



D'autre part, le fait de couvrir une route (existante ou nouvelle) implique une amélioration de la qualité de l'air tout le long de la section couverte. La gestion de la redistribution de l'air pollué du tunnel doit être abordée en fonction du voisinage du tunnel.

La dispersion au départ des routes, des têtes des tunnels et des cheminées doit être étudiée en tenant compte des conditions météorologiques, étant donné que des vents forts provoquant des turbulences facilitent la dispersion des polluants ; cependant, la dispersion peut être très faible dans des zones entourées de grands bâtiments, encaissées dans des vallées ou entourées de forêts.

Des outils de conception sont indispensables dans le processus de planification, en vue de quantifier les émissions de gaz d'échappement dans les tunnels. Les émissions maximales prévues par unité de temps constituent des données importantes lors de la conception du système de ventilation d'un tunnel. Des outils de dispersion appropriés fournissent les niveaux de concentrations auxquels on doit s'attendre.

Toutes les mesures proposées pour fournir un air extérieur de qualité devraient être évaluées de manière telle que les bénéfices environnementaux obtenus soient proportionnés aux coûts sociaux, environnementaux et économiques de leur utilisation.

► 4.3. TECHNIQUES DE DISPERSION DE L'AIR DES TUNNELS

Les stratégies environnementales de ventilation adoptées dans un projet influent directement sur la sécurité du tunnel. Chacune des options abordées ci-après doit être analysée dans le contexte des performances de sécurité en exploitation aussi bien dans celui des performances environnementales.

4.3.1. Dispersion par les têtes

Le problème majeur de la dispersion réside dans la manière d'évacuer l'air pollué ou vicié de façon telle que cela ne cause aucun impact inacceptable sur la zone voisine du tunnel.

Comme le montre l'expérience de la plupart des situations, le rejet au niveau des têtes des tunnels n'entraîne pas nécessairement le dépassement des niveaux maximaux de concentration dans les zones où des récepteurs sensibles se trouvent. C'est pourquoi la méthode de très loin la plus courante pour disperser les émissions des tunnels est le rejet par les têtes.

L'acceptabilité des performances de dispersion au droit des têtes dépend des

On the other hand covering a road (new or existing) will improve air quality along the covered section. The handling of the redistribution of contaminated air by the tunnel should be examined in relation to the vicinity of the tunnel.

Dispersion from roads, tunnel portals and stacks on tunnels should be examined in relation to the meteorological conditions as strong winds causing turbulence help to disperse contaminants; however the dispersion in enclosed areas by large buildings, valleys or forests can be very low.

In the planning process it is crucial to have design tools to calculate the exhaust emissions in tunnels. The maximum expected emissions per unit of time are important input data when designing the ventilation system in the tunnel. Appropriate dispersion tools deliver the expected concentration levels.

All proposed measures to deliver external air quality should be assessed in such a way that the environmental benefits achieved are proportional to the social, environmental and economic costs of their use.

► 4.3. TUNNEL AIR DISPERSION TECHNIQUES

The environmental ventilation strategies adopted for a project directly impact on tunnel safety. Each of the options discussed below must be analyzed in the context of operational safety performance as well as environmental performance.

4.3.1. Dispersion from portals

The challenge of dispersion is how to dispose of the polluted or vitiated air in such a way that it does not cause unacceptable impacts in the zone locally to the tunnel.

Based on experience in most situations the dispersion via the tunnel portal does not necessarily result in exceeding the maximum concentration levels in areas with sensitive receptors local to the tunnel portal. Therefore, by far, the most common method for the dispersion of tunnel emissions is dispersing via the tunnel portals.

The acceptability of the portal dispersion performance will depend upon the



normes de qualité de l'air auxquelles il faut se conformer. La plus souvent, des émissions par les têtes sont considérées comme une manière acceptable de rejeter les polluants. Même pour certains tunnels d'une longueur relativement importante, ce type de rejet conduit à une qualité d'air acceptable au niveau des récepteurs sensibles, à la condition que ceux-ci soient à une distance suffisante ou soient situés de manière appropriée par rapport aux têtes.

4.3.2. Ventilation mécanique longitudinale et dispersion par les têtes

Dans les tunnels unidirectionnels, le trafic, combiné aux différences de pression (pression barométrique et vent) au niveau des têtes, génère un courant d'air qui, dans plupart des cas, est dirigé dans la même direction que le sens de circulation. Cela entraîne un profil de concentration à l'intérieur du tunnel tel qu'illustré à la **figure 3**.

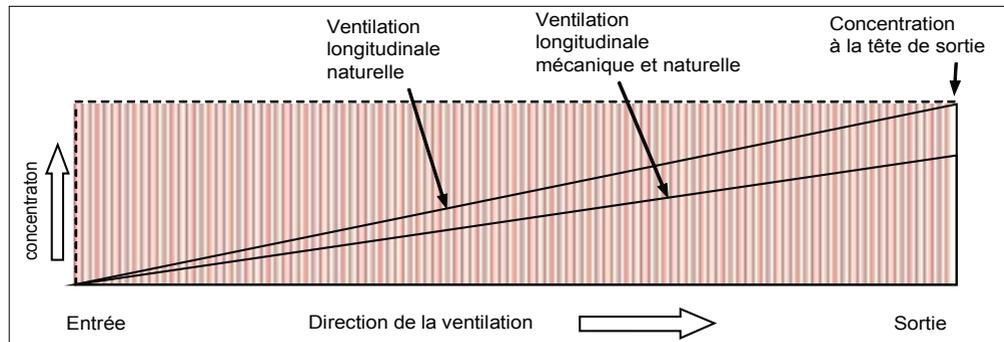


Figure 3. Profil de concentration « idéalisé » dans un tunnel à ventilation longitudinale (la réalité peut être sensiblement plus complexe).

Lorsque la vitesse de l'air est de l'ordre de 3 à 5 m/s, la ventilation mécanique longitudinale peut augmenter la vitesse de ventilation à environ 6 à 8 m/s. Cela a pour effet de diminuer la concentration au niveau de la sortie bien que les coûts environnementaux en termes de consommation d'énergie et la protection contre le bruit doivent être pris en compte.

Pour des raisons de sécurité et des considérations d'ordre énergétique, il n'est pas recommandé dans les tunnels unidirectionnels de ventiler contre le sens du trafic en vue de rejeter au niveau de l'entrée.

Dans les tunnels bidirectionnels, il est en principe possible d'utiliser un système de ventilation longitudinal pour contrôler la dispersion de l'air au niveau de l'une ou l'autre tête. Il convient néanmoins de prendre en considération les implications de sécurité.

air quality standards which must be met. Most commonly portal emissions are considered to be an acceptable way of dealing with the disposal of pollutants. Even for some long tunnels, disposal in this way may result in acceptable air quality at sensitive receptors provided they are at a sufficient distance or appropriately located relative to the portals.

4.3.2. Mechanical longitudinal ventilation and portal dispersion

In unidirectional tunnels the moving traffic in combination with pressure differences (barometric pressure and wind) on the tunnel portals causes an air stream, in most cases in the same direction as the traffic direction. This leads to a concentration profile inside the tunnel as shown in **Figure 3**.

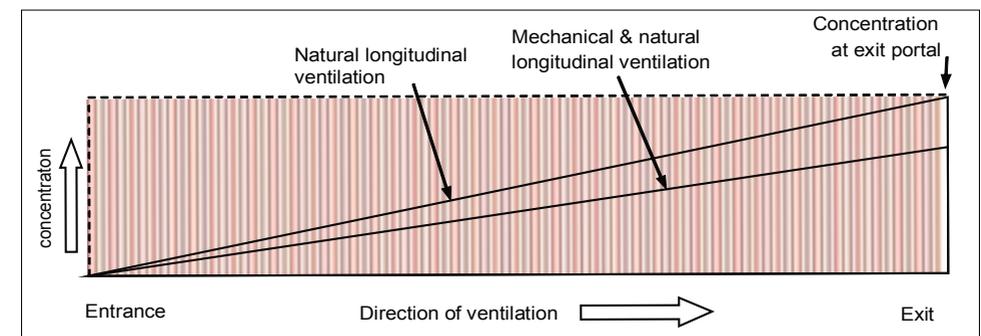


Figure 3. "Idealized" concentration profile in a longitudinal ventilated tunnel (reality may be substantially more complex)

Where air velocities are in the range of 3 – 5 m/s mechanical longitudinal ventilation can raise the ventilation velocity to approximately 6 – 8 m/s. This will lower the concentration at the exit portal although the environmental costs in terms of energy consumption and noise protection should be considered.

Due to safety concerns and energy considerations in unidirectional tunnels, it is not advised to ventilate against the direction of traffic in order to disperse at the entrance portal.

In bidirectional tunnels it is in principle possible to utilize the longitudinal ventilation system to control the dispersion of air at either portal. However the safety implications should be considered.



4.3.3. Dispersion par des cheminées

Globalement, on peut dire que collecter les émissions et les rejeter par des cheminées de ventilation constitue un moyen très efficace de disperser les polluants (voir **figure 4**). Des études comparatives montrent que ôter le trafic des routes encombrées en surface et évacuer la même quantité de pollution par une cheminée de par exemple 20 m conduit à des concentrations bien plus faibles au niveau de l'ensemble des récepteurs sensibles.

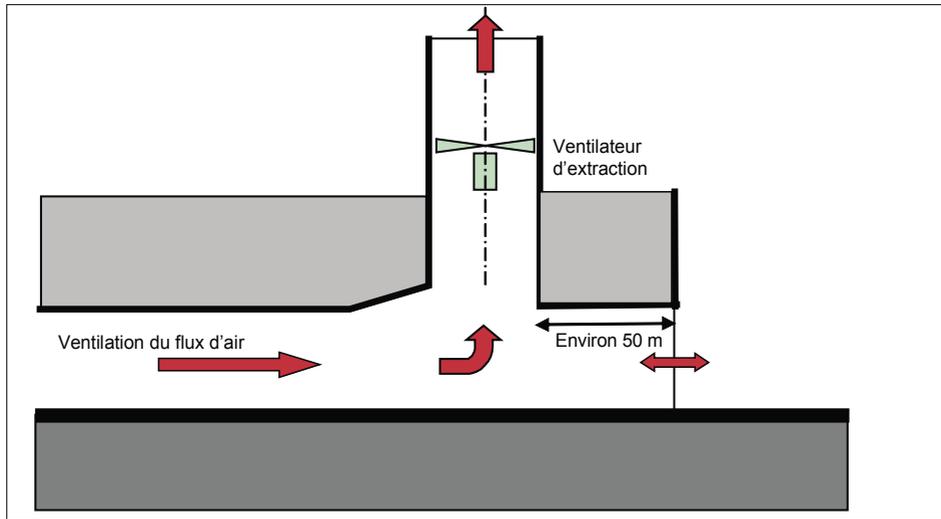


Figure 4. Illustrant d'une cheminée installée à proximité de la sortie

Les coûts environnementaux de régulation du flux d'air au niveau de la sortie (généralement par extraction) devraient être comparés avec les améliorations environnementales réellement obtenues (voir **figure 5**).

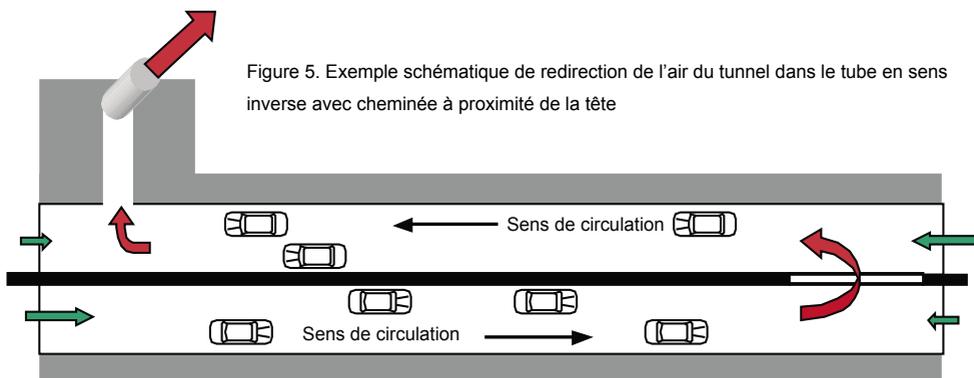


Figure 5. Exemple schématique de redirection de l'air du tunnel dans le tube en sens inverse avec cheminée à proximité de la tête

4.3.3. Dispersion from stacks

In broad terms, collecting emissions and venting them via ventilation stacks, as illustrated in **Figure 4**, is a very efficient way of dispersing pollutants. Comparative studies show that the process of removing surface traffic from heavily trafficked roads and disposing of the same amount of pollution from for example a 20 m stack results in substantially lower concentrations at all sensitive receptors.

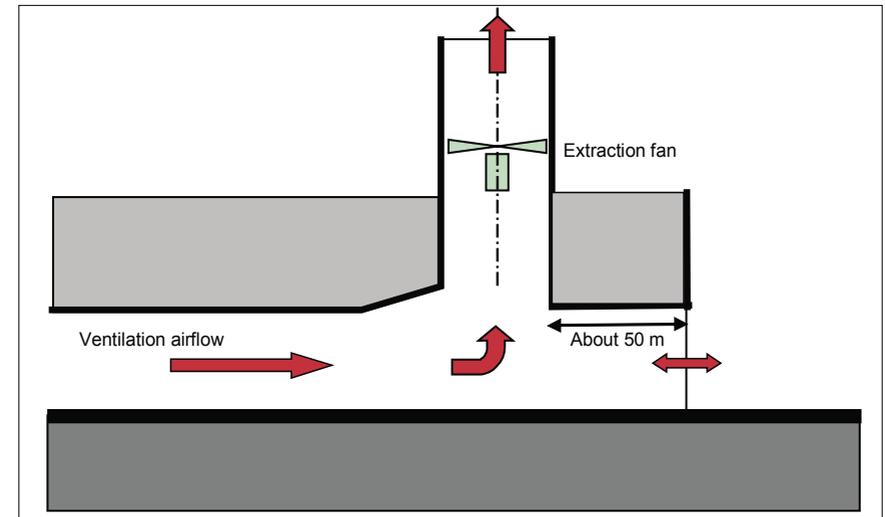


Figure 4. Illustrative schematic of stack near exit portal

The environmental costs of regulating the airflow at the exit portal (usually via extraction), as illustrated in **Figure 5**, should be balanced against the actual environmental improvement achieved.

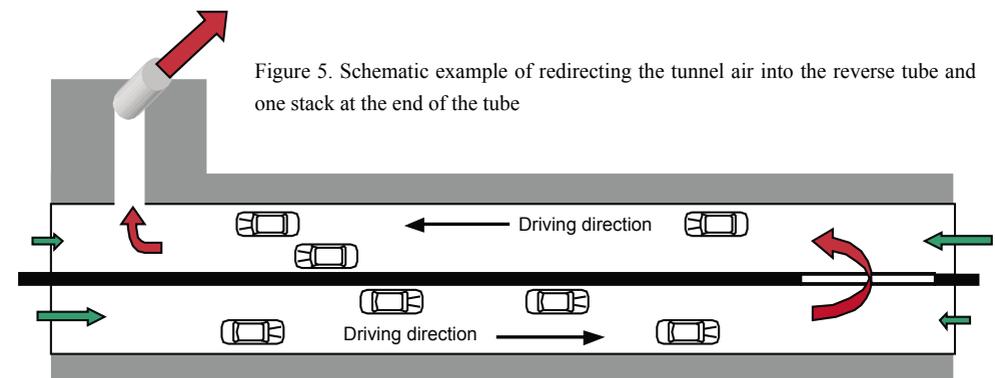


Figure 5. Schematic example of redirecting the tunnel air into the reverse tube and one stack at the end of the tube



La plupart des tunnels à ventilation transversale peuvent être équipés d'au moins deux cheminées au niveau des têtes en vue de réduire l'énergie nécessaire pour la ventilation.

Seuls de rares ouvrages sont équipés d'une seule cheminée. Cette solution aux problèmes environnementaux pose des problèmes en termes de sécurité et d'exploitation en raison des conséquences potentielles sur les personnes qui se trouvent dans le tube intact en cas d'incendie dans l'autre tube.

Des cheminées multiples peuvent être utilisées pour répartir la pollution sur plusieurs points de rejet, en évitant des concentrations très élevées au même endroit (voir **figure 6**). Des facteurs de complication tels que le terrain ou des bâtiments élevés peuvent limiter les possibilités d'implantation de ces cheminées.

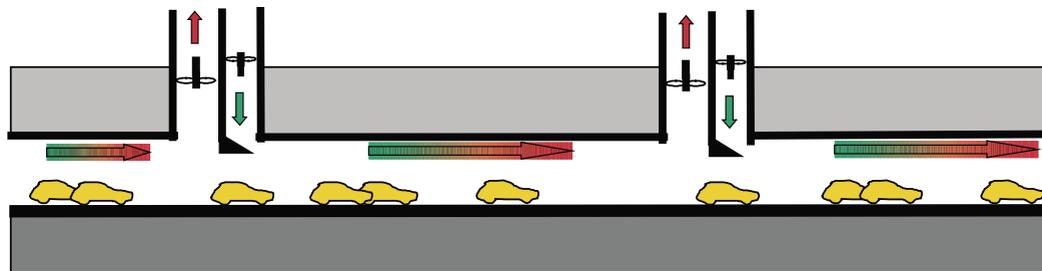


Figure 6. Exemple de système d'échange d'air à cheminées multiples pour des tunnels très longs ou à forte demande en ventilation. Cette disposition peut également être intégrée dans des systèmes de ventilation semi-transversaux.

N.B. : Le courant d'air longitudinal peut être produits par différentes techniques, notamment des injecteurs à effet Saccardo et éventuellement par des accélérateurs supplémentaires.

4.3.4. Dispersion par des ouvertures

Des ouvertures peuvent être utilisées pour assurer la ventilation naturelle d'un tunnel. La position et les dimensions des ouvertures doivent être calculées pour obtenir une qualité d'air acceptable à proximité de chaque ouverture et des têtes du tunnel. Cette disposition est intéressante si l'installation de cheminées est impossible ou non souhaitée. Elle n'offre pas d'avantage sensible par rapport à une route en surface du point de vue de la pollution de l'air bien qu'elle puisse offrir d'autres avantages tels que la réduction du bruit et plus d'agréments d'ordre social.

Certains principes et exemples sont fournis par les **figures 7 et 8**, page suivante.

Most transverse ventilated tunnels may have at least two portal stacks to reduce the power demand for ventilation.

Only very exceptional designs use one stack. This solution to environmental issues is problematic in terms of safety and operation because of its potential consequences on people in the non incident tube in the case of a fire.

Multiple stacks are an option to spread the load of pollution over several dispersion points avoiding very high concentrations in one place as illustrated in **Figure 6**. Complicating factors such as terrain and high rise buildings can severely limit the location of stacks.

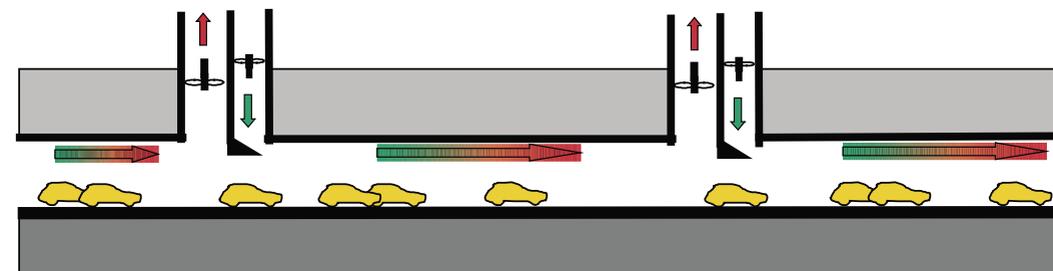


Figure 6. Example of multiple stacks air exchange system for very long tunnels, or those with high ventilation demands. These stacks may also be included in semi transverse systems.

NB: The longitudinal air stream can be activated by techniques including Saccardo-injectors and possibly by additional jet fans.

4.3.4. Dispersion by slots

Open slots provide an opportunity to vent a tunnel by natural ventilation. The position and dimensions of the slots should result in acceptable air quality near each slot and the tunnel portals. The option provides a favourable solution if stacks are impossible or undesirable. This option does not provide a substantial benefit over an open roadway from an air pollution point of view although it may have other benefits such as reduced noise and improved social amenity.

Some principles and examples are presented in **Figures 7 and 8**, following page.

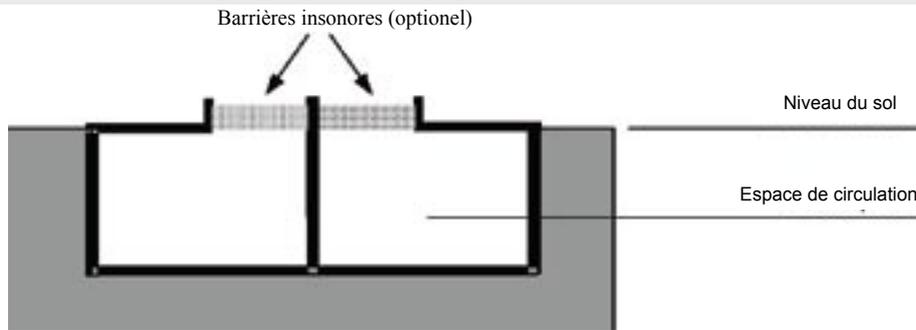


Figure 7. Exemple schématique d'ouvertures pratiquées dans le plafond avec atténuateurs de bruit

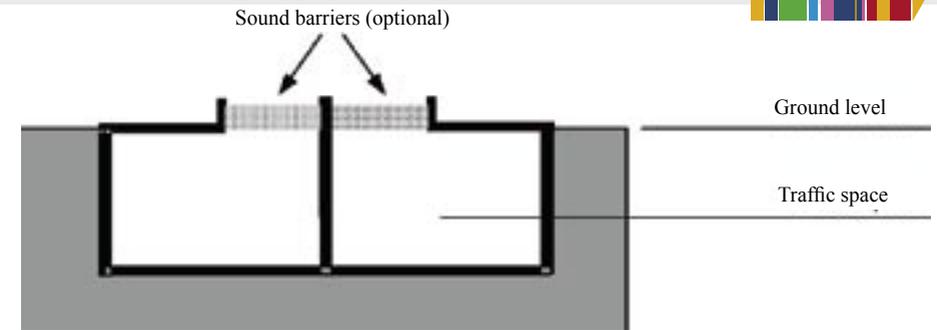


Figure 7 Schematic example of slots in the roof, including sound attenuators

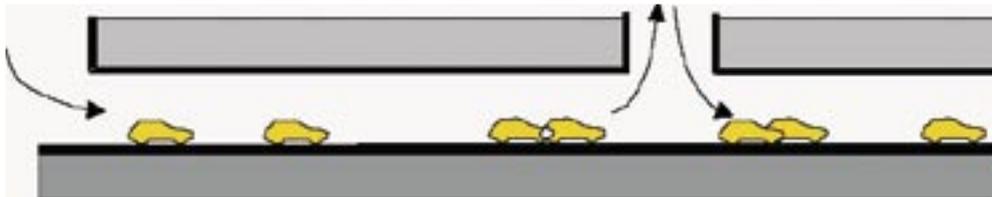


Figure 8. Ventilation naturelle au moyen de grandes ouvertures

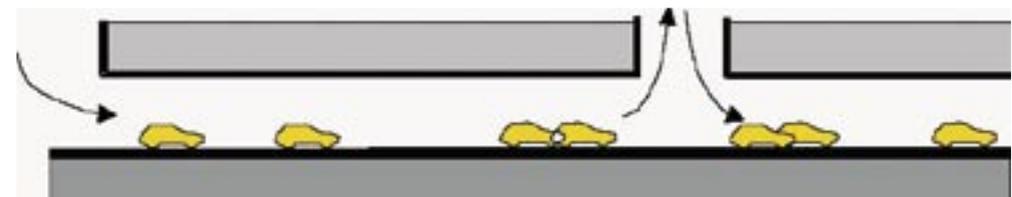


Figure 8 Natural ventilation by using large gaps

L'utilisation de grandes ouvertures pratiquées dans le plafond d'un tunnel offre la possibilité d'échanger de grands volumes d'air lors d'un incendie. Bien que la dispersion des polluants soit similaire à une route de surface, les performances du tunnel en termes de sécurité et de lutte contre l'incendie se révèlent largement supérieures par rapport à un tunnel traditionnel (voir [figures 9 et 10](#)).

The use of large openings in the tunnel roof provides opportunities for large volumes of air to be exchanged in a fire. Although dispersion of contaminants is similar to a surface road, the performance of the tunnel in terms of fire safety is vastly superior to a conventional tunnel. See [Figures 9 and 10](#) for examples of tunnel using gaps in the roof.

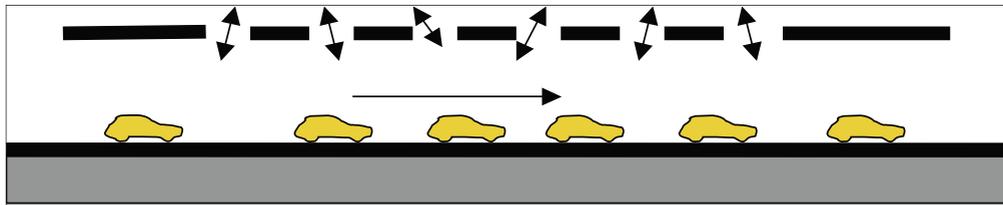


Figure 9 Ventilation naturelle par petites ouvertures multiples dans le plafond

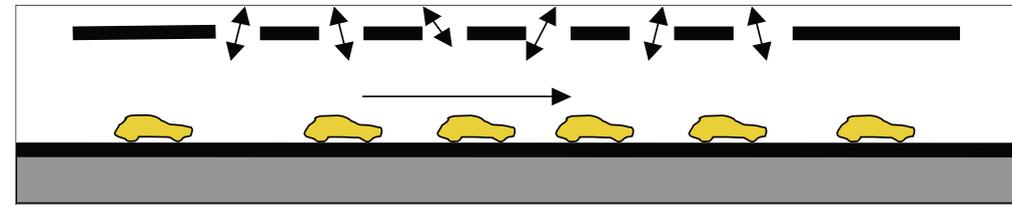


Figure 9. Natural ventilation by using small repeating gaps in the roof



Figure 10 Exemples d'ouvertures dans le plafond – tunnel Sendai au Japon

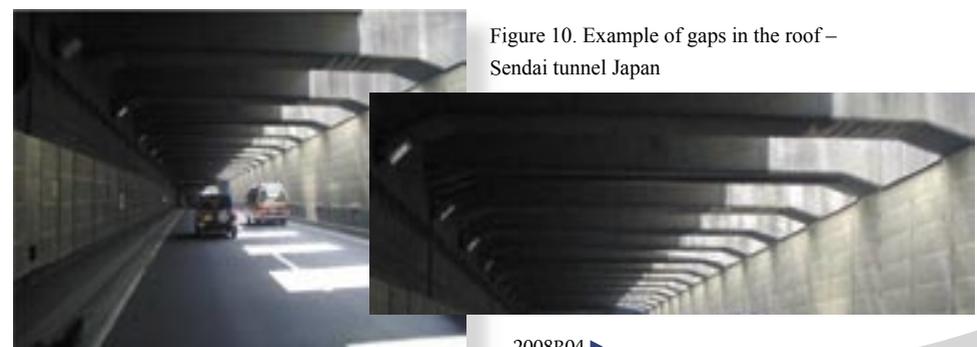


Figure 10. Example of gaps in the roof – Sendai tunnel Japan