'échappement, usure des pneumatiques et des garnitures de freins),
 - à la formation accidentelle de brouillard dans le tunnel ou dans les zones des portails (due à des niveaux d'humidité et de température critiques).
- 9.4.1.5 En cas d'incendie, la ventilation doit être en mesure de réduire la propagation de la fumée ou de l'influencer selon des scénarios d'incendie établis d'avance.

9.4.2 Système de ventilation

- 9.4.2.1 La ventilation des tunnels peut se faire par:
 - ventilation naturelle,
 - un système de ventilation sans aspiration en cas de sinistre,
 - un système de ventilation avec aspiration en cas de sinistre.
 - 9.4.2.2 Le choix du système de ventilation dépend:
 - de la longueur du tunnel,
 - du profil en long,
 - de l'intensité et de la nature du trafic,
 - du risque d'embouteillages.
 - 9.4.2.3 Le concept de ventilation influence de façon déterminante le projet de construction du tunnel, par exemple en ce qui concerne:
 - les dimensions du profil type,
 - le nombre, la situation et les dimensions des centrales de ventilation,
 - le nombre, le diamètre et la longueur des puits et des galeries de ventilation.
- La planification (concept de ventilation et construction du tunnel) doit donc avoir lieu de manière intégrée et en étroite collaboration avec les spécialistes concernés.
- 9.4.2.4 Le choix du système et le dimensionnement de la ventilation sont régis par la directive OFROU «Ventilation des tunnels routiers».

9.4.3 Éléments de la ventilation

- 9.4.3.1 Les éléments ci-après ont une influence déterminante sur le projet de construction du tunnel:
 - ventilateurs avec moteurs et appareils auxiliaires,
 - organes de fermeture (clapets de fermeture),

- clapets de sortie avec mécanisme d'entraînement,
- éléments de réglage, grilles de déviation,
- amortisseurs de bruit,
- canaux, parois de séparation.

Une installation faite après coup est susceptible d'exiger d'importantes modifications de la construction.

9.4.3.2 Les éléments ci-après ont de l'importance pour l'exploitation, mais n'influencent que marginalement la construction:

- installations de commande et de réglage,
- dispositifs de surveillance (appareils de mesure).

9.5 Gestion du trafic (signalisation et marquage)

9.5.1 Signalisation

9.5.1.1 Les signaux suivants sont susceptibles d'être installés dans un tunnel:

- signaux fixes (signaux de prescription, signaux d'indication),
- signaux variables,
- signaux lumineux (feux de signalisation, marquages de voies),
- indicateurs de direction,
- panneaux d'information,
- panneaux à messages variables.

9.5.1.2 La signalisation comprend les signaux proprement dits, les éléments de fixation nécessaires et les câblages locaux d'alimentation et de commande.

9.5.1.3 Les signaux seront fixés à des éléments porteurs ou suspendus à des traverses. Les exigences d'entretien seront prises en considération.

9.5.1.4 Une réduction du nombre de voies disponibles, par exemple lors de travaux d'entretien, doit avoir lieu à l'extérieur du tunnel. La signalisation sera mise en place en conséquence.

9.5.1.5 La signalisation sera conforme aux prescriptions légales (Ordonnance sur signalisation routière OSR).

9.5.2 Marquage

9.5.2.1 Dans les tunnels bidirectionnels, les voies de circulation de la direction inverse seront séparées par une double ligne de sécurité.

9.5.2.2 Dans les tunnels unidirectionnels, les voies de circulation seront séparées par une ligne de direction.

9.5.2.3 La visibilité des bords de la chaussée sera renforcée par des lignes de bordure, aussi bien dans les tunnels bidirectionnels que dans les tunnels unidirectionnels.

9.5.2.4 Le marquage sera conforme aux prescriptions légales (voir la norme SIA 197, annexe A).

9.5.2.5 L'écoulement du trafic sera amélioré par des dispositifs optiques de guidage situés sur les banquettes. Des indications détaillées sont données dans la directive OFROU «Signalisation des dispositifs de sécurité dans les tunnels».

9.5.3 Visualisation des dispositifs de sécurité

9.5.3.1 Les dispositifs les plus importants pour la sécurité des usagers (voyageurs) seront visualisés spécialement.

- 9.5.3.2 La visualisation des dispositifs de sécurité comprend:
- la signalisation des niches SOS (signal OSR 4.81 «Téléphone» avec adjonction «SOS» et signal OSR 4.92 «Extincteur»),
 - les armoires d'alarme SOS (peintes en orange, RAL 2004, et portant l'indication «SOS» ainsi que les pictogrammes «Téléphone» et «Extincteur» selon OSR),
 - le fléchage des chemins de fuite dans l'espace de circulation (pictogramme de direction complété par des indications de distance),
 - les issues de secours (pictogramme, signal AFNOR «Dispositifs de protection»).
- 9.5.3.3 Des indications détaillées sont données dans la directive OFROU «Signalisation des dispositifs de sécurité dans les tunnels».

9.6 Contrôle et communication

9.6.1 Vue d'ensemble des systèmes

Font partie des moyens de contrôle et de communication:

- les installations téléphoniques de secours (armoires d'alarme SOS),
- les installations de détection d'incendie,
- la surveillance vidéo du trafic,
- les liaisons radio et les antennes pour téléphones portables,
- les systèmes de mesure,
- les dispositifs de saisie du trafic,
- les stations météorologiques.

9.6.2 Téléphone de secours

- 9.6.2.1 Le téléphone de secours (téléphone SOS) est placé dans une armoire d'alarme SOS avec deux extincteurs (selon figure 2, chiffre 8.8.2.1).
- 9.6.2.2 Les armoires d'alarme SOS sont placées:
- dans les niches SOS,
 - devant les portails.

9.6.3 Détection d'incendie

- 9.6.3.1 Les tunnels à ventilation artificielle ainsi que les tunnels à grand trafic ayant une proportion importante de transports à risques seront équipés d'une installation automatique de détection d'incendie (par exemple une rangée longitudinale de détecteurs dans l'espace de circulation).
- 9.6.3.2 Des indications détaillées sont données dans la directive OFROU «Détection incendie dans les tunnels».

9.6.4 Surveillance vidéo du trafic

- 9.6.4.1 Les tunnels de plus de 600 m de longueur seront équipés d'une installation de surveillance vidéo du trafic.
- 9.6.4.2 L'installation de surveillance vidéo du trafic remplit les fonctions suivantes:
- appréciation visuelle de la situation momentanée du trafic,
 - détection d'événements particuliers (accidents, embouteillages, automobiliste roulant à contre-sens, etc.),
 - mémorisation de données (prises de vues) sur des événements particuliers.
- 9.6.4.3 Des indications détaillées sont données dans la directive OFROU «Surveillance vidéo du trafic».

9.6.5 Liaisons sans fil (radio et téléphones portables)

9.6.5.1 Les tunnels de plus de 600 m seront équipés d'un réseau radio.

Pour des tunnels courts, on vérifiera que les liaisons radio sont garanties sans installation spéciale. Si ce n'est pas le cas, un réseau radio sera mis en place.

9.6.5.2 Le réseau radio doit garantir des liaisons sans interruption pour les services suivants:

- police de la route,
- sapeurs-pompiers,
- ambulances,
- service d'entretien.

9.6.5.3 Le réseau radio doit en outre permettre de recevoir le programme des émetteurs OUC publics et privés, ainsi que les informations sur le trafic.

9.6.5.4 Le cas échéant, des antennes séparées seront prévues pour les communications par téléphones mobiles.

9.6.5.5 Des indications détaillées sont données dans la directive OFROU «Systèmes radio dans les tunnels».

9.6.6 Systèmes de mesure

9.6.6.1 Le réglage de la ventilation nécessite la connaissance des paramètres ci-après. Leurs valeurs doivent être acquises dans le tunnel par des mesures de:

- la teneur en toxique (CO) de l'air dans l'espace de circulation,
- la baisse de la visibilité dans l'espace de circulation (due principalement au noir de carbone produit par les moteurs diesel),
- la vitesse et la direction du flux d'air dans l'espace de circulation.

9.6.6.2 La position des points de mesure sera fixée en fonction du système de ventilation.

9.6.6.3 La mesure de la visibilité peut aussi servir à la détection rapide d'incendies de véhicules dans le tunnel.

9.6.6.4 L'intensité lumineuse servant au réglage de l'éclairage d'adaptation sera mesurée devant le portail.

9.6.7 Contrôle du trafic

9.6.7.1 Si nécessaire, la densité de trafic sera recensée sur chaque voie de circulation séparément. On fera la distinction entre les voitures et les poids lourds.

9.6.7.2 Dans certains cas, il peut être opportun de contrôler la hauteur des véhicules. Cette mesure se fera avant l'entrée du tunnel.

9.6.8 Stations météorologiques

Suivant les cas, il peut être utile de mettre en place une station météorologique, par exemple pour avertir les conducteurs du risque de verglas dans les zones de portail.

9.7 Installations d'extinction d'incendies

9.7.1 Extincteurs portables dans les niches SOS

9.7.1.1 Chaque armoire d'alarme SOS contient deux extincteurs portables ayant au moins 6 kg de poudre AB.

9.7.1.2 La fixation des extincteurs est munie d'un commutateur qui déclenche l'alarme incendie dans la centrale d'engagement au moment où l'extincteur est décroché. La surveillance vidéo de la centrale d'engagement se branche simultanément sur le secteur correspondant.

9.7.2 Conduite d'eau et hydrants

- 9.7.2.1 La conduite d'alimentation des hydrants sera dimensionnée pour un débit d'eau moins 20 l/s. La pression aux points de raccordement ne descendra pas en dessous de 6 bars (0,6 MPa). La pression hydrostatique ne dépassera pas 15 bars (1,5 MPa).
- 9.7.2.2 La conduite doit pouvoir être remplacée. Elle ne sera pas bétonnée si elle est posée dans la banquette.
- 9.7.2.3 L'influence des installations électriques sur les conduites sera prise en considération:
 - les conduites d'eau ne seront utilisées ni comme mise à terre ni comme conduite de retour,
 - des mesures seront prises pour éviter des courants vagabonds le cas échéant,
 - des points de mise à terre seront prévus dans les niches.
- 9.7.2.4 Les conduites exposées au gel seront isolées en conséquence.
- 9.7.2.5 La position des hydrants est précisée aux chiffres 8.8.2 et 8.8.3.
- 9.7.2.6 Les détails de construction des hydrants et des manchons de raccordement seront mis au point en collaboration avec les services d'intervention.
- 9.7.2.7 L'eau sera renouvelée, pour des raisons d'hygiène, ou une circulation permanente sera prévue.

9.7.3 Alimentation en eau pour l'extinction d'incendies

- 9.7.3.1 L'alimentation en eau pour l'extinction d'incendies sera assurée par un réservoir d'une contenance d'eau moins 250 m³. Il sera possible de renoncer à un réservoir séparé en cas de raccordement à un réseau public avec réserve d'incendie.
- 9.7.3.2 L'équipement minimal du réservoir consistera en un déversoir courant et une jauge de niveau déclenchant un signal d'alarme pour un niveau minimal prescrit.
- 9.7.3.3 Le remplissage du réservoir vide doit pouvoir se faire dans un délai de 6 à 8 heures.

9.8 Alimentation en énergie

- 9.8.1 Le tunnel doit être alimenté à partir de deux réseaux locaux indépendants. Une alimentation de secours disponible en permanence sera en outre prévue.
- 9.8.2 Les moyens d'alimentation en énergie comprennent:
 - les stations de couplage à haute et à basse tension,
 - les transformateurs,
 - les réseaux à basse tension (réseau normal et réseau de secours),
 - les dispositifs de mesure, de protection et de commande,
 - les installations de secours, batteries comprises (réseau de secours),
 - les dispositifs de compensation.
- 9.8.3 L'alimentation de secours doit assurer le fonctionnement ininterrompu des installations suivantes:
 - les dispositifs de commande,
 - l'éclairage de secours,
 - l'éclairage de secours en cas d'incendie,
 - la signalisation,
 - la surveillance vidéo du trafic,
 - le téléphone de secours.
- 9.8.4 L'autonomie d'alimentation sera d'une heure.
La baisse de capacité des batteries due à leur vieillissement sera prise en compte dans la planification.

9.8.5 Les ordonnances relatives aux différents niveaux d'installations électriques seront prises en considération (voir la norme SIA 197, annexe A).

9.9 Installations annexes

9.9.1 Installations intérieures

9.9.1.1 Des installations intérieures sont généralement nécessaires dans les locaux annexes du tunnel, en particulier dans les centrales. Il s'agit:

- d'installations de chauffage, de ventilation et de climatisation,
- d'installations sanitaires,
- d'installations électriques,
- de systèmes de détection d'incendie.

9.9.1.2 Les prescriptions relatives à chaque catégorie d'installations seront prises en considération.

9.9.2 Installations pour l'exploitation

9.9.2.1 Dans certains cas, d'autres installations sont nécessaires à l'utilisation et à l'exploitation du tunnel, ainsi qu'à sa conservation. Il peut s'agir:

- d'installations de pompage,
- d'ascenseurs à personnes et à marchandises,
- d'engins de levage,
- de funiculaires de puits.

9.9.2.2 Les prescriptions à appliquer seront définies de cas en cas dans le cadre de la base du projet.

ANNEXE A DURÉE D'UTILISATION (informative)

A.1 Remarques

Les données ci-après sont indicatives.

Il est admis que l'entretien de la construction et des équipements se fait selon les règles.

Les calculs comparatifs d'ordre économique se baseront en général sur les valeurs inférieures de la durée d'utilisation.

A.2 Construction

Tableau 1 Durée d'utilisation d'éléments de construction

Élément	Durée d'utilisation en années									
	20	30	40	50	60	70	80	90	100	
Revêtement (béton non armé)							X	X	X	
Revêtement (béton armé)							X	X	X	
Étanchéité							X	X	X	
Dalle intermédiaire					X	X	X			
Dalle de chaussée sur appuis					X	X	X			
Doublage de parois (éléments préfabriqués)		X	X	X						
Caniveaux à fentes					X	X	X			
Bordure en pierre					X	X	X			
Revêtement de chaussée	X	X								
Revêtement superficiel (parois du tunnel)	X	X								
Galerie technique dans du remblai							X	X	X	
Conduites d'évacuation des eaux					X	X	X			
Conduite d'hydrants			X	X	X					
Canal de ventilation en béton armé							X	X	X	
Canal de ventilation en métal			X	X	X					
Gouttière à câbles dans l'espace de circulation	X	X								
Gouttière à câbles dans une galerie technique					X	X	X			
Structures porteuses métalliques	X	X								
Portes et autres parties en métal (espace de circulation)	X	X								

A.3 Équipements d'exploitation et de sécurité

Tableau 2 Durée d'utilisation d'éléments d'installation (composants)

Élément	Durée d'utilisation en années		10	15	20	25	30	35	40	45	50
Dispositifs de commande											
Système de commande d'ensemble		X	X								
Système de commande du trafic		X	X								
Postes de commande			X	X							
Éclairage											
Luminaires						X	X				
Commutateurs			X	X							
Commande/réglage	X	X									
Ventilation											
Ventilateurs de soufflage					X	X					
Ventilateurs axiaux						X	X				
Commande/réglage	X	X									
Appareils de mesure du CO				X	X						
Appareils de mesure de la visibilité					X	X					
Clapets de ventilation		X	X								
Amortisseurs de bruit							X	X	X		
Gestion du trafic											
Signaux lumineux				X	X						
Signaux variables mécaniques et électro-optiques				X	X						
Contrôle et communication											
Téléphone de secours (armoire SOS)					X	X					
Installation de détection d'incendie				X	X						
Surveillance vidéo du trafic (caméra)	X	X									
Installations pour liaisons radio		X	X								
Contrôle de hauteur des véhicules, électrique	X	X									
Téléphone d'exploitation		X	X								
Installations d'extinction d'incendies											
Extincteurs portables (niches SOS)	X	X									
Hydrants									X	X	X
Alimentation en énergie											
Stations de couplage à haute et à basse tension					X	X					
Transformateurs							X	X	X		
Réseaux à basse tension					X	X					
Réseau de secours			X	X							
Batteries à acide		X									
Batteries à gel	X										
Câblages											
Câbles en cuivre							X	X			
Fibres optiques			X	X							

ANNEXE B CHARGE D'INCENDIE (informative)

B.1 Données de base

Un incendie est susceptible de s'étendre très rapidement, souvent en l'espace de quelques minutes. Il produit de la chaleur (très hautes températures) et de la fumée (comportant des gaz toxiques).

La chaleur et la fumée peuvent rendre rapidement intenable le séjour dans le tunnel pour des personnes non protégées. Des personnes protégées (pompiers équipés d'habits spéciaux et d'appareils respiratoires) peuvent supporter ces effets plus longtemps. Les structures sont généralement aptes à résister à une forte action d'incendie sur une période encore plus longue.

La résistance au feu des éléments de construction doit correspondre aux dangers qu'ils sont susceptibles de générer. Les exigences seront fixées spécifiquement pour chaque élément.

B.2 Principes de protection en cas d'incendie

Les buts à atteindre par la protection en cas d'incendie découlent des principes suivants:

- Les personnes présentes dans le tunnel au moment du déclenchement de l'incendie doivent pouvoir assurer leur sauvetage elles-mêmes.
- Les services de secours doivent pouvoir intervenir dans de bonnes conditions.
- Des dommages excessifs doivent être évités par des mesures adéquates.

B.3 Charge limite pour personnes protégées

La charge limite pour l'engagement de pompiers protégés est située à une température de 400 à 450 °C et à un rayonnement thermique de 5 kW/m².

B.4 Charge d'incendie des véhicules

B.4.1 Des essais en tunnels ont permis de déterminer la charge d'incendie et les températures susceptibles d'être atteintes dans diverses conditions.

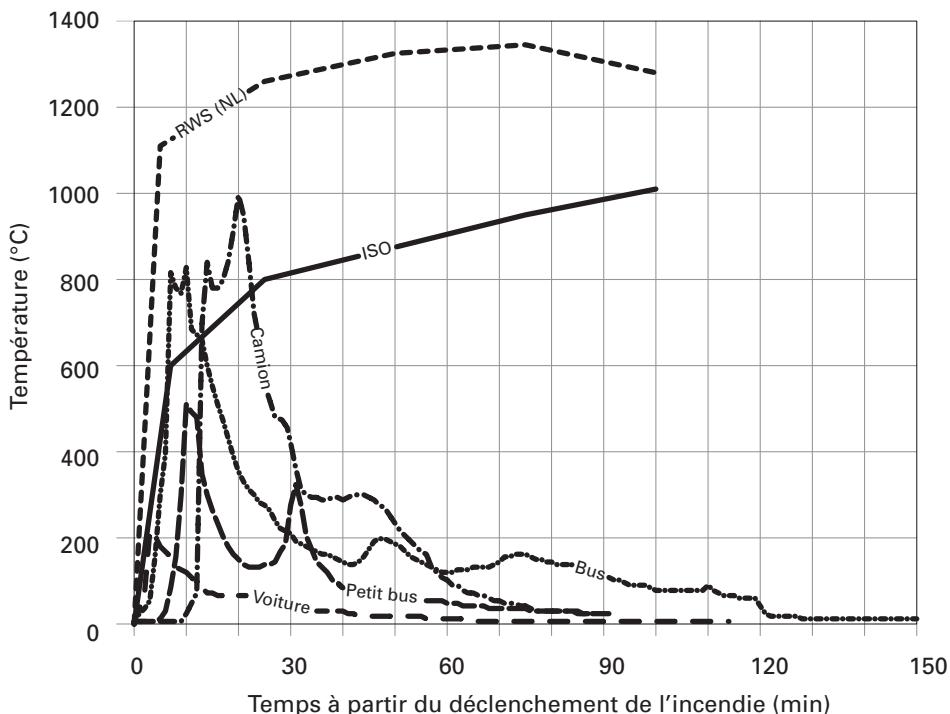
Le tableau 3 donne l'énergie libérée par l'incendie et les températures d'incendie correspondantes.

Tableau 3 Énergie libérée par l'incendie et températures d'incendie, tiré de [1]

Type de véhicule	Valeur approximative de l'énergie libérée par l'incendie MJ	Valeur maximale atteinte par la température d'incendie °C
Voiture de tourisme	3 000–6 000	200
Véhicule en matière synthétique	7 000	500
Petit bus/camionnette		700
Autobus	41 000	820
Transport de matières dangereuses (TIR)	65 000	1 000
Camion lourd	88 000	1 200
Camion-citerne avec 50 m ³ d'hydrocarbure sans écoulement dans la canalisation	1 500 000	1 400

La figure 5 donne les courbes température–temps pour différents véhicules selon les essais EUREKA et, à titre de comparaison, selon deux autres courbes normalisées connues.

Figure 5 Courbes température–temps selon les essais EUREKA [1]



B.4.2 Commentaires concernant les résultats

L'action de l'incendie se développe rapidement (5 à 10 min) après son déclenchement. L'augmentation de la température est marquée pour presque tous les types de véhicule par une courbe plus raide que la courbe ISO.

La température maximale atteinte et la durée de l'incendie dépendent du type de véhicule (voir également le tableau 3).

Le scénario néerlandais prend en considération des tunnels passant sous une voie d'eau (par exemple tunnel en éléments immersés). Il s'agit donc d'un cas extrême du point de vue des conséquences d'un incendie.

La courbe de dimensionnement néerlandaise (RWS) est basée sur l'incendie d'un camion-citerne d'une capacité de 50 m³ d'hydrocarbure. Dans l'hypothèse d'un chargement à 90%, le camion transporte 45 000 l. Avec une densité de 720 kg/m³, il s'agit donc d'une masse de 32,4 to d'essence. L'énergie de combustion de l'essence étant de 43,5 MJ/kg, l'énergie totale libérée par l'incendie est de 1 409 000 MJ.

La courbe RWS a été déterminée par un grand essai sur modèle (longueur = 8 m, largeur = 2 m, hauteur = 2 m) au cours duquel l'essence a été consumée dans 4 réservoirs. Les températures maximales ont atteint 1350 °C. De telles températures ont été mesurées lors d'essais d'incendie in situ dans le tunnel d'Ofenegg (1965) en Suisse, dans le tunnel du Zwenberg (1975) en Autriche et dans le tunnel du Mémorial (1993–95) aux États-Unis.

B.5 Courbes de dimensionnement (courbes température–temps)

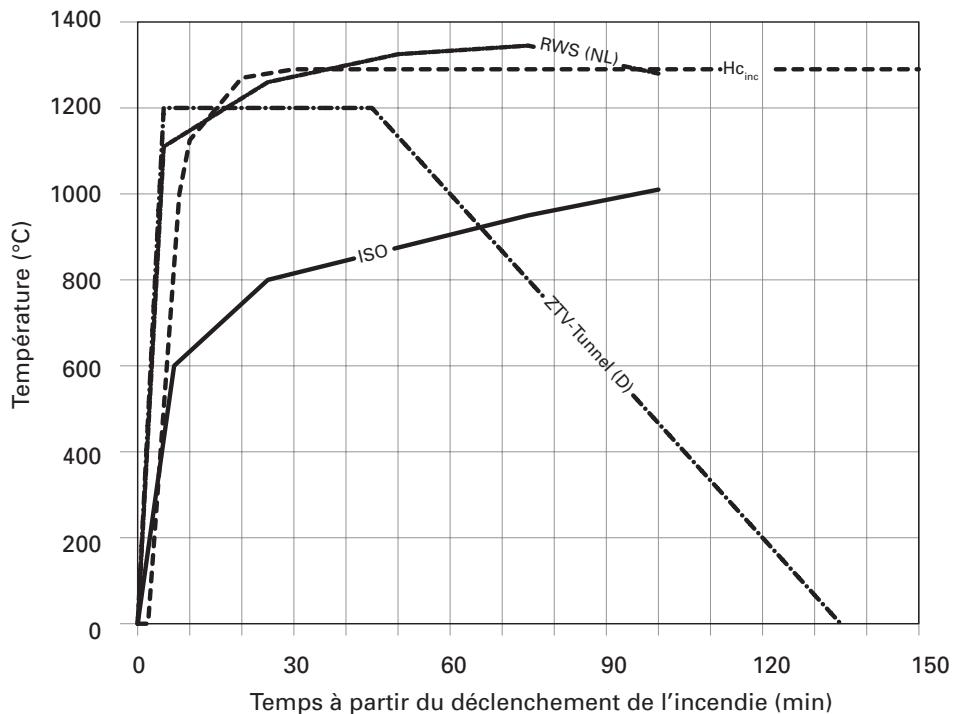
- B.5.1 Dans la phase initiale, les courbes de dimensionnement se recouvrent pratiquement. La température augmente rapidement durant les premières minutes, en partie indépendamment de la grandeur du véhicule et de l'énergie libérée par l'incendie. Cette augmentation est décisive pour le dégagement de chaleur et de fumée et est déterminante pour le laps de temps durant lequel des personnes peuvent subsister dans le tunnel.

L'évolution ultérieure joue un rôle important pour la structure et les autres éléments porteurs du tunnel, dans la mesure où des risques particuliers sont à craindre.

- B.5.2 La figure 6 présente les courbes de dimensionnement suivantes:
- ISO 834,
 - courbe de dimensionnement néerlandaise RWS (Rijkswaterstaat),
 - courbe d'hydrocarbure modifiée HC_{inc},
 - courbe prescrite en Allemagne (tunnel ZTV).

La courbe d'hydrocarbure modifiée correspond à la courbe de l'Eurocode EC1 multipliée par un facteur 1300/1100. La température maximale de la courbe de dimensionnement de l'EC1 n'atteint que 1100 °C.

Figure 6 Courbes de dimensionnement



B.6 Recommandation pour le dimensionnement

- B.6.1 Les actions dépendent:
- du genre de trafic (principalement de la part du trafic lourd) et donc des charges d'incendie possibles,
 - des conséquences des dégâts produits par l'incendie (par exemple l'instabilité d'une partie importante de la construction).

B.6.2 Les courbes de dimensionnement à appliquer seront celles données au tableau 4, en les adaptant à la recommandation de l'AIPCR [1].

Tableau 4 Choix de la courbe de dimensionnement et de la durée de l'action

	Tunnel (structure porteuse)				Éléments de construction secondaires
Véhicule	Tunnel immergé, tunnel sous ou à travers un bâtiment	Tunnel dans un massif instable	Tunnel dans un massif stable	Tunnel exécuté à ciel ouvert	Canaux de ventilation et dalle intermédiaire
Voitures de tourisme et de livraison	ISO 60 min	ISO 60 min	ISO ² 60 min	ISO ² 60 min	ISO 30 min
Camions et camions-citerne	RWS/HC _{inc} ¹ 120 min	RWS/HC _{inc} ¹ 120 min	ISO ³ 120 min	ISO ³ 120 min	ISO 120 min

Remarques relatives au tableau 4:

- ¹ En présence d'une part importante de camions-citerne chargés de fluides inflammables, l'AIPCR recommande une durée d'incendie de 180 min.
- ² La résistance ultime ne constitue en général pas un point critique.
- ³ La résistance ultime ne constitue en général pas un point critique. En cas de risques spéciaux, comme celui d'une faible couverture sous un bâtiment, on adoptera une charge d'incendie plus grande en fonction des conditions spécifiques.

Références

- [1] AIPCR/PIARC; Association mondiale de la route, *World Road Association* (1999); Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers, *Fire and Smoke Control in Tunnels*.
- [2] PIARC Technical Committee C-5 (2003); Design criteria for structure resistance to fire.
- [3] SN EN 1991-1-2: 2003; Actions sur les structures porteuses, parties 1–2.

ANNEXE C EXEMPLES DE PROFILS NORMAUX (informative)

- C.1 Les exemples donnés concernent différents types de profils normaux:
- tunnel construit à l'air libre, à section rectangulaire, sans ventilation longitudinale (figure 7),
 - tunnel construit en souterrain, sans radier-voûte, avec aspiration d'air vicié (figure 8),
 - tunnel construit en souterrain, avec radier-voûte et ventilation longitudinale (figure 9),
 - tunnel construit en souterrain, avec galerie technique et aspiration d'air vicié (figure 10).
- C.2 Les exemples donnent des indications concernant la disposition des équipements, des conduites et des câbles en conformité avec les dispositions de la présente norme. Concrètement, les profils normaux seront définis en fonction des besoins spécifiques.
- C.3 La disposition des conduites et des câbles (batterie de câbles intégrés, conduite d'hydrants) ainsi que le système de drainage (conduites drainantes des eaux du massif, conduites d'évacuation des eaux du massif et des eaux d'exploitation) seront soigneusement coordonnés. On tiendra compte:
- de la place nécessaire pour les regards de contrôle et de purge et les regards de mise en place des câbles,
 - de la place nécessaire pour les croisements et les ramifications de conduites et de câbles,
 - des exigences statiques et constructives dans les zones d'appui de la voûte.
- C.4 Les conduites drainantes et d'évacuation ne sont pas reportées dans la couche de drainage. Elles seront définies en fonction des dimensions et de la perméabilité de la couche de drainage.
- C.5 Un profil circulaire comporte en radier un espace libre important en dehors de l'espace utile pour le trafic. Cet espace libre se prête à l'exécution d'une galerie technique.
- C.6 La pente transversale de la chaussée peut être obtenue:
- Par une rotation de l'ensemble du profil théorique autour de son centre (centre effectif pour une section circulaire, centre fictif pour d'autres sections).
La distance entre l'axe du tunnel et celui de la chaussée est variable.
 - Par une rotation du plan de roulement autour de l'axe médian de la chaussée sans modification du profil théorique.
La distance entre l'axe du tunnel et celui de la chaussée est constante (souvent nulle).

Figure 7 Tunnel construit à l'air libre, à section rectangulaire, sans ventilation longitudinale

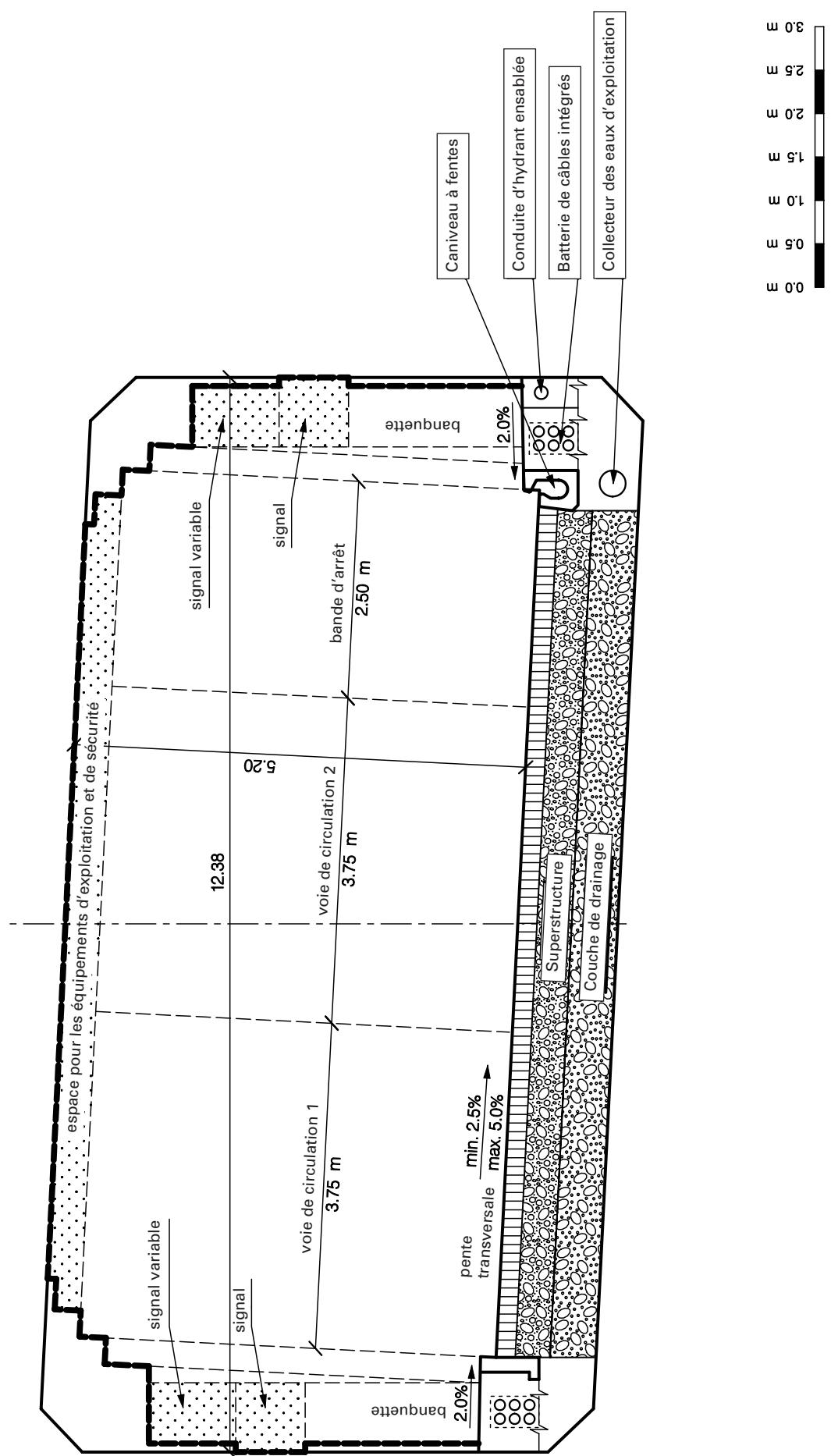


Figure 8 Tunnel construit en souterrain, sans radier-voute, avec aspiration d'air vicié

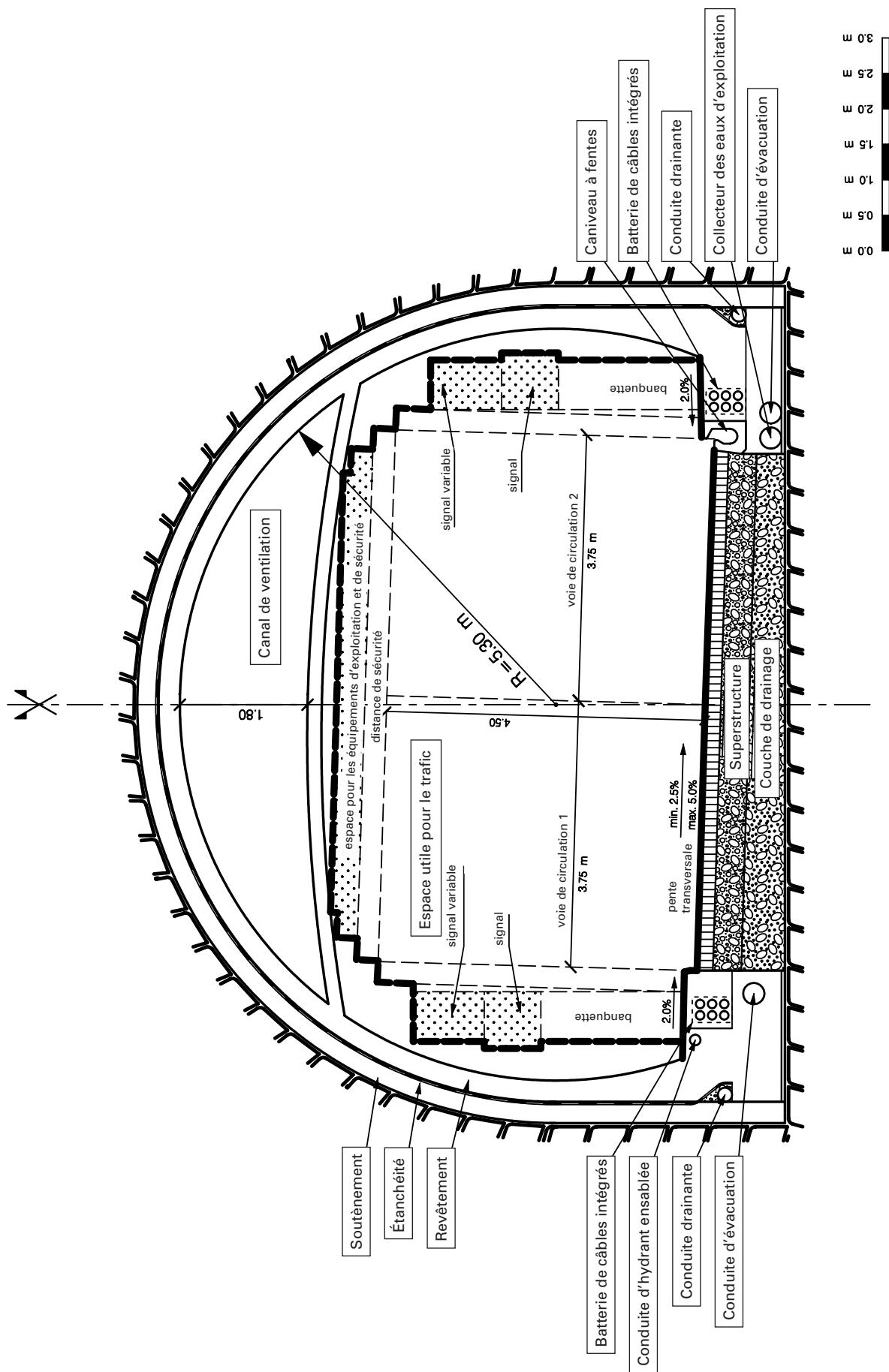


Figure 9 Tunnel construit en souterrain, avec radier-voute et ventilation longitudinale

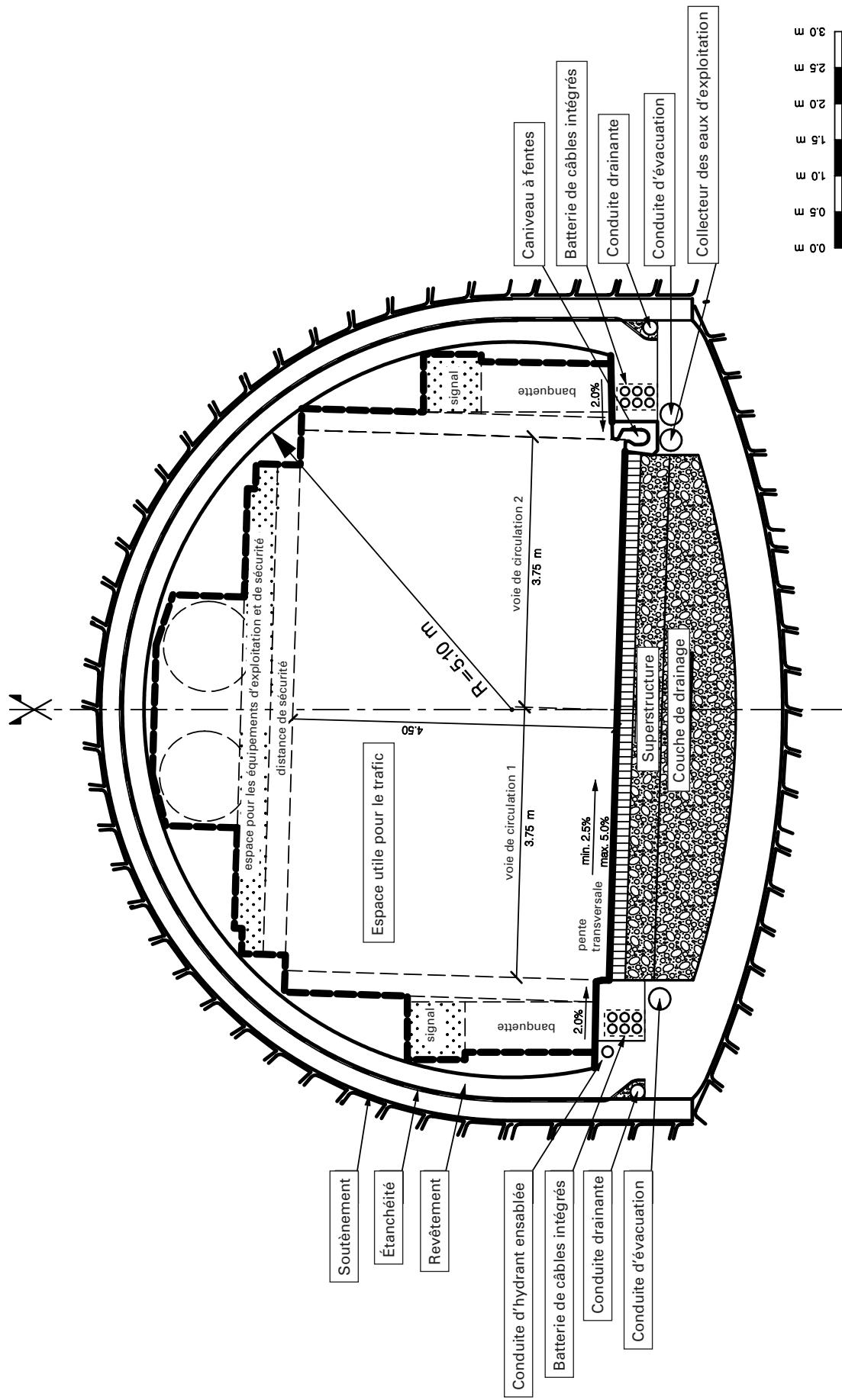
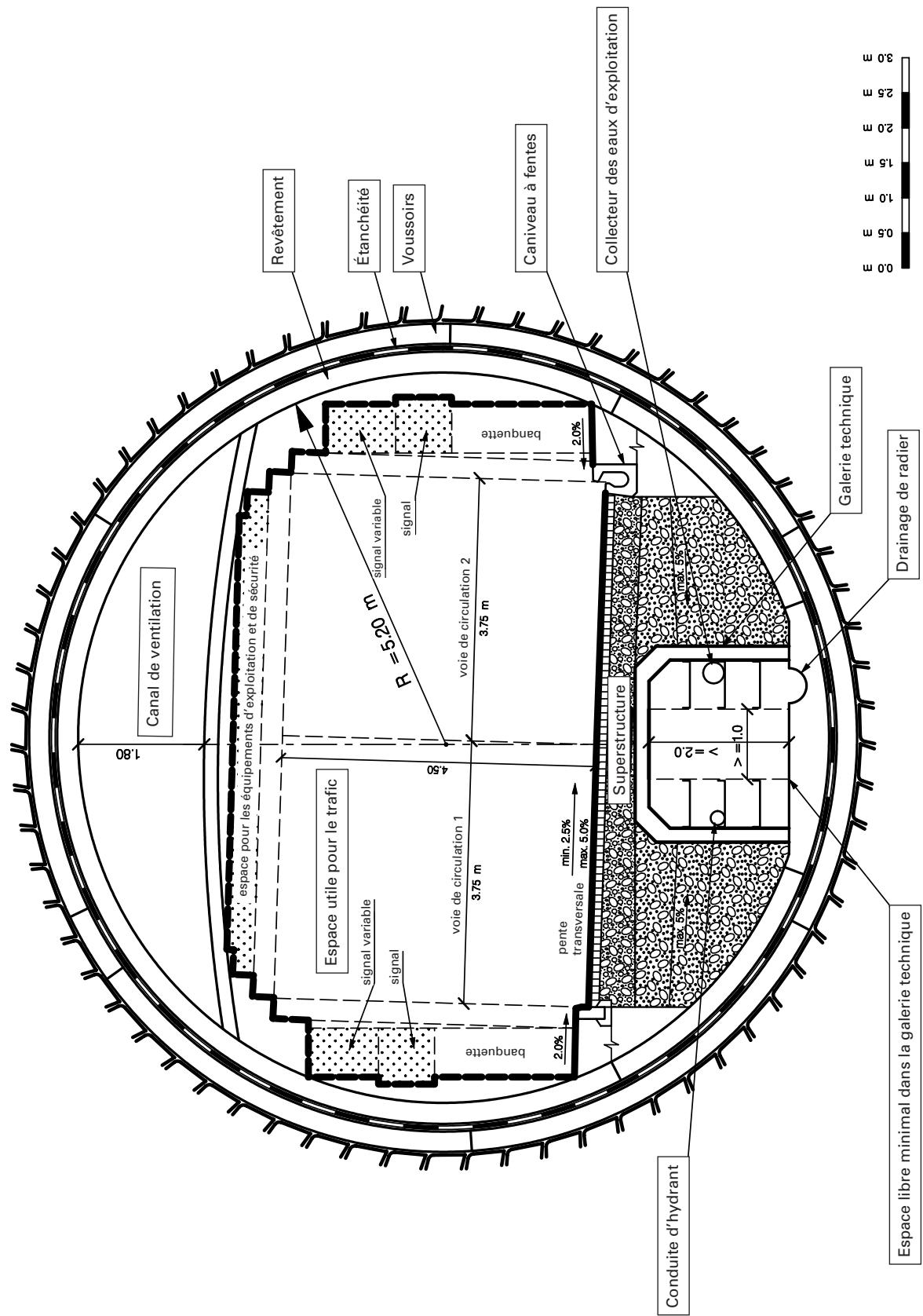


Figure 10 Tunnel construit en souterrain, avec galerie technique et aspiration d'air vicié



ANNEXE D EXEMPLE DE SCHÉMA DE FONCTIONNEMENT POUR UN TUNNEL À DOUBLE TUBE (informatif)

Système de surveillance et déclenchement d'actions						
	Installation de détection d'incendies dans le tunnel	Déclenchement extincteur	Installation de détection d'incendie dans les bâtiments	Téléphone de secours	Surveillance vidéo du trafic (détection de sinistres)	Centrale de commande du trafic (1)
Alarme incendie		Alarme incendie	Alarme incendie	Appel	Sinistre	Ordre manuel
Ventilation du tunnel	Enclenchement sur le fonctionnement incendie	Enclenchement sur le fonctionnement incendie	–	–	–	Fonctionnement: – incendie – accident – entretien (selon ordre manuel)
Centrale de commande du trafic	Alarme centrale d'engagement	Alarme centrale d'engagement	Alarme centrale d'engagement	Reception de l'appel	Alarme centrale d'engagement	–
Centrale de détection d'incendie	Alarme poste central d'alarme des sapeurs-pompiers	Alarme poste central d'alarme des sapeurs-pompiers	Alarme poste central d'alarme des sapeurs-pompiers	–	–	–
Surveillance vidéo du trafic	Enclenchement de plusieurs caméras	Enclenchement de plusieurs caméras	Enclenchement de plusieurs caméras	Enclenchement de plusieurs caméras	Enclenchement de plusieurs caméras	Service normal
Éclairage du tunnel	– éclairage de traversée – éclairage d'adaptation – éclairage de secours en cas d'incendie	Enclenchement au niveau maximal	Enclenchement au niveau maximal	–	–	Service normal
Système de commande du trafic	– Enclenchement	– Enclenchement	–	–	–	Service normal
Ventilation des bâtiments	–	–	Fermeture des clapets d'incendie	–	–	–
Système d'exploitation et réactions attendues						
	Tube avec incendie: fermeture (signaux aux portails sur rouge)	Tube avec déclenchement: fermeture (signaux aux portails sur rouge)	Tube concerné: fermeture de voies (signaux aux portails sur rouge)	Conducteur roulant à contre-sens: fermeture (signaux aux portails sur rouge)	Service normal	Service normal
	Tube sans incendie: fermeture (signaux aux portails sur rouge)	Tube sans déclenchement: avertissement (signaux aux portails sur clignotant)	Tube non concerné: –	Véhicule en panne: avertissement (signaux aux portails sur clignotant)		

Abréviations des organisations représentées dans la Commission SIA 197 et dans le Groupe de travail SIA 197/2

OFROU Office fédéral des routes

OFT Office fédéral des transports

OFEFP Office fédéral de l'environnement, du paysage et des forêts

Membres de la Commission SIA 197 *Projets de tunnels*

Président	François Vuilleumier, dr ing. civ. dipl. EPF/SIA, Lausanne	Bureau d'études
Membres	Ernst Berger, dr ing. civ. dipl. EPF/SIA, Mühlethurnen Erwin Beusch, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Ennetbaden Alfred Brügger, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Chêne-Bougeries Andreas Hofer, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Berne Martin Känzig, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Utzigen Pierre Michel, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Vex Willy Ritz, ing. HES, Kastanienbaum Alex Sala, ing. civ. dipl. HES, Oberembrach Peter Testoni, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Wabern Peter Theiler, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Lucerne Hans-Jakob Ziegler, dr géologue, Frauenkappelen	OFEPP Maître d'ouvrage Entreprise OFROU OFT Bureau d'études Entreprise Bureau d'études OFT Entreprise Bureau d'études

Membres du Groupe de travail SIA 197/2 *Tunnels routiers*

Président	Andreas Hofer, ing. civ. dipl. EPF, Berne	OFROU
Membres	Erwin Beusch, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Ennetbaden Hermann Fleischer, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Lutry Pascal Mertenat, ing. civ. dipl. HES, Delémont Otto Schnelli, ing. civ. dipl. HES, Zufikon Christian Scholer, ing. civ. dipl. EPF, Frick Bernhard Schwery, ing. civ. EPF, Miège Jörg Stauber, ing. civ. dipl. EPF/SIA, Sarnen	Canton AG Canton VD Canton JU Canton ZH Canton BL Canton VS Canton OW
Rapporteur	Walter Steiner, dr ing. civ. dipl. EPF/SIA, Riggisberg	Bureau d'études

Adoption et entrée en vigueur

La Commission centrale des normes et règlements a adopté la présente norme SIA 197/2 *Projets de tunnels – Tunnels routiers* le 26 août 2004.

Elle entre en vigueur le 1^{er} octobre 2004.

Elle remplace, conjointement avec les normes SIA 197 et SIA 197/1, les chapitres 1 et 2 de la norme SIA 198 *Constructions souterraines* de 1993.

Copyright © 2004 by SIA Zurich

Tous droits réservés, qu'il s'agisse de réimpression même partielle, de reproduction partielle ou complète (photocopie, microcopie, CD-ROM, etc.), d'enregistrement dans des banques de données et de traduction.