

## 12.4 Trappes d'extraction des fumées

### 12.4.1 Introduction

Parmi les moyens utilisés pour combattre les incendies dans les tunnels routiers, il faut accorder une grande attention aux équipements de maîtrise des fumées, tant du point de vue économique que stratégique.

Les équipements de maîtrise des fumées ont pour buts principaux de :

- assurer la protection des usagers et des intervenants de secours contre les effets toxiques des fumées et l'exposition à des températures élevées,
- maintenir les conditions de bonne visibilité nécessaires pour l'évacuation des usagers du tunnel et l'intervention des équipes de secours,
- améliorer la résistance de la structure du tunnel à des températures excessivement élevées.

Les types de maîtrise des fumées dépendent du choix du système de ventilation : naturelle, longitudinale, transversale ou hybride ; ils sont décrits dans les publications AIPCR, par exemple les références 2 et 15.

La présente annexe concerne l'utilisation de l'extraction des fumées dans les systèmes de ventilation transversale ou semi-transversale, sur la base des trois principes suivants :

- réaliser une extraction concentrée des fumées le plus efficacement possible par extraction au niveau du plafond,
- maintenir la stratification naturelle des fumées et préserver le plus possible des conditions d'absence totale des fumées au niveau de la chaussée,
- dans les tunnels de grande longueur, confiner les fumées à proximité du foyer, en appliquant des pressions élevées dans les zones situées de chaque côté de l'incendie.

Les systèmes d'évacuation des fumées de ce type sont normalement pourvus d'une conduite d'extraction, avec des bouches pour capter les fumées, reliées aux ventilateurs d'extraction.

Dans le passé, l'air vicié était aspiré sur toute la longueur de la section de ventilation jusque dans la gaine d'air vicié, au travers de petites bouches de 0,1 m<sup>2</sup> placées à intervalles de 2 à 15 m. Ce système était dimensionné pour que la qualité de l'air reste uniforme dans le tunnel. Dans le cas d'un incendie, il était également utilisé pour extraire la fumée, mais il a été démontré que l'efficacité de captage de ce type de système est faible, la capacité d'extraire les fumées en certains points distincts étant trop réduite. Dans de tels cas, il est préférable d'utiliser des bouches de superficie jusqu'à 15 m<sup>2</sup>, placées à intervalle de 50 à 100 m, et de n'ouvrir en cas d'incident que celles se trouvant au droit du foyer. Des trappes télécommandées permettent d'ouvrir et de fermer chacune de ces bouches.

## 12.4 Smoke Dampers

### 12.4.1 Introduction

Among the means used to fight fires in road tunnel, smoke control systems are important economic and strategic considerations.

The main purposes of smoke control systems are to:

- assure the protection of users and emergency responders against the toxic effects of smoke and exposure to high temperatures,
- maintain conditions of good visibility necessary for the evacuation of the tunnel users and the intervention of the emergency responders,
- improve the resistance of the tunnel structure against excessively high temperatures.

The types of smoke control depend on the choice made for the ventilation system: natural, longitudinal, transverse and hybrid, and are described in PIARC publications such as references 2 and 15.

This appendix concerns the use of smoke extraction in transverse or semi-transverse ventilation systems designed for smoke control that are based upon the following three principles:

- Achieve a concentrated smoke extraction at the highest possible efficiency by mean of extraction at ceiling level,
- Maintain the natural stratification of smoke and preserve largely smoke-free conditions at road level,
- Confine smoke, in longer tunnels, to a section of the tunnel near to the fire, by applying higher pressures in the zones situated to each side of the fire.

Smoke removal systems of this type will usually have a smoke extract duct, with openings for the capture of smoke, connected to extract fans.

Historically, polluted air was extracted in the whole ventilation section through small openings in the extract duct, each with a face area of about 0.1m<sup>2</sup>, and set at intervals of 2 to 15 m. This system was designed for a uniform in-tunnel air quality. It was also used, in the event of fire, to extract the smoke but it has been shown that the capture efficiency of this type of system is low, as the capacity to extract smoke at certain distinct locations is too small. In such cases it is better to use openings with face areas up to 15 m<sup>2</sup> and set at intervals of 50 to 100 m, and to open in the incident case only those at the fire location. Remotely controlled dampers handle the opening and closure of each of the openings.

Les trappes télécommandées peuvent aussi être utilisées en cours d'exploitation normale pour extraire l'air vicié. Une partie du courant d'air de ventilation peut être aspiré à l'intérieur du tunnel soit en ouvrant certaines trappes, soit en ouvrant partiellement l'ensemble des trappes.

La présente annexe a pour but premier de décrire les trappes d'extraction couramment utilisés dans les systèmes d'extraction, ainsi que leurs caractéristiques, les spécifications, les règles d'installation et les essais auxquels elles doivent être soumises. Egalement de donner quelques exemples d'application.

Les trappes d'extraction sont normalement installées sur une gaine d'air vicié. Leur commande peut être associée à une ou plusieurs zones de ventilation, en fonction de la longueur du tunnel.

Les trappes d'extraction doivent être distinguées des dispositifs que l'on peut installer sur des ouvertures de grande dimension (100 m<sup>2</sup> ou plus), qui sont parfois utilisées pour établir une liaison entre le tunnel et l'air libre extérieur. Ces ouvertures sont équipées d'un dispositif de fermeture, fermé en exploitation normale pour éviter tout échange de pollution et protéger l'environnement, et ouvert en cas d'incendie pour limiter les mouvements des fumées à l'intérieur du tunnel.

#### 12.4.2 Travaux antérieurs de l'AIPCR

Le problème des incendies en tunnel routier a fait l'objet d'une présentation détaillée dans la publication AIPCR « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers » [2] et dans d'autres parties du présent rapport.

#### 12.4.3 Objectifs des trappes d'extraction des fumées

Les incendies qui se sont produits récemment dans des tunnels ont mis en lumière les points suivants :

- les fumées produites par les incendies sont très toxiques et peuvent être la cause principale de décès chez les usagers,
- la stratification est une caractéristique utile des fumées chaudes dans les tunnels bidirectionnels, mais elle ne peut pas être maintenue sur une grande partie du tunnel et ne se produit que si la vitesse longitudinale de l'air reste inférieure à 2,5 à 3 m/s.

The controlled dampers can also be used during normal operations to extract polluted air. A part of the ventilating airflow can be extracted within the tunnel either by opening some of smoke dampers or by opening partially all the dampers.

The primary purpose of this appendix is to describe the smoke dampers typically employed in smoke extraction systems, and their characteristics, specifications, rules of installation and tests they must pass. In addition to give some examples of their application.

The smoke dampers are typically installed in an extract duct. The control of the dampers may be associated with one or more ventilation zones, depending upon the length of the tunnel.

The smoke dampers should be distinguished from the devices that can be used in large openings (of about 100m<sup>2</sup> or more) that are sometimes used to make a connection between the tunnel and atmosphere. These opening are fitted with a closing device, closed in normal operation to prevent pollution exchange and protect the environment and open in the event of fire to limit the movement of smoke within the tunnel.

#### 12.4.2 Previous Work by PIARC

The problem of fires in road tunnels has been presented in detail in the PIARC Publication entitled "Fire and Smoke Control in Road Tunnels" [2] and elsewhere in this report.

#### 12.4.3 Smoke Damper Objectives

Recent fires in tunnels highlight the following points:

- smoke produced by fires is very harmful and is the main cause of death among users,
- stratification is a useful characteristic of hot smoke in bi-directional tunnels, but it cannot be maintained throughout a larger portion of the tunnel and occurs only if the longitudinal air velocity is maintained below 2.5 to 3m/s,

- même si la commande de la vitesse longitudinale de l'air est efficace, il peut se produire une dé-stratification à quelques centaines de mètres du foyer. L'expérience a montré que si la vitesse longitudinale des fumées n'est pas contrôlée de façon satisfaisante, des effets transitoires se produisent avant que le contrôle des fumées ne démarre, et les caractères propres à certains incendies (écoulement important de fumées refroidies) peut encore raccourcir cette distance.
- si la production de fumée est importante, et ce même avec une bonne stratification, la couche de fumée peut atteindre une épaisseur telle que le tunnel est pratiquement entièrement rempli.

Il est évident que, pour un flux d'extraction donné, l'efficacité de la maîtrise des fumées est meilleure si ces fumées sont extraites avant d'être diluées. Les mécanismes de dilution incluent le mélange naturel des fumées, l'effet de pistonement des véhicules en mouvement, la force ascensionnelle de l'incendie lui-même, ainsi que les perturbations dues aux différences des conditions météorologiques aux deux entrées.

Le mode d'extraction le plus efficace à proximité du foyer consiste à ouvrir les clapets dans la zone de l'incendie.

L'exploitation des systèmes de maîtrise des fumées en tunnel est normalement supervisée par un Poste de contrôle et de commande situé à distance (PCC), d'où partent les réactions requises pour les différents incidents. Dans les tunnels sans PCC, les trappes d'extraction peuvent être déclenchées par le système de détection d'incendie. Il est donc absolument nécessaire que ce système de détection identifie l'emplacement exact du foyer d'incendie.

Les trappes d'extraction peuvent être utilisées en exploitation normale. Il peut arriver que le flux d'air frais fourni dans le tunnel par le système de ventilation soit trop important pour n'être évacué que par les têtes. Dans ces conditions, des vitesses excessivement élevées du courant d'air en tunnel peuvent gêner les usagers et aussi imposer des charges très importantes aux ventilateurs d'air frais. De l'air vicié peut alors être aspiré hors du tunnel au moyen des trappes et relâché dans l'atmosphère d'une façon maîtrisée et non uniquement par les têtes.

- even with an efficient control of longitudinal air speed, de-stratification can happen a few hundred meters from the fire. Experience shows that, if the longitudinal velocity of the smoke is not controlled satisfactorily, transient effects which occur before starting smoke control, and the particular features of some fires (large flow of cooled smoke) can make these distances much shorter,
- if the production of smoke is large, even with good stratification, the thickness of the smoke layer can be such that the tunnel is nearly completely filled.

It is clear that for a given extract flow, the efficiency of smoke control will be higher if the smoke is extracted before being diluted. The mechanisms for dilution include the natural mixing of the smoke, the piston effect of moving vehicles, the buoyancy of the fire itself, and disturbances caused by differences in the meteorological conditions at the two portals.

The most efficient extraction in the vicinity of fire is achieved by opening smoke dampers in the selected fire zone.

The operation of smoke control systems in tunnels is usually supervised from a Remote Control Centre (RCC), where the required response for the particular incident originates. For tunnels without RCC, the control of smoke dampers may be prompted by the fire detection system. It is therefore absolutely necessary that the fire detection system identifies the precise location of the fire.

The smoke dampers can also be used during normal operations. The flow of fresh air delivered by the ventilation system to the tunnel may be too large to be discharged only through the tunnel portals. Under these conditions, excessively high airflow velocities in the tunnel can impose heavy loads on the fresh air supply fans. In such a case, polluted air can be extracted from the tunnel using the dampers and discharged to atmosphere in a controlled manner and not indiscriminately through the portals.

#### 12.4.4 Caractéristiques de fonctionnement

##### ***Base de dimensionnement***

Il est nécessaire de définir les caractéristiques de fonctionnement des trappes afin d'optimiser l'extraction des fumées en limitant le nombre de trappes utilisées.

Ces caractéristiques incluent :

- les caractéristiques de fonctionnement du flux et de la vitesse sur chaque trappe,
- les caractéristiques géométriques : dimensions, forme et emplacement des trappes,
- système de fonctionnement : coulissant, rotatif, avec lames parallèles
- nombre de points d'extraction.

Les recommandations présentées sont basées sur :

- les études sur modèles physiques ;
- les résultats des essais en grandeur réelle dans les tunnels équipés de clapets anti-fumée ;
- les études et simulations numériques par simulation 3D (CFD) ;
- les essais en grandeur réelle effectués sur les prototypes de clapets en Suisse dans le tunnel du San Bernardino ;
- les essais en grandeur réelle effectués sur des clapets en Autriche et en France (tunnels du Tauern, Katschberg, Pfaeder, Gleinalm Bosruck, Chamoise, Fréjus, Orelle et Mont Blanc).

##### ***Données expérimentales***

###### Essais sur modèles physiques

Des essais sur modèles physiques ont été réalisés en France en 1993.

Deux maquettes à échelle 1/15 ont été construites, l'une pour une série d'études sur l'autoroute A14 pour l'« Etablissement Public pour l'Aménagement de la Région de la Défense » (EPAD), l'autre dans un but plus général dans le cadre du programme de recherche du Centre d'Etudes des Tunnels (CETU) [62].

Une étude avait été conduite précédemment sur un modèle hydraulique à échelle 1/68, dans laquelle la fumée était simulée par de l'eau salée injectée dans de l'eau pure. La prise en compte de la similarité dynamique avait conduit à mettre au point ce modèle, qui a été remplacé par des modèles aérodynamiques à échelle 1/15. Les modèles aérodynamiques ont donné des taux de densité et un nombre de Froude équivalents, tout en maintenant un nombre de Reynolds élevé. La fumée était simulée par un mélange d'hélium et d'azote selon la même densité que l'air chaud produit par l'incendie.

#### 12.4.4 Functional Characteristics

##### ***Basis of Design***

It is necessary to define the functional characteristics of the smoke dampers in order to optimise the smoke extraction by limiting the number of smoke dampers used.

The characteristics include:

- functional characteristics of flow and speed in each smoke damper,
- geometric characteristics; size, shape and location of smoke dampers,
- working system: sliding, rotating, with parallel blades,
- number of extraction points.

The recommendations presented are based on:

- studies on physical models,
- results of full-scale tests undertaken in tunnels equipped with smoke dampers,
- studies and numerical simulations by 3-dimensional simulations (CFD),
- full-scale tests carried out for types of prototype dampers in Switzerland in the San Bernardino tunnel,
- full scale tests of dampers in various tunnels in Austria and in France (Tauern, Katschberg, Pfaeder, Gleinalm Bosrucktunnel, Chamoise, Frejus, Orelle and Mont Blanc).

##### ***Experimental Data***

###### Tests on Physical Models

Tests on physical models were made in France in 1993.

Two models at 1/15 scale have been made, one in the series of studies for Highway A14 for the “Etablissement Public pour l’Aménagement de la Région de la Défense” (EPAD), the other with a more general purpose in the research programme of Centre d’Etudes des Tunnels (CETU) [62].

An earlier study was carried out on a hydraulic model at 1/68 scale in which smoke was simulated by salt water injected into pure water. The consideration of dynamic similarity led to this model being replaced by aerodynamic models at 1/15 scale. The aerodynamic models provided equivalent ratios of density and Froude number while maintaining a high Reynolds number. Smoke was simulated by a mixture of helium and nitrogen at the same density as the hot air produced by the fire.



Une série de 130 essais a été effectuée sur différents panaches stratifiés de fumée pour tester un certain nombre de configurations de clapets anti-fumée et de conditions de flux en tunnel.

En Autriche, différents essais ont été réalisés sur des maquettes à échelle 1/15.

Ces essais avaient pour but de :

- optimiser la géométrie des clapets anti-fumées : emplacement, forme, section, intervalle,
- optimiser le flux dans chaque clapet,
- estimer l'efficacité d'extraction du système et la résistance de flux des clapets,
- estimer l'influence du courant d'air longitudinal sur l'efficacité d'extraction,
- estimer l'influence de l'introduction d'air frais dans le tunnel simultanément à l'extraction,
- comparer les clapets anti-fumée à des bouches plus petites réparties.

#### Simulations utilisant la CFD

Des simulations CFD ont été effectuées dans différents pays pour vérifier le comportement des fumées et les conditions d'extraction. Les paramètres des essais étaient les suivants :

- puissance de feu : 30 et 100 MW
- section du clapet anti-fumée : 2 m<sup>2</sup>, 4 m<sup>2</sup>, 8 m<sup>2</sup>
- flux d'extraction : 120 m<sup>3</sup>/s, 160 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s
- distance entre les clapets anti-fumée : 50 m, 100 m, 200 m
- nombre de clapets ouverts : 2-3-5-7
- longueur de section avec clapets ouverts : 200 m, 300 m, 400 m
- déclivité du tunnel : 0 %, 4 %, 6 %
- lieu d'extraction : au plafond du tunnel ou sur les côtés

#### Essais in situ

De nombreux tunnels sont équipés à présent de clapets anti-fumée télécommandés (voir sous-chapitre « 12.4.8 Exemples concrets »).

Des essais de fumées chaudes ont été réalisés sur le site pour vérifier les performances des systèmes d'extraction.

Les études incluent aussi la comparaison de différents types de clapets. Des essais ont été effectués en Suisse sur quatre prototypes différents de clapets anti-fumée pour le tunnel du San Bernardino afin de comparer leurs avantages et leurs inconvénients. Ces essais ont concerné :

- deux prototypes de clapets rotatifs provenant de fabricants différents,
- un prototype avec lames parallèles,
- un prototype de clapet coulissant.

A series of 130 tests has been made to test a range of configurations of smoke dampers and flows conditions in tunnels.

Various tests have been performed for 1/15 models in Austria.

The purpose of these tests was to:

- optimise the geometry of smoke dampers; location, shape, section, interval,
- optimise the flow through each damper,
- estimate the extract efficiency of the system and the flow resistance of the dampers,
- estimate the influence of longitudinal air flow on extract efficiency,
- estimate the influence of introducing fresh air into the tunnel simultaneously with extraction,
- compare smoke dampers with smaller distributed openings.

#### Simulations Using Computational Fluid Dynamics (CFD)

CFD simulations have been made in various countries to verify smoke behaviour and extraction conditions. The test parameters were:

- Fire power: 30 and 100 MW
- Smoke damper section: 2 m<sup>2</sup>, 4 m<sup>2</sup>, 8 m<sup>2</sup>
- Extraction flow: 120 m<sup>3</sup>/s, 160 m<sup>3</sup>/s, 300 m<sup>3</sup>/s
- Spacing between smoke dampers: 50 m, 100 m, 200 m
- Number of open smoke dampers: 2-3-5-7
- Length of section with open smoke dampers: 200 m, 300 m, 400 m
- Tunnel slope: 0%, 4%, 6%
- Extraction location: in the tunnel ceiling or at the tunnel side

#### Tests on Site

Numerous tunnels are now equipped with remote controlled smoke dampers (see Subsection “12.4.8 Case Histories”).

Hot smoke tests have been carried out on site to verify the performance of the smoke extract systems.

Studies also include the comparison of different types of smoke dampers. Tests on four different prototype smoke dampers have been made in Switzerland in the San Bernardino Tunnel to compare their advantages and disadvantages. Tests have been made on:

- two prototype rotating dampers from different manufacturers,
- one prototype of a damper with parallel blades,
- one prototype of a sliding damper.

Dans le tunnel autrichien, les essais visaient à étudier les effets de l'ouverture d'un ou de plusieurs clapets. Ils ont en outre été effectués sur des clapets à lames parallèles afin d'estimer les effets de l'ouverture des lames.

### **Caractéristiques du système d'extraction**

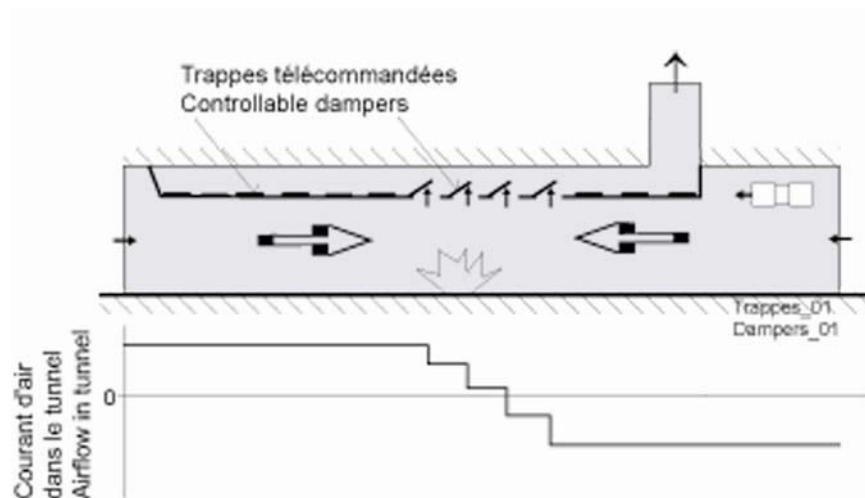
#### Généralités

Le débit total à extraire et la longueur de tunnel sur laquelle il doit être extrait dépendent de la dimension de l'incendie de dimensionnement, ainsi que des caractéristiques de la circulation et du tunnel. Des recommandations sont données dans AIPCR [2].

La stratégie de ventilation consiste à confiner les fumées sur une longueur donnée du tunnel, la zone d'incident. Elle se trouve compliquée par les courants d'air induits par la température de l'air, les conditions météorologiques et le trafic ; les courants d'air peuvent faire se déplacer les fumées le long du tunnel et provoquer leur déstratification.

Le choix de la valeur du flux d'extraction et le dimensionnement du système de ventilation (nombre de cantons de ventilation, flux d'alimentation et d'extractions des autres cantons, utilisation possible d'accélérateurs pour la maîtrise de la vitesse de l'air) doivent donc permettre l'optimisation du rendement du système.

La création d'un point de convergence de la vitesse ou point nul dans la zone de l'incident est une caractéristique intéressante de la stratégie de ventilation (figure 12.4.1).



**Figure 12.4.1 - Courant d'air dans un tunnel avec des trappes télécommandées**

Les débits extraits sont un point important. Pour un incendie de 30 MW, il faut avoir un débit à l'extrémité de la gaine d'aspiration d'au moins  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  et si possible de  $160$  à  $240 \text{ m}^3/\text{s}$ . Ce choix doit prendre en compte la section du tunnel et la vitesse longitudinale de l'air qui en résulte. Le courant d'air sur le ventilateur de sortie doit naturellement être supérieur en raison des pertes dans la gaine d'aspiration ainsi que sur les clapets fermés.

In the Austrian tunnel, tests have been undertaken to investigate the effects of opening one or more dampers. In addition, tests have been undertaken on the parallel bladed dampers to assess the effects of blade opening angle.

### ***Extracting System Characteristics***

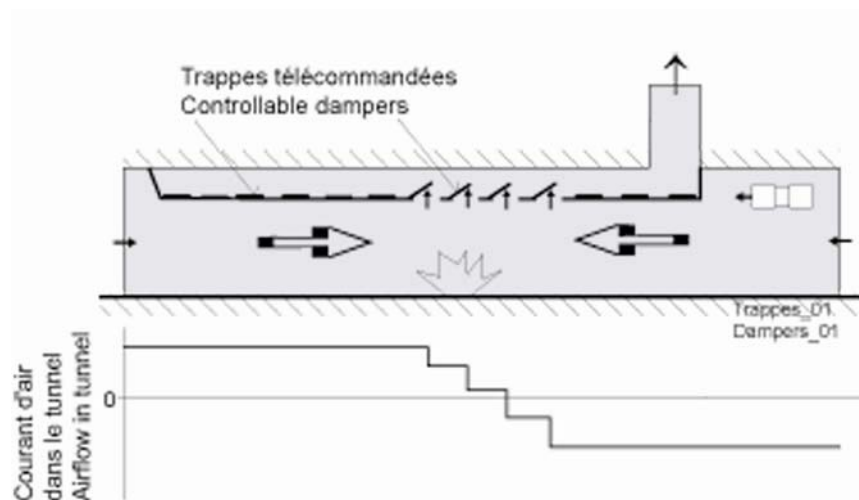
#### **General**

The total flow to be extracted, and the length of the tunnel over which it has to be extracted depends on the size of the reference fire, and on traffic and tunnel characteristics. Recommendations are given in PIARC [2].

The ventilation strategy is to confine the smoke to a given length of the tunnel; the incident zone. The strategy is complicated by airflows induced by air temperature, meteorological conditions and traffic; airflows that can cause the smoke to move along the tunnel and to de-stratify.

The choice of the value of the extract flow and the design of the ventilation system (number of ventilation sections, supply and extract flows on other ventilation sections, possible use of jet fans for air speed control) must therefore be arranged to optimise the performance of the system.

The creation of a velocity convergence point or null point in the incident zone is a useful feature of the ventilation strategy (See Figure 12.4.1).



**Figure 12.4.1 - Tunnel airflow with controllable dampers**

The volumes of the extracted flow is an important point. For a 30 MW fire, extract airflows at the far end of the exhaust duct of at least  $110 \text{ m}^3/\text{s}$  and if possible  $160 \text{ m}^3/\text{s}$  to  $240 \text{ m}^3/\text{s}$  should be used. The choice must take in account the tunnel section and the consequence for the longitudinal air speed. Of course, the airflow at the exhaust fan must be higher because of leakages in the exhaust duct as well as in the closed dampers.

On peut avoir recours à des simulations sur ordinateur pour définir des scénarios d'incendie et évaluer la sensibilité du contrôle des flux d'extraction, le nombre de trappes d'extraction ouvertes, les différents régimes de ventilation dans les autres sections du tunnel, l'utilisation possible d'accélérateurs, en fonction de position de l'incendie et de la ventilation naturelle.

Le dimensionnement du système de ventilation doit prendre en compte les éléments suivants :

- on ne connaît pas toujours avec précision le lieu de l'incendie et le système doit conserver son efficacité en prenant en considération cette incertitude,
- il faut maîtriser la vitesse et la direction des mouvements de la fumée,
- il faut prendre en considération le cas d'une défaillance mécanique,
- dans le cas où plusieurs clapets sont ouverts, les taux d'extraction doivent rester équilibrés entre les bouches,
- le système doit prendre en compte des conditions météorologiques variables et doit réagir de façon suffisamment robuste pour tolérer ces variations sans perte d'efficacité inutile.

En Europe, un grand nombre de tunnels ont été équipés de trappes d'extraction. De nombreux pays ont adopté la solution d'ouvrir plusieurs clapets situés dans des zones ou des cantons adjacents (1 à 4 m<sup>2</sup>) de chaque côté du foyer sur la longueur sélectionnée pour limiter la zone affectée par l'incident (normalement de l'ordre de 200 à 400 m). La solution préférée en Autriche consiste à pratiquer l'extraction en un point unique de la zone d'incident (clapet le plus proche du foyer). Les clapets ont une section comprise entre 9 et 12 m<sup>2</sup>.

Un grand nombre de tunnels anciens sont en cours de restauration et sont alors équipés de trappes d'extraction. Les contraintes qui résultent de l'installation d'un nouvel équipement sont qu'il n'est pas toujours possible d'adopter la solution qui aurait été choisie pour un nouveau tunnel et que des compromis sont toujours nécessaires.

#### Vitesse de l'air dans les trappes d'extraction et dans la section transversale

Le dimensionnement des trappes dépend de deux paramètres décisifs. L'un est la section transversale de la bouche, l'autre la vitesse du courant d'air dans les trappes.

Computer-based simulations can be used to help establish fire scenarios and to assess the sensitivity of control of extract flows, the number of open smoke dampers, different ventilation regimes on other tunnel sections, the possible use of jet fans, with the variation of fire location and natural ventilation.

The design of the ventilation system must take into account the following elements:

- the fire location is not always known precisely and the system must maintain its efficiency considering this uncertainty;
- the velocity and the direction of smoke movement must be monitored;
- the case of a mechanical failure has to be considered;
- in the case that several smoke dampers are opened, the extraction airflow rates must remain balanced between the openings;
- the system must consider variable meteorological conditions and should be sufficiently robust in its response to tolerate these variable conditions without an undue loss of effectiveness.

Many tunnels in Europe have been equipped with smoke dampers. In many countries the adopted solution is to open several dampers of adjacent zones or sections (1 to 4 m<sup>2</sup>) on each side of the fire over the length selected to limit the incident zone (typically in the range of 200 to 400 m). In Austria the preferred solution is to extract at a single point in the incident section of the tunnel (damper closest to the fire location). Damper cross sections are between 9 and 12 m<sup>2</sup>.

Many old tunnels are undergoing refurbishment and are being equipped with smoke dampers. The constraints of retrofitting the equipment mean that it is not always possible to adopt the solution that would have been carried out for a new tunnel and compromises are usually necessary.

#### Air Velocity Through Smoke Dampers and Cross-Sectional Area

There are two decisive parameters in the design of dampers. One is the cross section of the opening, and the second is the airflow velocity through the dampers.

Les dimensions des trappes dépendent du nombre de trappes ouvertes en cas d'incendie. Pour définir le taux optimum d'extraction, il est recommandé d'obtenir approximativement une surface totale d'ouverture de trappe égale à la section transversale de la gaine d'air vicié. Si la superficie des trappes ouvertes est plus petite, une accélération de courant d'air dans les trappes induit une décélération dans la gaine, donc une perte de pression.

Dans le cas où une seule trappe est ouverte, la section transversale de celle-ci doit être au moins égale à la section transversale de la gaine d'air vicié. Si l'on ouvre plus d'une seule trappe, la résistance des trappes doit être adaptée pour éviter que la plus grande partie des fumées soit aspirée par la trappe la plus proche du foyer. Les essais dans les tunnels du Karawanken et de Schmitten ont montré que l'ouverture de trois trappes, présentant chacun un taux de section transversale supérieur à un, et sans augmenter la résistance des trappes, conduit à faire passer au moins 50 à 60 % de l'air extrait par la trappe la plus proche du ventilateur. Les flux peuvent être équilibrés en augmentant la résistance de chaque trappe, comme il est démontré dans le sous-chapitre « *Coefficient de perte de charge* ».

La dimension réduite des trappes et des gaines minimise l'ampleur des travaux, mais a pour résultat une augmentation des vitesses de l'air. On propose donc de réduire le nombre de trappes anti-fumée, tout en notant que des vitesses de l'air élevées à l'entrée des trappes augmente le risque de pénétration de l'air frais dans la couche de fumée – effet de poinçonnement – et de production de pertes de charge plus élevées.

Le risque d'effet poinçonnement n'est notable que dans le cas d'une couche fine de fumée, mais, dans ce cas, le flux résiduel de fumée est faible et ne présente pas de risque important pour la sécurité des personnes se trouvant dans le tunnel.

L'influence d'une vitesse du courant d'air dans les trappes de l'ordre de 3 à 20 m/s semble faible. L'efficacité de captage du système d'extraction peut cependant diminuer légèrement lorsque la vitesse du courant sur les trappes dépasse 10 m/s dans des cas particuliers de panaches de fumée et de configuration de trappe.

D'une façon générale, une vitesse du courant d'air d'environ 10 à 15 m/s reste acceptable, mais on peut atteindre 20 m/s sans perte appréciable de l'efficacité de captage.

Les pertes de charge ne sont généralement pas un problème important, car il est nécessaire d'assigner à chaque trappe une perte de charge suffisante pour contre-balancer les flux d'air extraits par les trappes adjacents ouverts. Ces pertes de charge sont bien plus élevées que celles résultant des pertes de pression dans la gaine entre deux trappes successives.

The sizes of the dampers depends on the number of dampers to be opened in the event of a fire. To establish the optimum extract flow rate it is recommended to have approximately the same total area of the open damper(s) as the cross section of the exhaust air duct. If the area of the open damper(s) is much smaller, an acceleration of the airflow into the dampers is followed by a deceleration in the duct, which results in a high pressure loss.

In the case of opening only one damper, the cross section of the open damper should be at least equal to the cross section of the exhaust duct. If more than one damper is opened, the resistance of the dampers must be adapted to avoid most of the smoke being extracted through the damper nearest to the exhaust fan. Tests in the Karawanken and Schmitten Tunnels showed that opening three dampers, each with a cross-sectional ratio of more than one, and without increasing the resistance of dampers, at least 50% to 60% of the extracted air passed through the damper nearest to the fan. The flows can be balanced by increasing the resistances at each damper as shown in subsection "*Head Loss Coefficient*".

The reduced size of dampers and ducts minimises the impact on the civil works but will result in increased air velocities. It is proposed to reduce the number of smoke dampers, noting that high airspeeds at entry of the dampers raises the risk of clean air penetrating the smoke layer, the doughnut effect, and producing higher head losses.

The risk of the doughnut effect is worth noting only in the case of thin smoke layers, but in this case the residual smoke flow is weak and is not an important risk for the safety of people in the tunnel.

The influence of the airflow velocity through the dampers in the range 3 to 20 m/s appears to be low. The capture efficiency of the extract system can, however, reduce slightly when the velocity of the airflow at the dampers increases above 10 m/s in particular cases of smoke plumes and damper configurations.

In general, an airflow velocity of about 10 to 15 m/s is acceptable, but 20 m/s can be reached without an appreciable loss of capture efficiency.

Generally, head losses are not a serious issue as it is necessary to assign to each damper a head loss that is high enough to balance the air flows extracted at adjacent open dampers. These head losses are considerably higher than those resulting from the pressure losses in the duct between two successive dampers.



### Forme et position des trappes d'extraction

Il existe trois types d'installations, comme le montre la figure 12.4.2 :

- (i) Gaine d'extraction dans l'intrados. Lorsque c'est l'intrados qui constitue la gaine, les trappes sont placées directement dans l'intrados, constituant le plancher de la gaine.
- (ii) Gaine d'extraction sous la dalle de chaussée ou dans une conduite distincte. Lorsque la gaine d'extraction se trouve sous la dalle de chaussée ou lorsque l'extraction se fait par une conduite séparée, on doit installer une gaine de jonction pour placer le point d'extraction au plafond. Dans ce cas, les trappes peuvent être placées sur la gaine de jonction ou au point où la gaine de jonction rejoint la gaine principale.
- (iii) Gaine latérale. Des gaines latérales peuvent être prévues dans des tunnels en tranchée couverte. Deux dispositions sont possibles :
  - les gaines permettent une extraction des fumées en hauteur à l'intérieur du tunnel et les trappes ne sont pas nécessairement combinées au point d'extraction ;
  - les trappes sont placées en hauteur directement sur les gaines latérales.

On recommande pour les trappes ou les points d'extraction au plafond une forme rectangulaire, le côté le plus long étant transversal à l'axe du tunnel.

La dimension verticale des trappes montées sur la paroi doit être raisonnablement courte, pour que l'air frais ne soit pas extrait au-dessous de la couche de fumée.

Lorsque les trappes sont placées sur l'intrados, ils ne doivent pas se trouver trop loin par rapport à l'axe central du tunnel. En tout état de cause, leur conception ne doit pas être inutilement complexe, pour qu'ils puissent être placés au centre du tunnel si celui-ci n'est pas trop large. Le but est que la largeur de la trappe couvre autant de largeur de tunnel que possible.

Dans le cas d'une tranchée couverte de grande largeur et d'une gaine de jonction équipée d'une trappe à son début, deux points d'extraction doivent être prévus aux tiers (voir schéma).

Si les trappes latérales se trouvent aux points les plus hauts des parois latérales, il faut noter que leur efficacité de captage diminue de la façon suivante selon la position :

- de 5 à 10 % sur chacun des piédroits,
- de 10 à 15 % sur un seul piédroit.

L'efficacité est mesurée en tant que taux de fumée extraite sur flux total extrait.

### Shape and Position of Smoke Dampers

There are three types of installation arrangements as shown in Figure 12.4.2:

- (i) Extract duct in the soffit. When the soffit forms the duct, smoke dampers are placed directly into the soffit, constituting the floor of the duct.
- (ii) Extract duct under road deck or separate gallery. When the extract duct is under the road deck or when extraction is made through a separate gallery, a junction duct has to be installed to put the extraction point in the ceiling. In this case the dampers can be placed in the junction duct or at the point where the junction duct meets the main duct. The extract point and the damper are generally not combined.
- (iii) Lateral duct. Lateral ducts can be installed in cut-and-cover tunnels. Two arrangements exist:
  - Ducts allow extracting smoke at a high level in the tunnel and the dampers are not necessarily combined with the extraction point
  - Dampers are placed directly on the lateral ducts at a high level.

For dampers or extracting points in the ceiling, a rectangular shape is recommended, with the longer side across the tunnel.

The vertical dimension of wall mounted dampers should be reasonably small so that fresh air is not extracted from beneath the smoke layer.

Where dampers are installed in the soffit, they should not be offset too far from the centre-line of the tunnel. Nevertheless, the design should not be complicated unduly to put the damper in the centre if the tunnel is not too wide. The objective is to have the damper extend over as much of the width of the tunnel as possible.

In the case of a wide cut-and-cover tunnel and a junction duct equipped at its beginning with a damper, two extract points should be placed at the third points (see scheme).

If lateral dampers are used at the highest points of sidewalls, it should be noted that their capture efficiency reduces as follows for the locations:

- On each of the sidewalls by 5 to 10%
- On only one sidewall by 10 to 15%

The efficiency is measured as the ratio of smoke extracted to the total extracted flow.

INSTALLATION DES TRAPPES D'EXTRACTION DES FUMÉES  
 INSTALLATION OF SMOKE DAMPERS

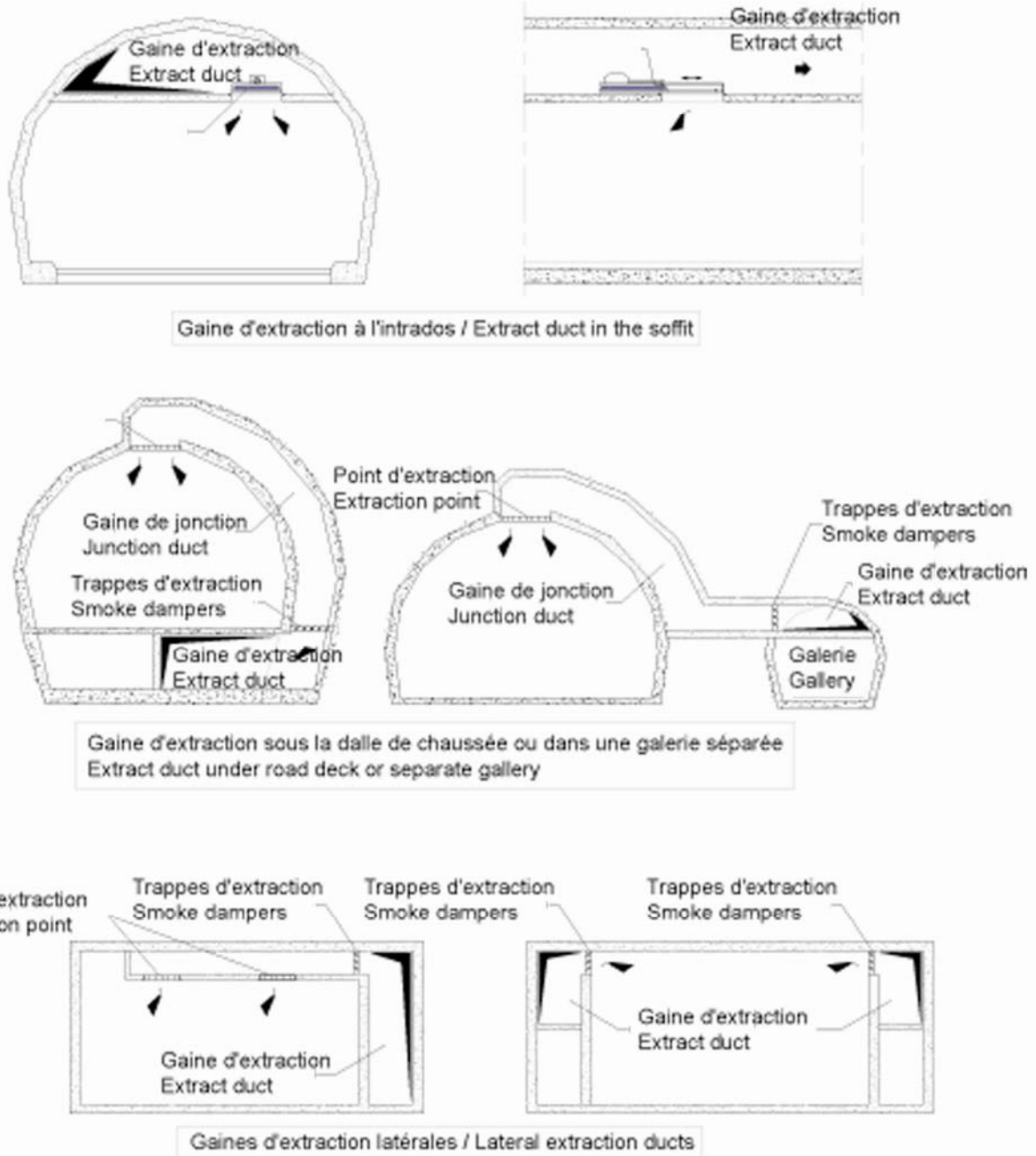


Figure 12.4.2 - Installation des trappes d'extraction des fumées

INSTALLATION DES TRAPPES D'EXTRACTION DES FUMÉES  
 INSTALLATION OF SMOKE DAMPERS

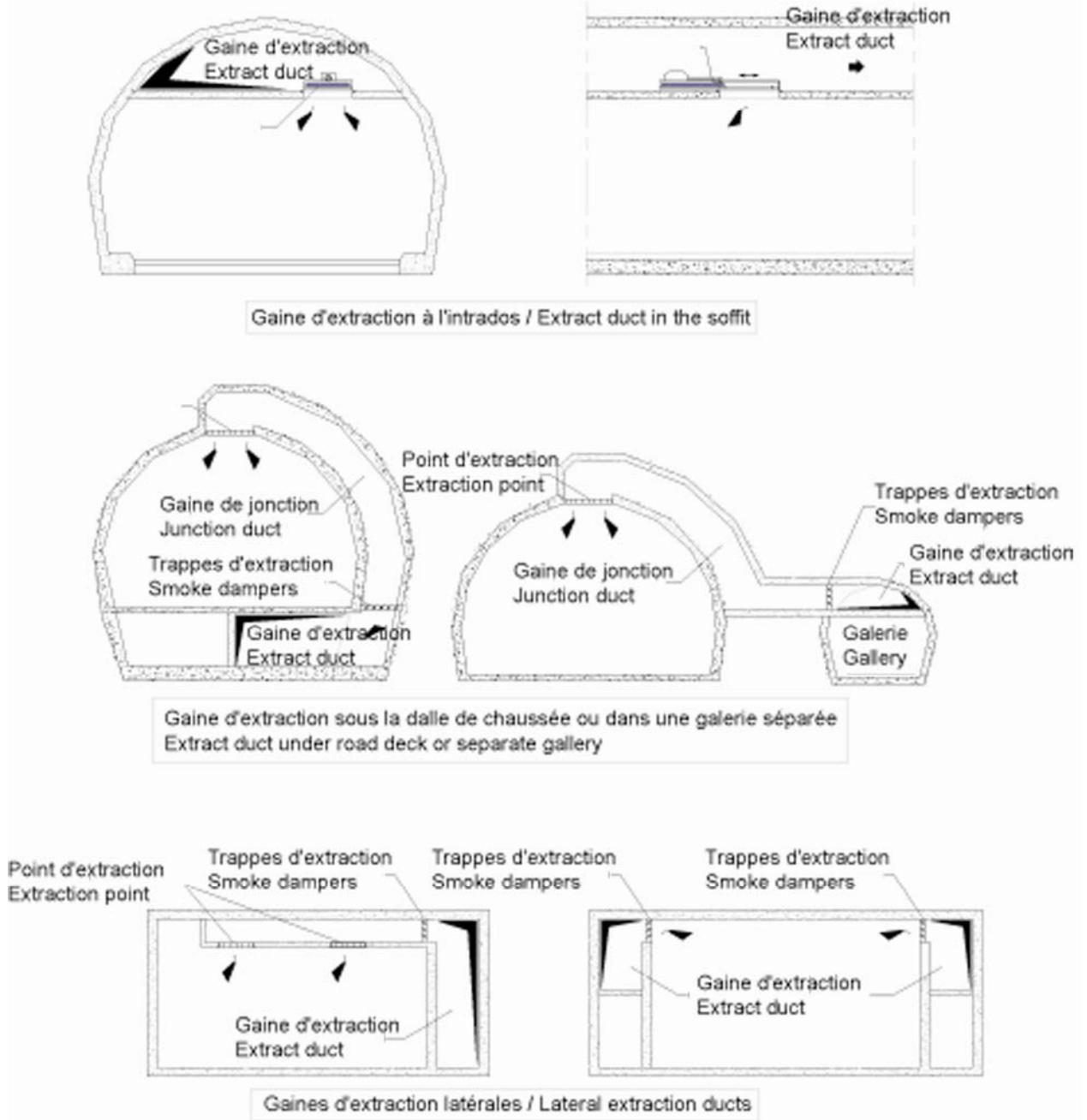


Figure 12.4.2 - Installation of smoke dampers

### Distance entre trappes

On recommande un intervalle de 50 à 100 m entre les trappes, en fonction de la longueur requise pour la zone de fumée (200 à 600 m) et du nombre de trappes ouvertes.

## 12.4.5 Spécifications

### ***Tolérance à la pression statique***

La différence de pression dans les gaines d'extraction, entre l'intérieur de la gaine et le tunnel, peut être élevée dans le cas de gaines de grande longueur et particulièrement à l'extrémité ventilateur de la gaine. Les trappes fermées doivent résister à la pression maximum qui règne dans la gaine.

La différence de pression maximum dépend du cas spécifique, mais la valeur minimale recommandée est 2 000 Pa. Cette valeur peut excéder 6 000 Pa dans le cas de gaines très longues.

### ***Fonctionnement des trappes sous pression***

La fermeture et l'ouverture des trappes qui se trouvent des deux côtés des trappes déjà ouvertes doivent rester possibles.

### ***Tolérance à la température et fonctionnement des trappes***

Les trappes doivent supporter un air à haute température et permettre un temps de réaction de la part de l'opérateur lorsqu'il commande les positions des différentes trappes à la suite du développement d'un incendie et de la propagation des fumées. La trappe et son servomoteur ainsi que l'équipement associé, doivent donc être dimensionnés en conséquence.

On recommande de monter des interrupteurs de fin de course sur la trappe plutôt qu'un servomoteur.

Les spécifications données dans le tableau 12.4.1 ci-dessous peuvent être adoptées pour les essais sur trappes, les températures se référant à un incendie de 30 MW.

**Tableau 12.4.1 - Spécifications de température**

Temps écoulé depuis le début de l'incendie (minutes)	Opération possible	Température (°C)	
		Tunnel	Gaine
15	Ouverture	400	20
60	Ouverture	200	200
60	Fermeture	200	200
60	Ouverture	400	20

### Spacing Between Dampers

An interval of 50 to 100 m between dampers is recommended, depending on the required length for the smoke zone (200 to 600 m) and the number of open dampers.

## 12.4.5 Specifications

### ***Tolerance to Static Pressure***

The pressure difference in extraction ducts, between the inside of the duct and the tunnel, can be high for long ducts and especially at the fan end of the duct. Dampers that are closed must resist the maximum pressure in the duct.

The maximum pressure difference depends on the specific case but the recommended minimum value is 2,000 Pa. The value can exceed 6,000 Pa in the case of very long ducts.

### ***Operation of Dampers Under Pressure***

The closing and opening of dampers located on both sides of those dampers that are already open must be possible.

### ***Tolerance to Temperature and Operation of Dampers***

Smoke dampers must handle air at high temperatures and allow for the reaction time of the operator in controlling the damper positions following the development of fire and the spread of smoke. Consequently, the damper and its actuator and related equipment must be rated accordingly.

It is recommended that limit switches are mounted on the damper rather than on the actuator.

The specifications shown in Table 12.4.1 following can be adopted for damper tests, the temperatures being referenced nominally to a 30 MW fire.

**Table 12.4.1 - Temperature specifications**

Time Elapsed Since Beginning of Fire (minutes)	Possible Operation	Temperature (°C)	
		Tunnel	Duct
15	Opening	400	20
60	Opening	200	200
60	Closing	200	200
60	Opening	400	20

Les trappes situées près du foyer sont normalement ouvertes pour extraire les fumées. Les trappes situées en amont sur la gaine ne sont pas soumises à des températures très élevées et il suffit d'appliquer les conditions ci-dessus. Il est nécessaire en outre que les fixations des trappes soient conçues pour les températures de dimensionnement, afin d'éviter qu'une trappe proche de l'incident ne présente un risque de chute prématurée dans le tunnel.

### ***Débits de fuite***

On recommande que les trappes anti-fumée soient raisonnablement étanches à l'air pour éviter toutes fuites par les trappes fermées. Ces fuites peuvent réduire considérablement le flux de fumée extrait, en particulier après plusieurs années d'exploitation.

Il est recommandé de se référer à la norme EN 1366-2 :1999 [63].

On considère comme acceptables des débits de fuite de l'ordre de 55 l/s/m<sup>2</sup> à des températures normales et à 400°C, avec un maximum de 70 l/s/m<sup>2</sup> pendant les variations de température sous la pression maximum qui peut régner dans la gaine.

Certaines réglementations concernent l'étanchéité à l'état froid. En l'absence de réglementations spécifiques, on peut adopter une valeur de 70 l/s/m<sup>2</sup> sous 3 000 Pa avec des températures normales.

### ***Délai de fonctionnement***

Il ne semble pas nécessaire que les opérations soient rapides, et un délai d'activation jusqu'à 25 secondes semble adéquat.

### ***Coefficient de perte de charge***

Les débits extraits par des trappes successives ne doivent pas être trop déséquilibrés. Les pertes de charge sur les trappes ne doivent donc pas être trop faibles pour que les débits s'équilibrent. Les pertes de charge doivent être dimensionnées pour que la différence entre la première et la dernière trappe ouverte ne dépasse pas 10 à 15 %.

En l'absence de valeurs calculées, on peut prendre un coefficient de perte de charge de 8 à 10, basé sur la pression dynamique dans la trappe. On peut avoir recours à des dispositifs d'équilibrage, par exemple des grilles à ajuster sur place, pour parvenir à l'équilibre requis des flux d'air.

Smoke dampers near to the fire are normally opened to extract smoke. Smoke dampers at upstream locations in the duct are not subjected to very high temperatures and it is sufficient to apply the above conditions. In addition, it is necessary for the damper fixings to be rated to design temperatures to avoid the dampers near to the incident becoming a hazard by falling prematurely into the tunnel.

### ***Leakage Flow***

It is recommended that smoke dampers be reasonably air tight to avoid leakage through the closed dampers. Such leakage can appreciably reduce the extracted smoke flow, especially after some years of operation.

It is recommended that reference be made to standard EN 1366-2:1999 [63].

Values of acceptable leakage flows are in range of 55 l/s/m<sup>2</sup> at normal temperatures and at 400°C, with a maximum of 70 l/s/m<sup>2</sup> during temperature variations under the maximum pressure that can exist in the duct.

Some regulations concern tightness in a cold state. In the absence of specific regulations, a value of 70 l/s/m<sup>2</sup> under 3,000 Pa at normal temperatures can be adopted.

### ***Operating Time***

Quick operations do not seem necessary and an actuation time of up to 25 seconds seems suitable.

### ***Head Loss Coefficient***

Flows extracted by successive smoke dampers should not be too unbalanced. Consequently, the head losses at the dampers should not be too small to achieve balance volume flows. The head losses should be designed to limit the lack of balance between the first and the last open damper to no more than 10 to 15%.

In the absence of calculated values, a head loss coefficient of 8 to 10, based upon the dynamic pressure in the damper, can be taken. Balancing devices, such as grilles that can be adjusted on site, can be used over each damper to achieve the required balance of airflows.

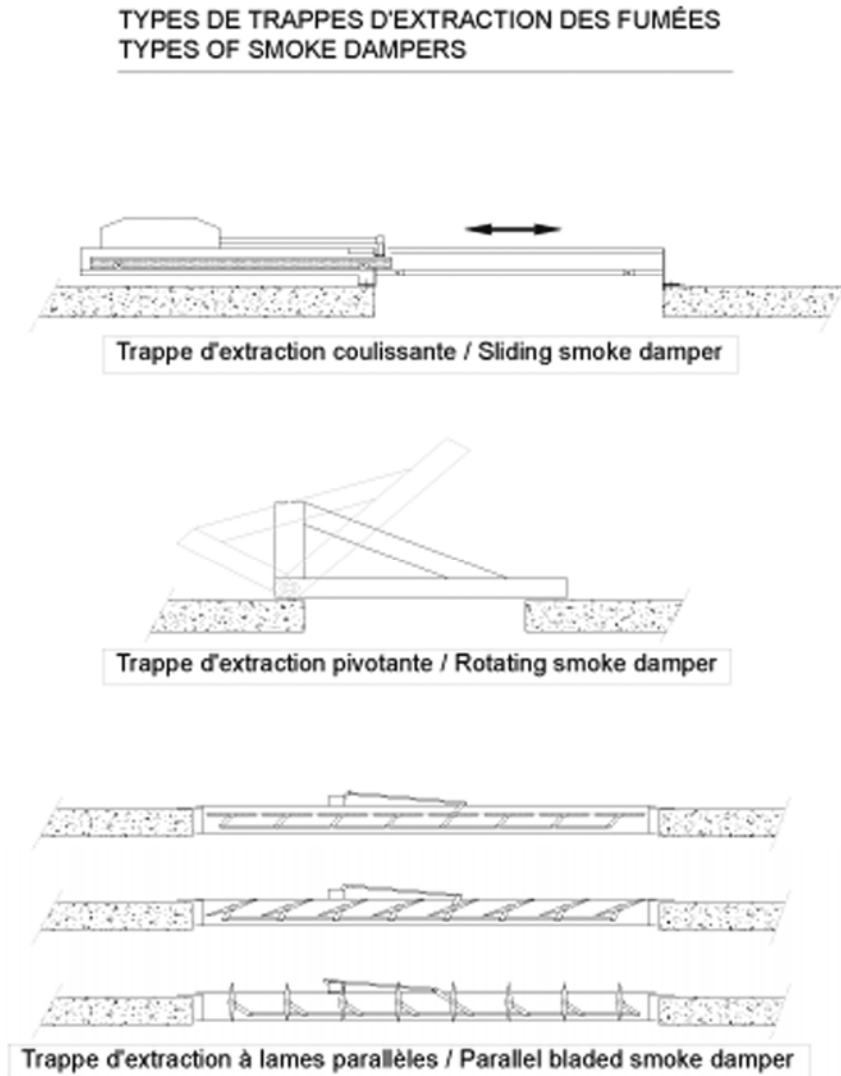


## 12.4.6 Fonctionnement

### **Systèmes de fonctionnement**

Il existe trois types de trappes d'extraction, comme le montre la figure 12.4.3 ci-dessous :

- trappes à lames parallèles,
- trappes pivotantes ou escamotables,
- trappes coulissantes.



**Figure 12.4.3 - Types de trappes d'extraction des fumées / Types of smoke dampers**

Dans le cas de trappes en intrados, on installe des trappes coulissantes ou à lames parallèles pour minimiser les pertes de charge dans la gaine en position ouverte.

## 12.4.6 Operation

### ***Working Systems***

The following three types of smoke dampers are available as shown in Figure 12.4.3:

- parallel bladed smoke dampers
- rotating, or drawbridge smoke dampers
- sliding smoke dampers



**Figure 12.4.4 - Installation type d'une trappe d'extraction à lames parallèles / Typical installation of parallel bladed smoke damper**

In the case of dampers in a soffit, sliding dampers or parallel bladed dampers are installed to minimize the head losses in the duct when in the open position.

En présence d'une gaine de jonction, les trappes pivotantes sont plus faciles à installer. Les trappes coulissantes ou pivotantes ont une longueur de joint plus courte.

La fiabilité du fonctionnement des trappes anti-fumée est un élément de sécurité fondamental. Les essais effectués à ce jour ne fournissent pas de base de recommandations pour le choix d'un type de trappe. Le rendement en exploitation des systèmes existants devra être ré-examiné dans les années à venir. Mais il est important d'estimer la fiabilité de tous les composants d'une trappe, y compris le servomoteur et les interrupteurs de fin de course.

Les photos des figures 12.4.4, 12.4.5 et 12.4.6 donnent des exemples d'installation de plusieurs types de trappes.

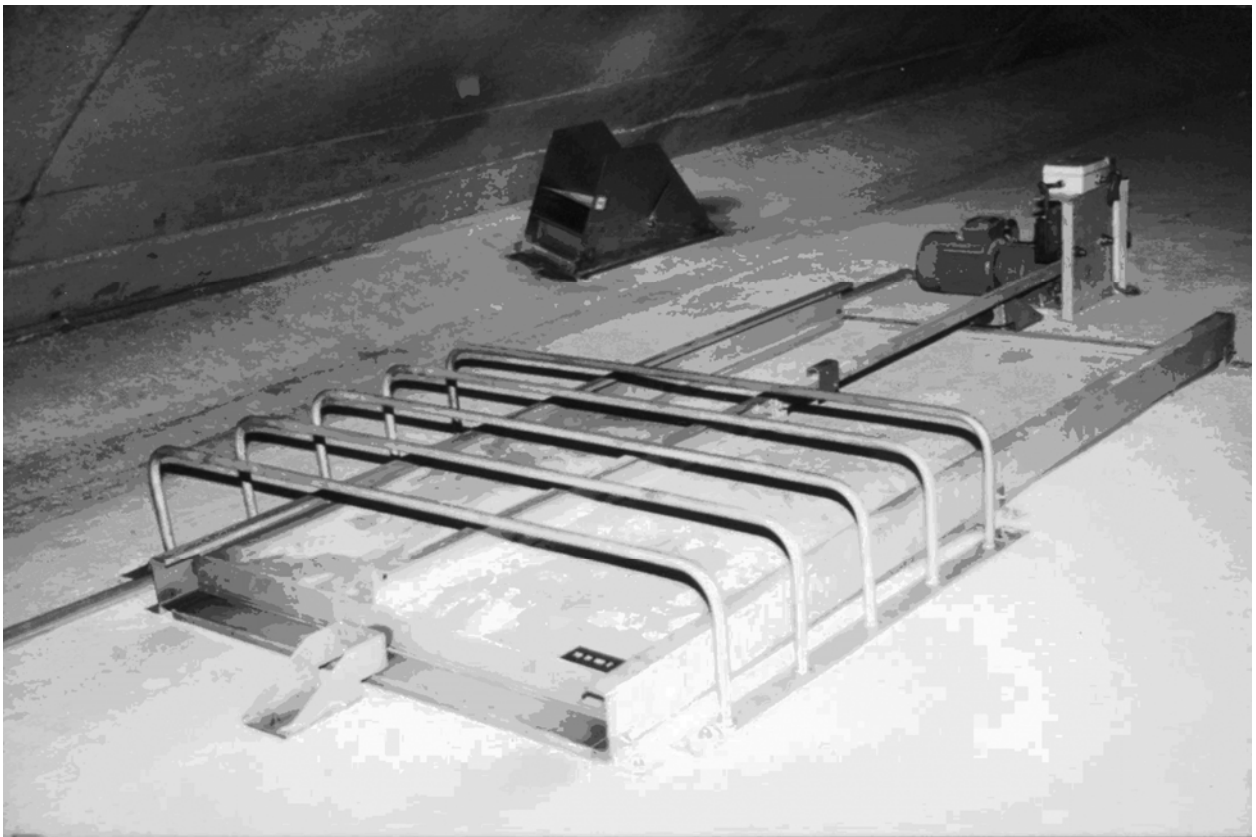


**Figure 12.4.5 - Installation d'une trappe d'extraction à lames parallèles / Parallel bladed smoke damper installation**

When there is a junction duct, rotating dampers can be easier to install. Sliding or rotating dampers have a lower length of joint.

The reliability of operation of smoke dampers is a fundamental element of safety. Tests carried out to date do not provide a basis for recommendations on the choice of damper types. The performance in operation of existing systems should be reviewed in the coming years. It is, however, important to assess the reliability of a damper on all its parts, including the actuator and limit switches.

The photographs in Figures 12.4.4, 12.4.5 and 12.4.6 show examples of the installation of several types of smoke dampers.



**Figure 12.4.6 - Installation type d'une trappe d'extraction coulissante /  
Typical sliding smoke damper installation**

### ***Exigences concernant le fonctionnement en cas d'incendie***

Les trappes sont essentielles pour l'extraction des fumées en cas d'incendie. Mais elles ne constituent qu'une partie de l'ensemble du système, qui se compose de la gaine d'extraction, du ventilateur, de l'alimentation électrique, des systèmes de commande et des procédures d'exploitation de la ventilation pour l'ensemble du tunnel. Bien qu'une grande partie des procédures d'exploitation et des exigences en vue d'une exploitation correcte en cas d'incendie soit décrite dans d'autres documents, nous résumons ci-dessous ce qui est essentiel pour le fonctionnement optimal des trappes :

- l'équipement mis en place dans la gaine d'extraction doit être capable, dans sa totalité, de résister à des températures très élevées. Cela inclut le câblage pour l'alimentation électrique et les commandes, le ventilateur d'extraction, etc. ;
- les trappes doivent pouvoir fonctionner sous des températures élevées ;
- la totalité de la gaine d'extraction ainsi que les trappes fermées doivent être étanches, en particulier s'il existe une différence de pression importante sur les parois de la gaine, sinon l'efficacité d'extraction se trouve réduite de façon substantielle ;
- la vitesse longitudinale de l'air dans le tunnel ne doit pas excéder 1,5 m/s au droit des trappes ouvertes. Si cette vitesse critique est franchie, l'efficacité d'extraction est réduite ;
- les tableaux de commande et de contrôle doivent être placés dans des lieux protégés des effets du feu et de la chaleur ;
- les matériaux utilisés pour les trappes doivent résister à l'atmosphère corrosive des tunnels (acier inoxydable ou acier doux galvanisé, on recommande l'acier inoxydable) ;
- les servomoteurs et les interrupteurs de fin de course doivent répondre aux exigences de température données précédemment. (D'une façon générale, on utilise des servomoteurs électroniques doubles. Dans le cas de trappes à lames parallèles, on peut utiliser des servomoteurs simples à ressort de rappel).

### ***Requirements for Operation in Case of a Fire***

Dampers are essential for smoke extraction in case of a fire. But the dampers are only one part of the whole system consisting of the exhaust duct, the fan, the electrical supply, the control systems and the operating procedures of the ventilation on the whole tunnel. Although many parts of the whole operating procedure and the requirements for proper operation in case of a fire are described in other documents, those parts which are essential for the optimal operation of the dampers are summarised below:

- the whole equipment in the exhaust duct must be able to withstand very high temperatures. This includes the cabling for electric supply and control, exhaust ventilation fan, etc.;
- the dampers must be able to operate under high temperatures;
- the whole exhaust duct, as well as the closed dampers, must be airtight, especially where there are large pressure difference across the walls of the duct otherwise the extraction efficiency will be reduced substantially;
- the longitudinal air velocity in the tunnel must not exceed 1.5 m/s at the location of the open dampers. If this critical velocity is exceeded the extract efficiency is reduced;
- control and command boards should be installed in places that are protected from the effects of fire and heat;
- materials to be used for the damper construction must be able to resist the corrosive atmosphere of tunnels (stainless steel or galvanised mild steel, stainless steel is recommended);
- the actuators and limit switches have to meet the temperature requirements given previously. (In general, electronic double actuators are used to operate smoke dampers. In the case of parallel bladed dampers, single action actuators with return springs can be used.)

## 12.4.7 Essais

### ***Essais des trappes d'extraction avant l'ouverture du tunnel***

#### Généralités

Le programme comporte des essais en usine ou des essais en laboratoire, et des essais in situ. Nous donnons pour information et en guise de directive le programme suivant d'essais et les modes d'exécution, à adapter selon chaque situation.

#### Essais en usine et essais en laboratoire

Les essais se déroulent de la façon suivante :

- (i) Essais mécaniques de résistance contre la déformation due à la pression. La trappe anti-feu est placée sur un boîtier simulant la gaine et est mise sous pression en plusieurs étapes. Chaque étape dure 5 minutes, et la dernière 30 minutes. A la fin de l'essai, la pression est ramenée à zéro et la trappe soumise à un cycle de fonctionnement complet. Les déformations sont mesurées à chaque étape de pression sur les points caractéristiques de la trappe. Des valeurs limites de déformation doivent être fixées.
- (ii) Essai de fiabilité du mécanisme. L'essai comporte des cycles d'ouverture et de fermeture (de l'ordre de 1 000). On mesure les temps de fonctionnement.
- (iii) Essais de fuite à basse et haute température sous pression. Il n'existe qu'un petit nombre de laboratoires pouvant effectuer des essais à haute température. Cette situation devrait être améliorée dans l'avenir. S'il n'est pas possible d'effectuer des essais à haute température, seuls ceux à basse température le seront. Les essais devraient être faits en se référant à la norme EN 1366-2 : 1999 [63], en adaptant les conditions d'essai aux critères spécifiques de pression, de température et de fuite.
- (iv) Essais de fonctionnement sous pression. La trappe est placée sur un boîtier simulant la gaine et soumise à pression. Cinq cycles d'ouverture et de fermeture sont effectués pour au moins deux valeurs de pression appliquée.
- (v) Détermination du coefficient de perte de charge. La trappe anti-feu est placée dans une capsule aérodynamique équipée d'un ventilateur à flux variable et connectée à une section de gaine. Les pertes de charge dans la trappe sont mesurées pour plusieurs valeurs du flux jusqu'au flux maximum de dimensionnement prévu pour la trappe.

Tous les tests doivent être réalisés sur la trappe prototype.

Si la série comporte de nombreuses trappes, les contrôles seront faits par groupes de 20 trappes en répétant les tests mécaniques de résistance, ((i) ci-dessus), et les essais de fuite à basse température sous pression avec de nouveaux joints, ((iii) ci-dessus).

## 12.4.7 Tests

### ***Smoke Damper Tests Before Tunnel Opening***

#### General

The schedule comprises tests at the factory or test laboratory, and tests on site. The following schedule of tests and their methods are given for information to be used as guidelines and should be adapted to each situation.

#### Tests at the Factory and Test Laboratory

The tests to be made are as follows:

- (i) Mechanical tests of resistance against deformation due to pressure. The fire damper is installed on a test supporting box acting for the duct and is pressurised in stages. Each stage is maintained for 5 minutes and the last stage is maintained for 30 minutes. At the end of the test the pressure is returned to zero and a complete operation of the damper is made. At each pressure level, deformations are measured at characteristic points of the damper. Limiting deformation values are to be fixed.
- (ii) Reliability test of the mechanism. The test comprises opening and closing cycles (in the range of 1,000). Operating times are measured.
- (iii) Leakage tests at low and high temperatures with pressure. There are currently only a few laboratories able to carry out tests at high temperatures. This situation should improve in the future. If it is not possible to carry out tests at high temperature, only tests at low temperature will be made. Tests should be undertaken making reference to standard EN 1366-2: 1999 [63], adapting tests conditions to the specified criteria of pressure, temperature and leakage.
- (iv) Working tests under pressure. The fire damper is installed on a test supporting box acting for the duct and is subject to pressure. For at least two values of the applied pressure, five opening and closing cycles will be conducted.
- (v) Determination of head loss coefficient. The fire damper is put in an aerodynamic rig equipped with a variable flow fan and connected by a section of duct. Head losses in the damper are measured for several values of the flow up to the maximum design flow for the damper.

All the tests should be made on the prototype damper.

If the series comprises many dampers, statistical controls will be made for each 20 dampers remaking the mechanical tests of resistance, ((i) above), and the leakage tests at low temperature under pressure with new seals, ((iii) above).



### Essais in situ

Les essais suivants seront réalisés in situ :

- (i) Essais fonctionnels. Chaque trappe est ouverte et fermée en utilisant le système local et/ou télécommandé pour démontrer le bon fonctionnement des trappes, ainsi que de leurs interrupteurs de fin de course, et établir un procès-verbal de l'état des trappes via le système de supervision.
- (ii) Essais d'extraction avec mesure des flux d'air. Les essais d'extraction, avec les ventilateurs en marche, seront réalisés en mesurant les flux d'extraction sur les trappes ouvertes selon plusieurs configurations d'extraction. Le flux minimum requis doit être atteint par les trappes se trouvant à l'extrémité de la gaine d'extraction.
- (iii) Essais du système. Les trappes sont testées dans le contexte de modes d'intervention en cas d'incendie.
- (iv) Essais d'incendie. Si des essais d'incendie sont proposés, ils donneront une estimation du rendement du système d'extraction des fumées et des procédures d'intervention.

### **Entretien et essais à intervalle régulier des trappes**

Des procédures d'entretien préventif doivent être établies et leur exécution contrôlée. Des essais périodiques montreront que les trappes restent opérationnelles. Ces essais comportent :

- (i) des essais de fonctionnement tous les mois ou tous les deux mois,
- (ii) la mesure des flux d'air tous les ans ou tous les deux ans, avec un essai d'étanchéité sur la gaine d'extraction.

Un bon entretien des trappes d'extraction est la meilleure garantie de leur bon fonctionnement en cas d'incident.

## 12.4.8 Exemples concrets

Les tableaux 12.4.2, 12.4.3 & 12.4.4 résument les caractéristiques des trappes d'extraction des fumées dans des tunnels existants et nouveaux.

**Tableau 12.4.2 - Trappes d'extraction des fumées – Systèmes existants**

Tunnel	Situation	Longueur (m)	Section des trappes (m <sup>2</sup> )	Distance (m)	Nombre de trappes ouvertes	Débit total extrait (m <sup>3</sup> /s)	Longueur entre la première et la dernière trappe ouverte (m)
Karawanken	Autriche	7.864	4.5	100	3	160	200
Schmitten	Autriche	5.111	2,25	50	3	104	100
Landeck	Autriche	6.955	5,06	48	4	100	150
Tauern	Autriche	6.401	4,62	48	4	230	150
Katschberg	Autriche	5.600	9	78	1	Min 120	-
Bosruck	Autriche	5.100	9	100	1	Min 120	-
Gleinalm	Autriche	8.000	9	100	1	Min 120	-
Plabutsch	Autriche	10.000	12	100	1	Min 120	-
St- Gothard	Suisse	16.700	4	100	4		300

### Tests on Site

The following tests will be made on site:

- (i) Functional tests. Each damper will be opened and closed using the installed local and/or remote control system to demonstrate the correct operation of the dampers, their limit switches, and the reporting of damper status through the supervisory control system.
- (ii) Extract tests with measurement of airflows. Extract tests, with the fans working, will be made with measurements of extracted flows at the open dampers in several extraction configurations. The minimum required volume flow must be reached for the open dampers at the far end of the exhaust duct.
- (iii) System tests. Dampers will be tested in the context of fire response procedures.
- (iv) Fire tests. If fire tests are proposed, they will provide an assessment of the performance of the smoke extract system and of the fire response procedures.

### ***Maintenance and Regular Testing of Smoke Dampers***

Preventive maintenance procedures should be established and their execution controlled. The availability of the dampers will be demonstrated by periodic tests. The tests will comprise:

- (i) Damper working tests every one or two months
- (ii) Measurement of airflows every one or two years with a tightness test of the exhaust duct.

Good maintenance of fire dampers is the best guarantee of their working in the event of an incident.

## 12.4.8 Case Histories

Summarised in the following Tables 12.4.2, 12.4.3 & 12.4.4 are the basic characteristics of smoke dampers in existing and new tunnels.

**Table 12.4.2 - Smoke dampers – Existing systems**

Tunnel	Location	Length (m)	Damper section (m <sup>2</sup> )	Interdistance (m)	Number of dampers opened	Total extracted flow (m <sup>3</sup> /s)	Length between first and last open damper (m)
Karawanken	Austria	7,864	4.5	100	3	160	200
Schmitten	Austria	5,111	2.25	50	3	104	100
Landeck	Austria	6,955	5.06	48	4	100	150
Tauern	Austria	6,401	4.62	48	4	230	150
Katschberg	Austria	5,600	9	78	1	Min 120	-
Bosruck	Austria	5,100	9	100	1	Min 120	-
Gleinalm	Austria	8,000	9	100	1	Min 120	-
Plabutsch	Austria	10,000	12	100	1	Min 120	-
St Gotthard	Switzerland	16,700	4	100	4		300

San Bernardino	Suisse	6.600	4	100	4		300
Gubrist	Suisse	3.230	5,1	200	2	300	200
Neuchâtel Est	Suisse	2.610		50	7	210	300
Eggfluh	Suisse	2.800	1,2	50	7	100	300
Ligerz	Suisse	2.480		50	7		300
Leissigen	Suisse	2.200	2*1,2	50	7	250	300
Mont Sagne	Suisse			50			
Vue des Alpes	Suisse			50			
Vispताल	Suisse	3.250					
Fréjus	France-Italie	13.000	1,00	125	7	110	750
Mont-Blanc	France-Italie	11.600	1,5	100	6	150	500
Somport	France-Espagne	8.608	1,5	100	6	110	600
Caluire	France	3.711	1	50	8	80	350
Chamoise	France	3.300	1,96	100	5	150	400
Foix	France	2.130	1,6	50	8	160	350
Orelle	France	3.860	1,60	100	7	110	600
Puymorens	France	4.820	1	200	3	96	400
Toulon	France	2.969	2	50	8	110	350
Cointe/Amont	Belgique	1.639	3,73	50	8	200	350
Cointe/Aval	Belgique	1.511	3,73	50	8	200	350

**Tableau 12.4.3 - Trappes d'extraction des fumées – Systèmes en construction**

Tunnel	Situation	Longueur (m)	Section des trappes (m <sup>2</sup> )	Distance (m)	Nombre de trappes ouvertes	Débit total extrait (m <sup>3</sup> /s)	Longueur entre la première et la dernière trappe ouverte (m)
Tauern 2ème tube	Autriche	6.400	12	100	1	Min 120	-
Katschberg 2ème tube	Autriche	5.600	12	100	1	Min 120	-
Plabutsch 2ème tube	Autriche	10.000	12	100	1	Min 120	-
A86 Ouest	France	10.000	8	400 <sup>1</sup>	1	92	400
Flüelen	Suisse	2.810					200
Aescher	Suisse	2.200		100	3	220	200
Kirchenwald	Suisse	1.800		100	3	220	200
Uetliberg	Suisse	4.500					
Gorgier	Suisse	2.750		50	7		300
Sissach	Suisse						
Flims	Suisse		4	100	4	200	300
Gotschna	Suisse	4.200	2.6	70		200	

Note :

(1) Tunnel pour PL en ventilation longitudinale

San Bernardino	Switzerland	6,600	4	100	4		300
Gubrist	Switzerland	3,230	5.1	200	2	300	200
Neuchâtel Est	Switzerland	2,610		50	7	210	300
Eggfluh	Switzerland	2,800	1.2	50	7	100	300
Ligerz	Switzerland	2,480		50	7		300
Leissigen	Switzerland	2,200	2*1.2	50	7	250	300
Mont Sagne	Switzerland			50			
Vue des Alpes	Switzerland			50			
Vispताल	Switzerland	3,250					
Frejus	France-Italy	13,000	1.00	125	7	110	750
Mont Blanc	France-Italy	11,600	1.5	100	6	150	500
Somport	France-Spain	8,608	1.5	100	6	110	600
Caluire	France	3,711	1	50	8	80	350
Chamoise	France	3,300	1.96	100	5	150	400
Foix	France	2,130	1.6	50	8	160	350
Orelle	France	3,860	1.60	100	7	110	600
Puymorens	France	4,820	1	200	3	96	400
Toulon	France	2,969	2	50	8	110	350
Cointe/Amont	Belgium	1,639	3.73	50	8	200	350
Cointe/Aval	Belgium	1,511	3.73	50	8	200	350

**Table 12.4.3 - Smoke dampers – Systems under construction**

Tunnel	Location	Length (m)	Damper section (m <sup>2</sup> )	Interdistance (m)	Number of dampers opened	Total extracted flow (m <sup>3</sup> /s)	Length between first and last open damper (m)
Tauern 2 <sup>nd</sup> tube	Austria	6,400	12	100	1	Min 120	-
Katschberg 2 <sup>nd</sup> tube	Austria	5,600	12	100	1	Min 120	-
Plabutsch 2 <sup>nd</sup> tube	Austria	10,000	12	100	1	Min 120	-
A86 Ouest	France	10,000	8	400 <sup>1</sup>	1	92	400
Flüelen	Switzerland	2,810					200
Aescher	Switzerland	2,200		100	3	220	200
Kirchenwald	Switzerland	1,800		100	3	220	200
Uetliberg	Switzerland	4,500					
Gorgier	Switzerland	2,750		50	7		300
Sissach	Switzerland						
Flims	Switzerland		4	100	4	200	300
Gotschna	Switzerland	4,200	2.6	70		200	

Note:

(1) Tunnel for VL in longitudinal system

**Tableau 12.4.4 - Trappes d'extraction des fumées – Systèmes en projet**

Tunnel	Situation	Longueur (m)	Section des trappes (m <sup>2</sup> )	Distance (m)	Nombre de trappes ouvertes	Débit total extrait (m <sup>3</sup> /s)	Longueur entre la première et la dernière trappe ouverte (m)
Lioran	France	1515	2	6	164	500	
Maurice Lemaire	France	6950	1,5	100	6	110	500
Siaix	France	1590	2	100	6	166	500
Graitery	Suisse	2490					
Choindey	Suisse	2870					
Islisberg	Suisse	4890					
Sonnenberg <sup>1</sup>	Suisse	1830	4	100	3	200	200
Bözberg <sup>1</sup>	Suisse	3200	4	100	3	220	200
Milchbuck <sup>1</sup>	Suisse	1800					
Gubrist <sup>1</sup>	Suisse	3230	5,29	100	3	220	200
Crapteig <sup>1</sup>	Suisse	2200	2*4	90	2*3	520	180
Saas	Suisse	2400	2,6	70			
Isla Bella <sup>1</sup>	Suisse	2100	2,6	100	3		200
Roveredo	Suisse	2300	2,6	100	3	150	200

Note :

(1) tunnel existant

## 12.5 Résultats de l'enquête – Dispositions d'urgence pour les ouvrages routiers confinés

Le Groupe de travail 6 a réalisé une enquête pour avoir un aperçu des normes nationales, des types d'itinéraires de déviation, de l'utilisation des abris, de la signalisation pour les itinéraires de déviation et des systèmes d'alarme en tunnel. Cette enquête concernait également des dispositions d'évacuation, l'éclairage et les panneaux, la ventilation, les systèmes de détection incendie/fumée, les systèmes et les procédures d'alerte en cas d'accident.

Des informations ont été fournies par l'Autriche, la Finlande, la France, le Japon, la Norvège, la Suède, la Suisse et les Pays-Bas. Les résultats détaillés de l'enquête sont donnés dans les tableaux ci-après. Il faut noter que, dans certains cas, les informations dépendent d'une situation ou d'un tunnel spécifique. Dans ce cas, c'est la réponse la plus courante pour le pays qui a été retenue.

**Table 12.4.4 - Smoke dampers – Planned systems**

Tunnel	Location	Length (m)	Damper section (m <sup>2</sup> )	Interdistance (m)	Number of dampers opened	Total extracted flow (m <sup>3</sup> /s)	Length between first and last open damper (m)
Lioran	France	1515	2	6	164	500	
Maurice Lemaire	France	6950	1.5	100	6	110	500
Siaix	France	1590	2	100	6	166	500
Graitery	Switzerland	2490					
Choindey	Switzerland	2870					
Islisberg	Switzerland	4890					
Sonnenberg <sup>1</sup>	Switzerland	1830	4	100	3	200	200
Bözberg <sup>1</sup>	Switzerland	3200	4	100	3	220	200
Milchbuck <sup>1</sup>	Switzerland	1800					
Gubrist <sup>1</sup>	Switzerland	3230	5.29	100	3	220	200
Crapteig <sup>1</sup>	Switzerland	2200	2*4	90	2*3	520	180
Saas	Switzerland	2400	2.6	70			
Isla Bella <sup>1</sup>	Switzerland	2100	2.6	100	3		200
Roveredo	Switzerland	2300	2.6	100	3	150	200

Note:

(1) existing tunnel

## 12.5 Enquiry Results – Emergency Provisions for Enclosed Road Structures

An enquiry was conducted by Working Group 6, to provide an overview of national standards, kinds of escape routes, use of shelters, lighting of escape routes, signage for escape routes and warning systems in tunnels. Also address were escape provisions, lighting and signs, ventilation, systems for fire/smoke detection, warning systems and procedures during an accident.

Information was provided by Austria, Finland, France, Germany, Japan, Norway, Sweden, Switzerland and The Netherlands. The detailed results of the enquiry are presented in the following tables. It should be noted that in some cases, the information depends on the situation or on a specific tunnel. In this case, the most common answer for that country has been presented.