

TABLE DES MATIÈRES

MONTÉE EN TEMPÉRATURE	3
VISIBILITÉ	3
SOLUTIONS DE DÉSENFUMAGE	4
1. La ventilation longitudinale	4
2. La ventilation transversale	5
3. Contraintes équipements	6
CONTRAINTE ACOUSTIQUE	7
1. Contexte et problématique	7
2. Tunnels routiers et ferroviaires	7
3. Tunnel de métro	8
4. Caractéristiques du matériel	8
NORMES ET RÉGLEMENTATION	9
SOLUTIONS F2A	12



CONTEXTE ET PROBLEMATIQUES

Le trafic dans un tunnel routier peut atteindre jusqu'à 200 000 véhicules par jour. La sécurité des automobilistes constitue un enjeu majeur. Un feu se déclarant dans un tunnel peut en effet avoir des conséquences dramatiques, tant au niveau humain qu'au niveau des infrastructures routières.

« Le cas d'un tunnel diffère d'un bâtiment classique d'un point de vue aéraulique, du fait de l'existence de courants longitudinaux et parce que les débits de renouvellement d'air y sont très grands. » CETU

Les risques d'un incendie dans un espace routier confiné sont multiples, les fumées, dont la propagation peut atteindre 4 m/s, entraînent :

- Asphyxie : le feu consume les molécules d'Oxygène présentes dans l'air, entraînant l'asphyxie de l'utilisateur ou l'empoisonnement au monoxyde de carbone du fait de l'inhalation de fumées.
- Perte de visibilité (facteur le plus dangereux) : l'utilisateur perdu au milieu des fumées ne peut pas s'auto-évacuer et augmente son temps d'exposition aux fumées nocives

Tandis que le feu peut provoquer :

- Explosion : priver complètement d'air un incendie dans un espace confiné peut conduire à la formation de poches de gaz explosives. Les conséquences d'une explosion dans un tunnel sont dévastatrices et l'onde de choc peut être mortelle sur toute la longueur du tunnel.
- Écroulement : Sous l'effet de la chaleur, un pan de la voûte peut s'effondrer ou des éléments de ventilation ou d'éclairage tomber sur la route.

La sécurité des usagers est menacée lorsque la visibilité et la température atteignent les seuils ci-dessous :

Visibilité	Rayonnement de l'incendie	Température
10m	2 kW/m ²	Entre 50 et 80°C selon l'humidité de l'air

Bien qu'apparemment peu fréquents, si on considère la quantité de véhicules circulant chaque jour en France, les incendies dans les tunnels (taux ci-dessous), nécessite la mise en place de solutions techniques préventives.

Type de véhicule	Véhicule léger	Poids lourd (incendie léger)	Poids lourd (incendie important)
Taux d'incendie (on comptera le taux pour 10 ⁸ véhicules par km)	2	7	1

Étude de cas :

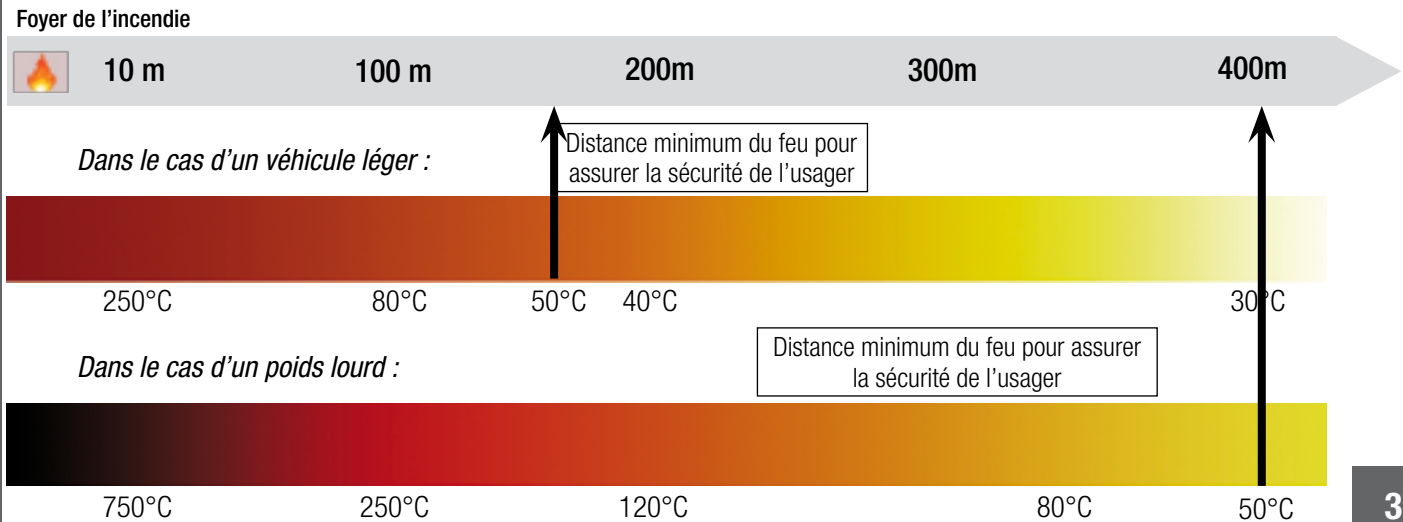
Pour un tunnel urbain de 1 950m, avec un trafic journalier de 48 000 véhicules, soit environ 2000 véhicules par heure, si un incendie sur un véhicule léger se déclare, il faut pouvoir évacuer entre 2 000 et 4000 personnes en moins de 12 minutes. Sans un système de ventilation adapté, 80% du tunnel serait envahi par la fumée après ce délai.



MONTÉE EN TEMPÉRATURE

Selon une étude du CETU réalisée en 2003, dans le cas de la prise de feu d'un véhicule, la puissance d'un incendie varie de 2MW pour un véhicule léger à 200MW pour une citerne d'essence. On considère un incendie comme « important » lorsqu'il dépasse les 10-20MW.

Afin d'assurer sa sécurité, l'utilisateur doit se trouver à une distance minimale du foyer de l'incendie :

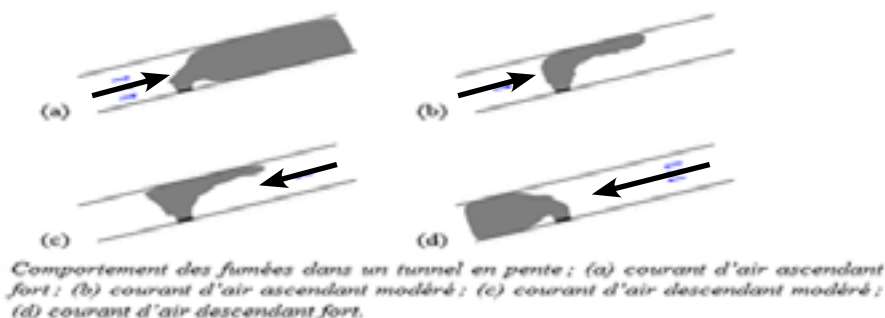


VISIBILITÉ

La perte de visibilité due à la propagation des fumées est un des facteurs les plus dangereux d'un incendie pour les usagers. Privée de repères, la personne est désorientée et ses chances de survie diminuent.

La propagation des fumées est fonction de plusieurs composantes caractéristiques du tunnel :

- La pente qui induit un effet cheminée (si supérieure à 10%)
- Les matériaux du tunnel
- La différence de pression entre les deux têtes du tunnel
- La longueur du tunnel
- La voute du tunnel (selon si le plafond du tunnel est voûté ou plat)
- L'hygrométrie (l'humidité de l'air)

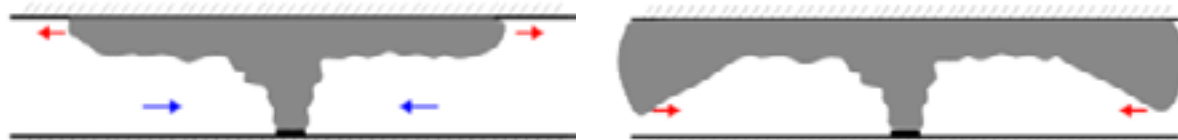


Source CETU



En moyenne, un véhicule léger prenant feu dans un tunnel de pente nulle et sans ventilation va propager de la fumée sur environ 100 mètres de chaque côté du feu en moins d'une minute.

Sans ventilation pour aider à son évacuation la fumée suit un schéma invariable :



Source CETU

En s'éloignant du feu, la fumée perd de sa chaleur et se faisant, s'alourdit et envahit les strates inférieures du tunnel, rendant l'air opaque et extrêmement difficile à respirer.

	Véhicule léger	Poids lourd (incendie important)
Vitesse de propagation des fumées	1 à 2 m/s	Jusqu'à 4 m/s

SOLUTIONS DE DÉSENFUMAGE

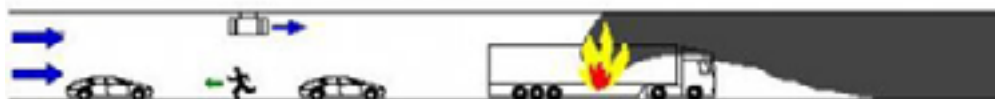
Il existe des solutions de désenfumage permettant de faire face à ce danger. Elles sont mises en place selon plusieurs critères : longueur du tunnel, type de trafic dans le tube de circulation, localisation géographique du tunnel, et densité du trafic.

4

1. La ventilation longitudinale

En fonctionnement normal, des accélérateurs positionnés à intervalles réguliers dans le tunnel poussent l'air vers sa sortie.

En cas d'incendie, les fumées sont poussées vers une des têtes du tunnel. La vitesse du courant d'air doit être assez élevée pour que les fumées se déstratifient. Elle doit ainsi être légèrement supérieure à la vitesse de propagation des fumées.

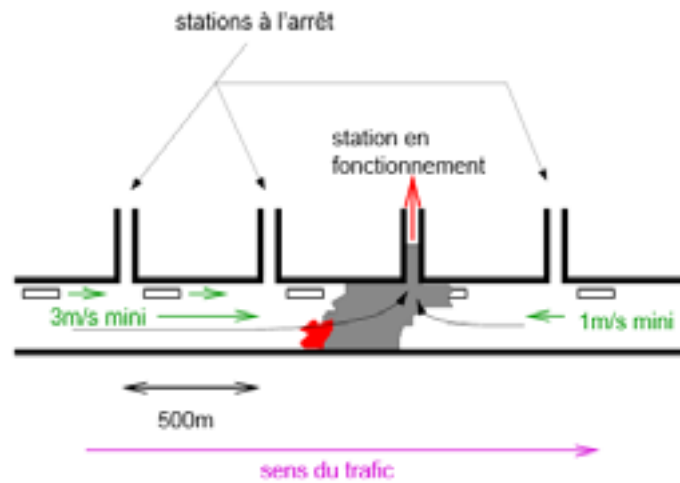
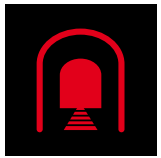


Source CETU

Source : CETU

La ventilation longitudinale peut être associée à des trappes d'extraction massive, les fumées étant alors évacuées au plus près de l'incendie. On choisira d'utiliser ou non ces extractions massives en fonction des paramètres suivants :

- Longueur du tunnel
- Unidirectionnel ou bidirectionnel
- Urbain ou non urbain
- A fort trafic ou faible trafic



Source CETU

Dans ce mode de ventilation, les débits doivent être calculés en fonction de la vitesse des fumées afin de ne pas enclencher leur déstratification. (Source : CETU)

2. La ventilation transversale

5

En fonctionnement normal, elle permet un renouvellement d'air grâce à des conduits qui acheminent l'air frais depuis un puit d'air et le diffusent par des bouches situées en partie basse. L'air vicié est extrait par des trappes horizontales situées au plafond du tunnel.

En cas d'incendie, l'action du ventilateur d'extraction associé à l'ouverture des trappes de désenfumage au plus près de l'incendie permet d'extraire les fumées. L'objectif est de maintenir les fumées en partie haute du tunnel. Cette technique permet de préserver une strate d'air frais en partie basse, afin de faciliter l'évacuation des usagers.



Source CETU

Vitesse d'extraction des fumées dans le cas d'un désenfumage transversal:

Type de véhicule	Vitesse d'extraction	Vitesse de soufflage d'air frais
Poids Lourd	1,5 à 2m/s	2 à 3m/s



3. Contraintes équipements

Les trappes de ventilation et registres d'isolement des ventilateurs d'extraction sont soumis à de fortes contraintes et doivent ainsi présenter une importante résistance à la pression (jusqu'à 10 000 Pa accidentels selon la longueur et la configuration des tunnels) et à la température.

Ces produits sont soumis à différentes réglementations selon le pays et les habitudes du maître d'ouvrage (cf. tableau de synthèse)

Normes spécifiques aux trappes de désenfumage et registres d'isolement des ventilateurs d'extraction selon le type de ventilation:

Type de ventilation	Stratégie	Exigences réglementaires trappe de désenfumage		
		Françaises		Internationales et Européennes
		Trappes	Registres	Trappes et registres
Ventilation longitudinale avec extraction massive	Pousser les fumées et les extraire	Circulaire 2000-63	400°C/2h	British Standards 476/20 et UL555S Directive 2000/54/CE
Ventilation transversale	Extraire les fumées et insuffler de l'air frais	Circulaire 2000-63	400°C/2h	British Standards 476/20 et UL555S Directive 2000/54/CE

Trappe de désenfumage MRS-T



Registre d'isolement TRS

400°C / 2h

Circulaire 2000-63



Conditions d'ambiance :

Selon les conditions d'ambiance, les matériaux composant les équipements d'un tunnel varient. Les brumes salées ainsi que les gaz d'échappement, sous forme de particules, de gaz ou d'aérosol, corrodent les équipements, présentant ainsi un risque de mal fonctionnement ou de chute sur les voies de circulation. Il incombe au maître d'œuvre d'étudier les conditions de trafic et d'ambiance du tunnel et de choisir des matériaux qui garantissent aux équipements une résistance à la corrosion.



CONTRAINTE ACOUSTIQUE

1. Contexte et problématique

Les tunnels routiers, ferroviaires et de métro ont la particularité, de par leur conception, d'être des édifices réverbérant. Le fonctionnement des équipements de ventilation ajouté au bruit créé par le passage des voitures, des trains ou des rames de métro peut ainsi créer un niveau sonore émergent gênant pour les usagers.

Les exigences de performances acoustiques dépendent de la localisation du tunnel.

	Urbain		Non Urbain	
Localisation du tunnel	Contrainte à l'extérieur	Contrainte à l'intérieur	Contrainte à l'extérieur	Contrainte à l'intérieur
Exigence de niveau sonore	Émergence selon réglementation du voisinage - Décret 2006-1099 du 31 août 2006	Fixée par le Bureau d'étude	Fixée par le Bureau d'étude & Émergence selon réglementation du voisinage	Fixée par le Bureau d'étude

Les problématiques acoustiques dans un tunnel sont :

- Garantir la sécurité des usagers, notamment avec un niveau sonore leur permettant d'entendre une alarme en cas de danger
- Garantir le confort des usagers et des personnes travaillant dans l'ouvrage
- Garantir le confort des riverains en contrôlant les émergences extérieures dans le cas d'un tunnel urbain



Baffle acoustique SONIE BD
400°C / 2h

2. Tunnels routiers et ferroviaires

Dans la majorité des tunnels routiers et ferroviaires, aucun traitement acoustique n'est prévu. En effet, les usagers étant à l'intérieur de véhicules isolés acoustiquement, ils ne sont pas directement exposés aux nuisances sonores des équipements.

Dans le cas où un dépassement des valeurs acceptables est constaté par le bureau d'étude, des corrections acoustiques de type silencieux ou barrière acoustique peuvent être installées aux têtes des tunnels à proximité des riverains.



3. Tunnel de métro

Dans un tunnel de métro, les ventilateurs sont souvent positionnés au niveau des stations afin d'assurer leur ventilation. Cette proximité peut engendrer une gêne pour les usagers et les personnes travaillant à l'intérieur du tunnel. Un traitement acoustique peut être prévu, si les niveaux sonores émergents à l'intérieur du tunnel dépassent les limites acceptables décidées par le bureau d'étude.

A l'extérieur d'un tunnel de métro, les émergences sonores acceptables provoquées par les équipements sont données par la réglementation du voisinage, en particulier en zone urbaine.

4. Caractéristiques du matériel

Selon les exigences acoustiques fixées par le Bureau d'étude, et/ ou la réglementation, une étude acoustique permettra de déterminer la solution optimale pour atteindre l'objectif. La solution généralement retenue consiste en l'installation de silencieux circulaires ou rectangulaires à baffles.

Outre les performances acoustiques des équipements préconisés, leur résistance à la température et aux fortes vitesses d'air doivent être également étudiées.

En effet, la vitesse à l'intérieur des voies d'air des silencieux en cas de désenfumage peut parfois dépasser 14m/s. Dans ce cas, les baffles devront être renforcés par l'utilisation d'une protection en métal déployé sur les deux faces.

Des manchettes de raccordement souple haute température viendront en complément pour absorber une partie des vibrations des ventilateurs, réduisant ainsi le niveau sonore émergent.

Pour des équipements installés sur un ventilateur résistant à une température de 400°C pendant 2h, les baffles, silencieux et manchettes devront présenter cette résistance au feu de 400°C pendant 2h.



NORMES ET RÉGLEMENTATION

NORMES FRANÇAISES :

Sécurité des tunnels routiers

La circulaire 2000-63

Elle décrit les mesures relatives à la ventilation sanitaire et au désenfumage dans un tunnel. Elle recommande un test de résistance à la chaleur pour les trappes de désenfumages selon un protocole précis :

Durée	Position	T° dans le tunnel	T° dans la gaine
15 min	Ouverture	400°C	20°C
60 min	Ouverture	200°C	200°C
60 min	Ouverture	400°C	200°C

9

Les manchettes et silencieux ne sont pas spécifiquement nommés dans la circulaire. Néanmoins et compte tenu de leur positionnement proche des ventilateurs en ventilation transversale et semi-transversale, on peut considérer que la résistance maximale demandée est de 200°C/2h ou 400°C/2h si ceux-ci sont à proximité des trappes de désenfumage.

http://www.vie-publique.fr/documents-vp/circulaire_25-08-2000-1.pdf

Le CETU (Centre d'Etudes des Tunnels)

Il a édité en novembre 2003 un dossier portant sur la ventilation des tunnels et expliquant les stratégies de désenfumage longitudinal et transversal. Il procure également de nombreuses indications quant au dimensionnement des registres, ou bien le calcul de débit d'air optimal selon les situations (ventilation sanitaire ou désenfumage).

http://www.cetu.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DP_ventilation_cle557d66-3.pdf

Sécurité des tunnels ferroviaires

L'instruction technique interministérielle n°98-300

Elle décrit les dispositifs relatifs à la sécurité dans les tunnels ferroviaires. Une stratégie de désenfumage est obligatoire dans les tunnels installés dans des zones urbaines et dédiés au transport public, ainsi que dans les tunnels de plus de 5000 m où le transport de marchandises dangereuses ou explosives est autorisé.

http://www.developpement-durable.gouv.fr/spip.php?page=article&id_article=3249



NORMES EUROPÉENNES ET INTERNATIONALES:

La directive Européenne 2004/54/CE

Elle décrit les mesures relatives à la collaboration entre les centres de sécurité d'un tunnel transeuropéen. Elle explicite également la nécessité d'installer des trappes d'extraction massive dans les tunnels transeuropéens bidirectionnels de plus de 3000m.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2004:167:0039:0091:FR:PDF>

L'association mondiale de la route

Il s'agit d'une organisation qui publie et rassemble différents éléments concernant la sécurité incendie, dans les tunnels au travers du monde, tant au niveau des résistances à la chaleur, que des taux de fuites et de la résistance à une pression différentielle élevée. Son activité est proche de celle du CETU, et leur dossier contient également des données de dimensionnement et de calcul

<http://tunnels.piarc.org/fr/equipements-et-systemes/ventilation.htm>

BS476-20

L'article 20 de la British Standards est une norme applicable aux matériaux de construction en dehors de la France et est souvent appliquée aux registres feu et de désenfumage. Le protocole est composé de :

- Un test d'intégrité du registre fermé suivant la courbe ISO 834 (courbe T°/temps)
- Un test d'imperméabilité au feu :
 - Aucune flamme ne doit traverser pendant l'essai
 - Une pige de plus de 6mm en translation de plus de 250mm au travers du registre ne doit pas passer
 - Une pige de 21mm ne doit pas pouvoir passer au centre du registre

UL555S

L'UL555S (Underwriters Laboratories) décrit spécifiquement les tests nécessaires à effectuer sur un registre de désenfumage pour qu'il puisse être utilisé aux Etats-Unis ou tout autres pays mentionnant cette norme. Ses exigences concernent les registres de désenfumage utilisés dans le chauffage, la ventilation et la climatisation (HVAC). Les tests sont toujours exécutés sur 3 tailles du même registre (hauteur max/largeur max, hauteur min/largeur max, hauteur max/largeur min).

Les tests des registres de désenfumage vont porter sur plusieurs aspects :

- L'opérabilité : 100 000 cycles opératoires depuis fermé jusqu'à ouvert en passant par toutes les positions intermédiaires des lames.
- La résistance à la température : en partant d'une température de 121°C avec une augmentation de 56°C pendant 30 minutes en position fermée.
- Le taux de fuite est mesuré avec l'application de fortes pressions (de 1.1kPa à 3.1kPa) sur le registre. Il est ensuite évalué selon une des trois classes d'étanchéité.



NORME ACOUSTIQUE

Bruit de voisinage, décret n°2006-1099 du 31 août 2006

Ce décret régle le bruit des équipements des tunnels lorsqu'ils sont à proximité d'une zone habitée. Les valeurs limites de l'émergence sont de 5dBA le jour, et 3dBA la nuit, auquel s'ajoute un terme correctif en dBA, en fonction de la durée cumulée d'apparition. Dans le cas du métro, on considère la durée cumulée d'apparition comme supérieure à 8h, auquel cas aucun correctif n'est appliqué.

<http://www.legifrance.gouv.fr/affichTexte.do?cidTexte=JORFTEXT000000459023&dateTexte=&categorieLien=id>



SOLUTIONS F2A



Register de dosage P0

Installé sur les réseaux d'air frais, son ouverture réglable permet le réglage de la surpression des issues de secours

- Température d'utilisation : -20°C à 80°C
- Pression admissible : 2 100 Pa pour une longueur d'1 m
- Vitesse admissible : 15 m/s

12



Register de désenfumage MRS-T

certifié circulaire 2000-63

Conforme aux standards Français, extrêmement performant pour les processus de désenfumage

- Conçu pour résister à des pressions de 6 000Pa
- Taux de fuite de classe 3 (selon l'EN 1751)
- Le registre MRS-T peut être utilisé comme trappe d'extraction dans les tunnels français appartenant à l'état



Registre de désenfumage et d'isolement MOD

400°C/2h

Extrêmement performant pour le désenfumage.

- Résistant à des pressions de 3 000Pa
- Taux de fuite de classe 3 (selon l'EN 1751)
- Certifié 400°/2h et 600°C/1h



Registre feu et d'isolement TRS

certifié BS476
400°C/2h

Conçu pour résister à des conditions de pression et de température extrêmes

- Résistant à des pressions de 10 000Pa.
- Taux de fuite de classe 3 (selon l'EN 1751)
- le registre TRS peut être utilisé partout dans le monde, comme trappe d'extraction, registre de désenfumage ou d'isolement des ventilateurs d'extraction.
- Un des seuls registres dimensionné en 2500x2500mm
- Facilité de remplacement des joints



Manchettes Tunnel ELYFORM

400°/ 2h

Utilisée pour connecter les ventilateurs d'extraction et les gaines.

- Résistante à une pression de 10 000Pa
- Peut être de forme rectangulaire, circulaire, conique



Baffles SONIE BD

400°C/2h

Conçus pour réduire les niveaux sonores

- Bords arrondis réduisant la perte de charge jusqu'à 30%
- Protections mécaniques de voile de verre en métal déployé
- Testés acoustiquement dans un laboratoire indépendant

Baffles SONIE BD + :

- Laine minérale spécifique, deux fois plus légère que la laine standard.



F2A installe les servomoteurs sur les registres en usine et travail en collaboration avec les entreprises les plus performantes du marché.

En option, les servomoteurs peuvent être livrés avec un capotage thermique

400°C/2h