

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD*

par A. VOELTZEL, CETE de Lyon, auparavant Centre d'Études des Tunnels (CETU), France.

A. DIX, avocat, professeur adjoint de génie civil, Queensland University of Technology, Australie.

INTRODUCTION

Entre mars 1999 et octobre 2001, 62 personnes ont péri dans trois incendies de tunnels situés sur de grands axes routiers internationaux, en Europe. Dans tous les cas, il s'agissait de tunnels à circulation bidirectionnelle à ventilation transversale. Malgré ces similitudes, le nombre de morts diffère : 39 dans l'incendie du tunnel du Mont-Blanc (mars 1999), 12 dans l'incendie du tunnel des Tauern (mai 1999) et 11 dans l'incendie du tunnel du Gotthard (octobre 2001).

Cet article étudie les circonstances de chaque incident et détermine les facteurs permettant d'expliquer ces différentes conséquences.

Les références aux équipements et aux systèmes des tunnels portent sur la situation antérieure aux incendies et ne concernent pas les réaménagements ultérieurs.

Une grande partie des informations consultées pour écrire cet article figure dans la bibliographie ([1] à [8]).

* Cet article se fonde sur les résultats du Comité technique AIPCR « Exploitation des tunnels routiers » et de son groupe de travail n° 6 « Maîtrise de l'incendie et des fumées », obtenus pendant le cycle 1999-2003. L'ensemble des résultats de ce travail figure sur le rapport « Systèmes et équipements pour l'incendie et le désenfumage dans les tunnels routiers » qui sera publié en 2004.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTHARD TUNNEL FIRES*

by A. VOELTZEL, CETE de Lyon, formerly Centre d'Etudes des Tunnels (CETU), France.

A. DIX, Counsel at Law, Adj. Professor of Engineering Queensland University of Technology, Australia.

INTRODUCTION

Between March 1999 and October 2001, 62 people died in 3 tunnel fires on Europe's main international traffic arteries. In each instance the tunnels had bi-directional traffic flow, and transverse ventilation. However despite these similarities the death toll varied from 39 in the Mont Blanc Tunnel fire (March 1999), to 12 in the Tauern Tunnel fire (May 1999) and 11 in the Gotthard Tunnel fire (October 2001).

This article explores the circumstances of each incident and identifies factors which may help explain the variation in the consequences of each incident.

References to facilities and systems in this article are to the facts before the fires, and do not reflect subsequent refurbishment of the tunnels.

A large part of the information used to write this article can be found in References ([1] through [8]).

* This article is based on the results of the PIARC Technical Committee on Road Tunnel Operation and its Working Group 6 on "Fire and Smoke Control" during the 1999-2003 cycle. The full documentation of the results of this work will be found in the new publication titled "Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels" and to be published in 2004.

DESCRIPTION DES TUNNELS

Géométrie

Les tunnels du Mont-Blanc, des Tauern et du Gothard sont des tunnels à un tube bidirectionnel, d'une longueur de 11 600 m, 6 400 m et 16 920 m respectivement, situés à une altitude d'environ 1 100 à 1 400 m au-dessus du niveau de la mer. Le profil en long de chaque tunnel est décrit sur la Figure 1 ci-dessous.

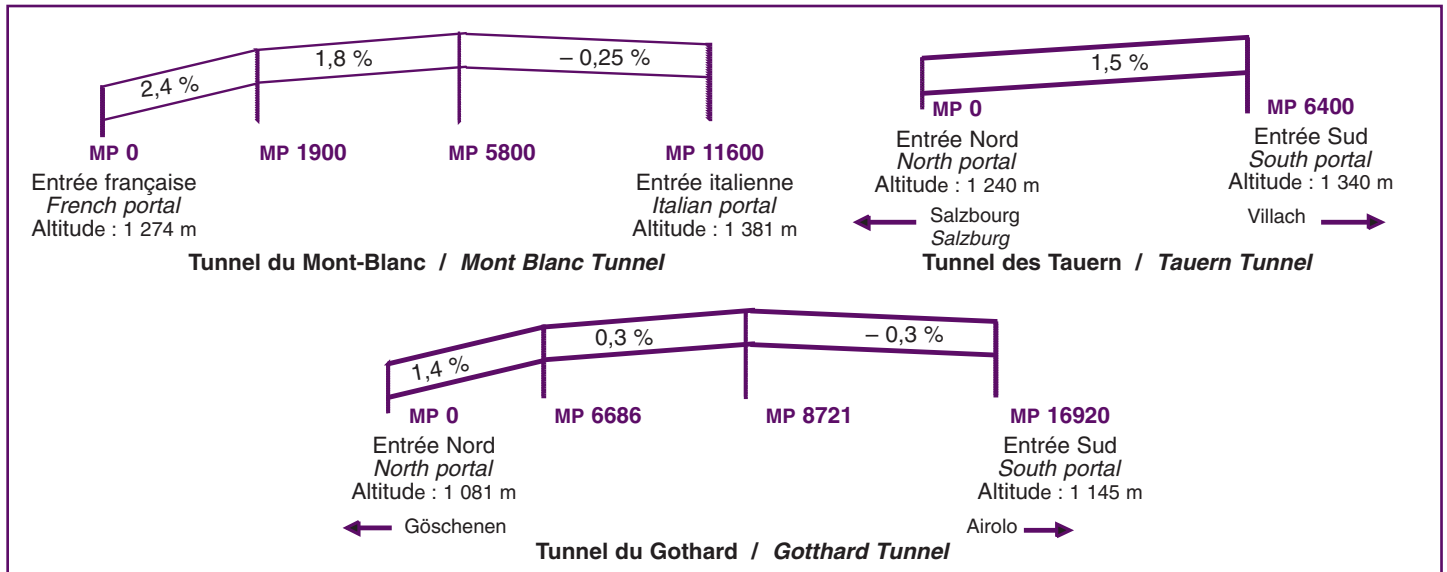


Figure 1
Profils en long

Figure 1
Tunnel longitudinal profiles

La géométrie de la section transversale diffère d'un tunnel à l'autre. Les sections transversales représentatives des tunnels sont illustrées sur la Figure 2 ci-dessous.

The cross section geometry differs for each tunnel. Representative cross sections for each tunnel appear in Figure 2 below.

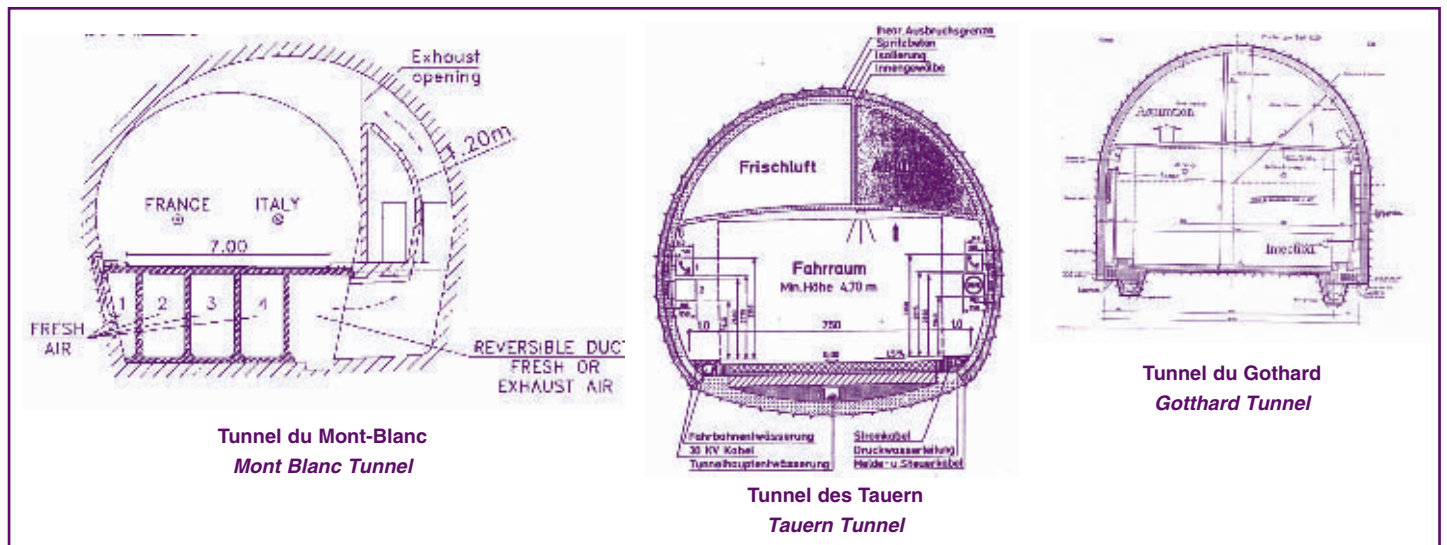


Figure 2
Sections transversales

Figure 2
Tunnel Cross Sections

Circulation

Le nombre et la composition des véhicules circulant dans chaque tunnel sont résumés sur le tableau 1 ci-dessous. Ces tunnels faisant partie du réseau routier principal des Alpes, le pourcentage de poids lourds est relativement élevé.

Le transport de matières dangereuses était autorisé dans les tunnels des Tauern et du Gotthard, mais était interdit dans le tunnel du Mont-Blanc.

Tableau 1
Trafic moyen journalier annuel

Type de véhicule Vehicle Type	MONT-BLANC (1998)		TAUERN (1998)		GOTHARD (2000)	
	Nombre de véhicules Number of vehicles	Pourcentage du trafic total Percentage of total traffic	Nombre de véhicules Number of vehicles	Pourcentage du trafic total Percentage of total traffic	Nombre de véhicules Number of vehicles	Pourcentage du trafic total Percentage of total traffic
Voitures et motos Cars and motorbikes	3 267	60 %	10 416	74 %	15 750	84 %
Autocars Busses	78	1 %	200	1 %		
Camions Lorries	2 128	39 %	3 484	25 %	2 950	16 %
Tous véhicules All vehicles	5 473	100 %	14 100	100 %	18 700	100 %

Traffic

The number and fleet mix for each tunnel is summarised in Table 1 below. Because these tunnels form part of the main European Alpine road network, there is a comparatively high proportion of HGV's in each tunnel.

Dangerous goods were permitted to pass through the Tauern and Gotthard tunnels, but were banned at the Mont Blanc tunnel.

Table 1
Average Annual Daily Traffic

Capacité des systèmes de ventilation

Chaque tunnel utilisait un type de ventilation transversale. Les configurations des systèmes de ventilation des tunnels sont indiquées sur les Figures 3, 4 et 5.

Ventilation System Capacities

Each tunnel utilised a form of transverse ventilation. Figure 3, 4 and 5 summarise the ventilation configurations in each of the tunnels.

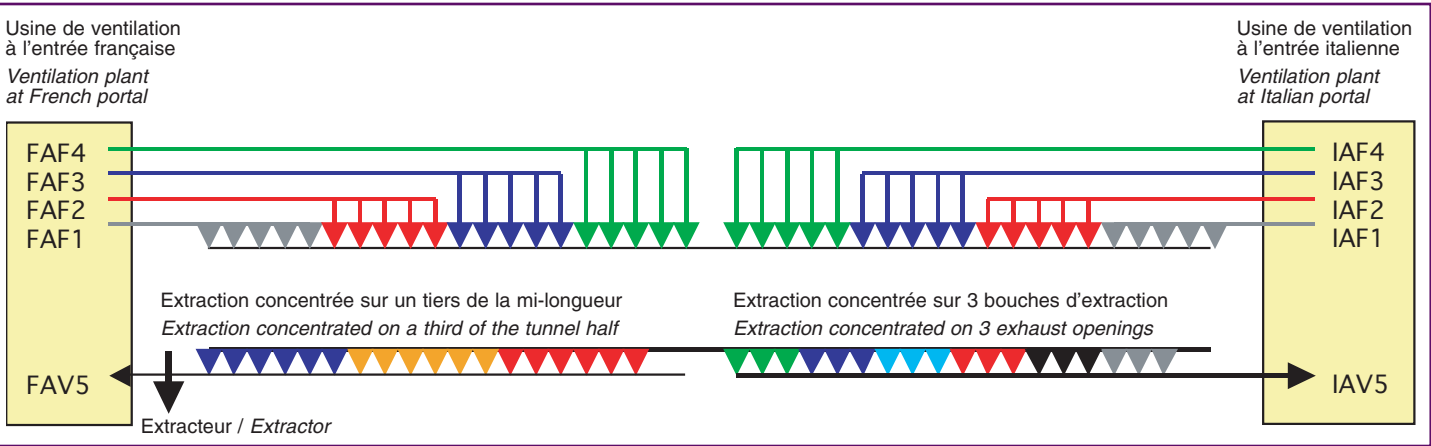


Figure 3
Configuration du système de ventilation du tunnel du Mont-Blanc

Figure 3
Mont Blanc tunnel ventilation system configuration

Le système de ventilation du tunnel du Mont-Blanc était constitué de deux longueurs égales de tunnel configurées à l'identique, une moitié du côté français et l'autre moitié du côté italien. Quatre gaines d'amenée d'air frais, numérotées de 1 à 4, partaient de chaque tête et

The Mont Blanc Tunnel ventilation system comprised 2 equal lengths of identically configured tunnel - one half from the French side, the other half from the Italian side. 4 supply air ducts, numbered from 1 to 4, commenced at each portal and serviced one quarter (1.450 m) of half the

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

alimentaient un quart (1 450 m) de la demi-longueur du tunnel (voir Figure 3). Chaque gaine pouvait amener 75 m³/s d'air frais. Une cinquième gaine avait été construite initialement pour évacuer l'air vicié par la circulation automobile et extraire les fumées en cas d'incendie (bien que cela ne fût pas un critère de conception). Elle a ensuite été transformée en gaine réversible pour augmenter la capacité de soufflage d'air frais.

Du côté français du tunnel, une modification du système permettait de concentrer l'extraction sur un, deux ou trois tiers de la demi-longueur. Toutefois, en cas d'utilisation de ce mode d'extraction, le débit d'air extrait était sensiblement réduit. Par exemple, si un tiers du tunnel était utilisé en mode extraction, le débit initialement prévu de 150 m³/s était réduit à 65-85 m³/s.

Du côté italien, des motorisations individuelles ont été installées en 1997 sur chaque bouche d'extraction, afin de concentrer l'extraction sur deux à quatre bouches. Ce système réduisait également le débit d'air extrait (à 70-90 m³/s lorsque les quatre bouches d'extraction étaient utilisées). Au mois de mars 1999, l'installation de ce système modifié était en cours de réception.

length of the tunnel (see Figure 3). Each duct could supply 75 m³/s of fresh air. A fifth duct was originally built to exhaust air polluted by traffic and to extract smoke from fires (although this was not a design criterion). The fifth duct was transformed in a reversible duct to improve the fresh air supply capacity.

In the French half of the tunnel, a system upgrade made it possible to concentrate the extraction in any of the one-, two- or three-thirds of that half of the tunnel. However if the extraction mode was used, it substantially reduced tunnel air flows. For example if one third of the tunnel was used in exhaust mode the flow was reduced from the original design flow of 150 m³/s to 65-85 m³/s.

On the Italian side, individual motorised dampers were installed in 1997 at each exhaust opening in order to concentrate the exhaust on any of 2 to 4 openings. This also reduced the exhaust flow (to 70-90 m³/s when all four exhaust openings were used). During the month of March 1999, installation of this upgrade was being completed.

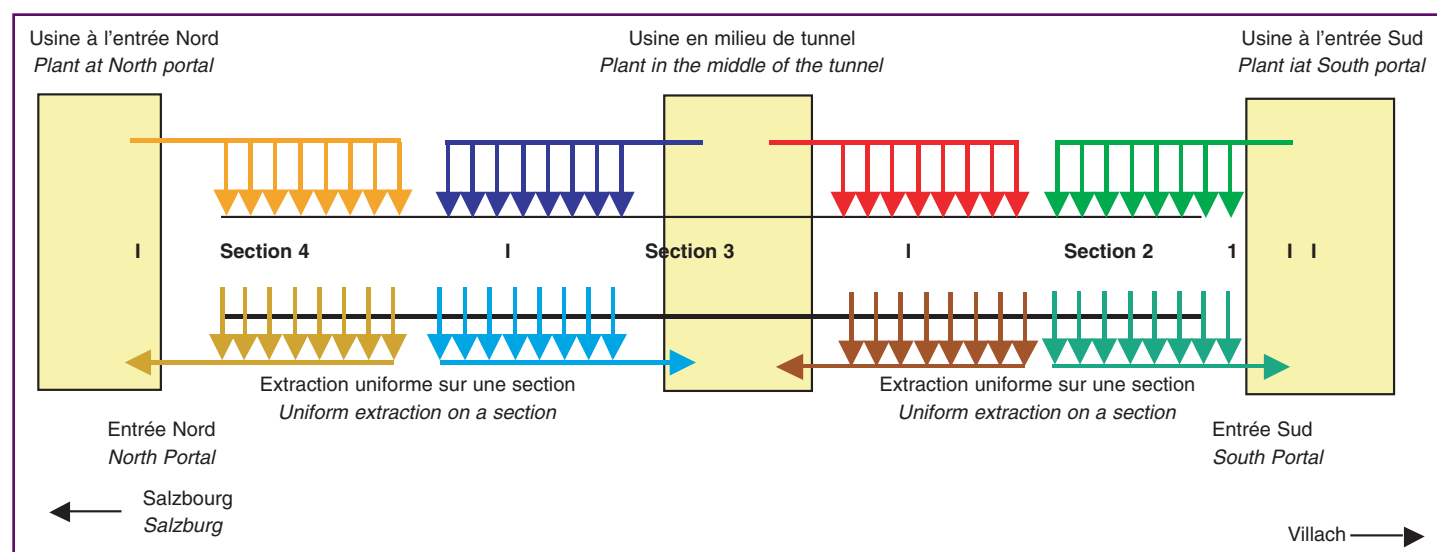


Figure 4

Configuration du système de ventilation du tunnel des Tauern

Figure 4

Tauern tunnel ventilation system configuration

Le système de ventilation du tunnel des Tauern est constitué de 4 sections de ventilation indépendantes (voir Figure 4). Les sections 1, 2 et 3 mesurent 1 500 m de long, et la section 4, 1 900 m. Les sections 2 et 3 sont ventilées à l'aide d'un puits de 590 m de haut, tandis que les sections 1 et 4 sont alimentées par des usines de ventilation situées sur les têtes. Le débit maximal d'air frais amené dans le tunnel des Tauern est plus de deux fois supérieur à celui du tunnel du Mont-Blanc (voir Tableau 2). Il est beaucoup plus difficile de comparer la capacité maximale d'extraction, puisque dans le tunnel du Mont-Blanc, il était possible de concentrer l'extraction. Toutefois, pour un front de fumée de

The Tauern Tunnel ventilation system consists of 4 independent ventilation sections (see Figure 4). Sections 1, 2, and 3 are 1,500 m long while Section 4 is 1,900 m long. Sections 2 and 3 are ventilated through a 590 m high shaft, whereas Sections 1 and 4 are supplied by ventilation plants located at portals. The Tauern Tunnel's maximum fresh air flow supplied is more than 2 times higher than that of the Mont Blanc Tunnel (see Table 2). It is much more difficult to compare the maximum extraction airflows, because in the Mont Blanc tunnel it is possible to concentrate the extraction. However, for a 900 m long smoke plug located between lay-bys 19 and 21 (the first HGV fire took place at

900 m de long, situé entre les garages 19 et 21 (le premier incendie de poids lourd s'est produit dans le garage 21), la capacité maximale d'extraction des fumées du tunnel du Mont-Blanc était d'environ 50 m³/s, par rapport à 103 m³/s pour la même longueur de front de fumée dans le tunnel des Tauern.

lay-by 21), the maximum smoke extraction capacity of the Mont Blanc Tunnel is about 50 m³/s, compared to 103 m³/s for the same smoke plug length in the Tauern Tunnel.

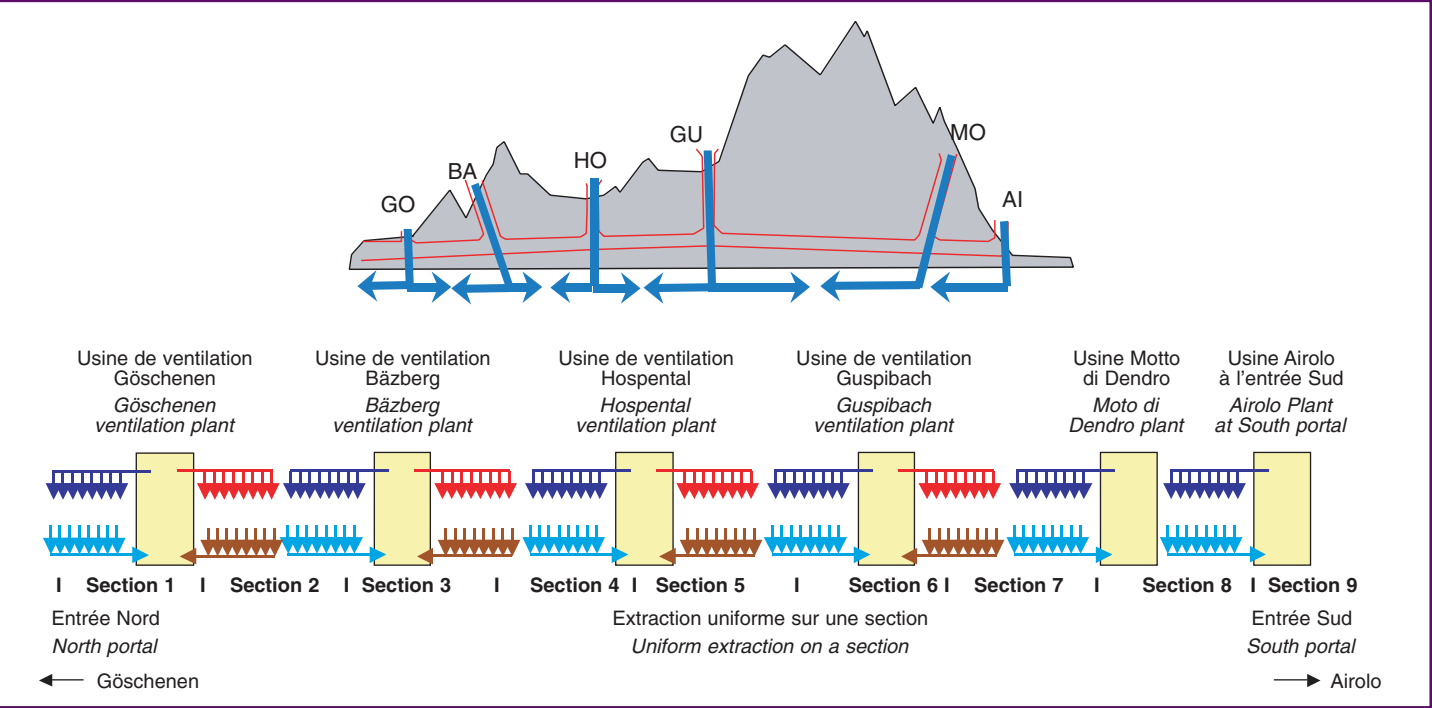


Figure 5 Configuration du système de ventilation du tunnel du Gothard

Figure 5 Gotthard tunnel ventilation system configuration

Le système de ventilation du tunnel du Gothard est constitué de 6 stations de ventilation et de 10 sections de ventilation, comme le montre la figure 5. Les sections de ventilation les plus proches des têtes sont ventilées à l'aide d'usines situées à chaque tête. Les autres sections sont ventilées à l'aide de quatre puits. L'extraction dans le tunnel du Gothard est uniforme dans chaque section de ventilation. Il n'existe pas de moyen pour concentrer l'extraction dans une zone plus restreinte qu'une section de ventilation.

The ventilation system of the Gotthard Tunnel consists of 6 ventilation stations and 10 ventilation sections as shown in Figure 5. The ventilation sections closest to the portals are ventilated from plants placed at each tunnel portal. The other sections are ventilated through 4 shafts. The extraction in the Gotthard Tunnel is uniform in each ventilation section. There was no means to concentrate the extraction on a zone shorter than a ventilation section.

Les capacités maximales de ventilation des tunnels sont résumées sur le Tableau 2 ci-dessous.

The tunnel ventilation system maximum capacities are summarised in Table 2 below.

Tableau 2 Capacités maximales de ventilation

Table 2 Maximum ventilation capacities

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Capacité maximale de ventilation Maximum fresh air supply capacity	600 m³.s ⁻¹ (52 m³/s/km) sans utilisation des gaines d'extraction comme gaines de ventilation. 600 m³.s ⁻¹ (52 m³/s/km) without using the extraction ducts as supply ducts. 900 m³.s ⁻¹ (77 m³/s-1/km) avec utilisation des gaines d'extraction comme gaines de ventilation. 900 m³.s ⁻¹ (77 m³/s-1/km) when the extraction ducts are used as supply ducts	194 m³/s/km	125 à 130 m³/s/km
Capacité maximale d'extraction Maximum extraction capacity	300 m³.s ⁻¹ (25.8 m³/s/km) Du côté français, l'extraction peut être concentrée sur un tiers de la demi-longueur. Du côté italien, l'extraction peut être concentrée sur deux à quatre bouches d'extraction. La concentration de l'extraction réduit la capacité maximale d'extraction de 30 % à 50 %. On the French side, extraction can be concentrated on a third of the half French part. On the Italian side extraction can be concentrated on any of two to four exhaust opening. Concentrated extraction leads to an extraction capacity 30 % to 50 % lower than the maximal capacity.	122 m³/s/km Extraction uniforme dans chaque section de ventilation Extraction is uniform in a ventilation section	125 à 130 m³/s/km

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

Équipements de sécurité

Les équipements de sécurité à l'intérieur des trois tunnels sont résumés sur le tableau 3. L'une des différences les plus nettes est la présence de refuges pressurisés dans le tunnel du Mont-Blanc et d'une galerie de secours, parallèle au tube de circulation, dans le tunnel du Gotthard. Les systèmes de détection incendie installés dans les trois tunnels sont basés sur la mesure de l'élévation de température ambiante.

Safety Facilities in the Tunnels

Safety facilities installed in the three tunnels are summarised in Table 3. One of the most apparent differences is the presence of pressurised shelters in the Mont Blanc Tunnel and of an emergency gallery parallel to the traffic tube in the Gotthard Tunnel. The fire detection systems installed in the 3 tunnels are based on air temperature elevation measurement.

Tableau 3

Équipements de sécurité

Table 3

Safety facilities in the tunnels

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTTHARD
Refuges Issues de secours	Refuges, situés à 600 m d'intervalle, alimentés en air frais et protégés du tunnel par une cloison coupe-feu deux heures.	Pas d'issue de secours séparée.	Galerie de secours parallèle au tube de circulation. Cette galerie est ventilée et pressurisée en cas d'incendie. Sas de secours, situés tous les 250 m, reliant le tunnel à la galerie de secours.
Evacuation routes shelters	<i>Shelters supplied with fresh air and protected from the tunnel by a wall with a two-hour fire rating located at 600 m intervals.</i>	<i>There were no separate evacuation routes.</i>	<i>There is an emergency gallery parallel to the circulation tube. This gallery is ventilated and pressurised in case of a fire. Cross passages located every 250 m in the tunnel connect the tunnel to the emergency gallery.</i>
Niches de sécurité et alimentation en eau	Niches d'appel d'urgence, situées tous les 100 m, renfermant un bouton d'alarme coup de poing, un téléphone et deux extincteurs. Niches incendie séparées, situées tous les 150 m, permettant l'alimentation en eau des pompiers.	Niches d'appel d'urgence, situées tous les 212 m, renfermant un bouton d'alarme coup de poing, un téléphone et deux extincteurs. Niches incendie, situées tous les 106 m, permettant l'alimentation en eau des pompiers et renfermant un tuyau d'incendie de 120 m, un extincteur à mousse et une réserve d'émulsifiant.	Niches d'appel d'urgence, situées tous les 125 m, renfermant un bouton d'alarme coup de poing, un téléphone et des extincteurs d'incendie. Branchements possibles au réseau d'alimentation en eau pour les pompiers, tous les 125 m.
Safety niches and water supply	<i>Emergency call niches every 100 m contain a fire alarm push button, a telephone and two fire extinguishers. Separate fire niches every 150 m provide water supply for fire-fighters.</i>	<i>Emergency call niches every 212 m contain a fire alarm push button, a telephone, and 2 fire extinguishers. Fire niches every 106 m provide water supply for fire fighters. They contain a 120 m long hose, a foam nozzle and a reserve of emulsifier.</i>	<i>Emergency call niches every 125 m contain a fire alarm push button, a telephone, and fire extinguishers. Connections to the hydraulic system are possible for fire brigades every 125 m.</i>
Système de détection automatique d'incendie* *[Les 3 tunnels étaient équipés de systèmes de détection des fumées, des gaz et par caméra] Automatic fire detection system* * [There were smoke, gases and visual detection in all 3 tunnels]	Deux différents systèmes de détection incendie ont été installés sur les deux moitiés du tunnel. Sur la moitié italienne, le système de détection incendie était basé sur la détection d'une élévation de température, en mesurant la variation de pression d'un gaz dans des tubes de 70 m de longueur, situés le long de la voûte du tunnel. Sur la moitié française, le système de détection incendie était identique à celui installé dans le tunnel de Tauern.	Système de détection incendie constitué d'un câble équipé de capteurs tous les 8 m, situé sous le faux plafond. L'alarme se déclenchait en cas d'élévation de la température ambiante par rapport à la température moyenne des capteurs adjacents ou en cas de température supérieure à 50° C.	Système de détection incendie basé sur la détection d'une élévation de température. Capteurs situés tous les 25 m.
Feux de signalisation Traffic lights	Placés à chaque tête et tous les 1 200 m à l'intérieur du tunnel. <i>Located at portals and every 1,200 m inside the tunnel.</i>	Placés à chaque tête et tous les 848 m à l'intérieur du tunnel. <i>Located at portals and every 848 m inside the tunnel.</i>	Placés tous les 250 m à l'intérieur du tunnel. <i>Located every 250 m inside the tunnel.</i>

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD

(Suite Tableau 3)

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Caméras	Placées tous les 300 m, commandées depuis les postes de contrôle.	Placées tous les 212 m, commandées depuis le poste de contrôle.	Placées tous les 200 m, commandées depuis le poste de contrôle
<i>Cameras</i>	<i>Located every 300 m, monitored in the control centres.</i>	<i>Located every 212 m, monitored in the control centre.</i>	<i>Located every 200 m, monitored in the control centre</i>
Communications radio	Le câble rayonnant pour rediffusion des chaînes de radio peut être utilisé pour incruster des messages aux conducteurs, en cas d'urgence.	Il est possible, par la chaîne de radio trafic, de transmettre des messages d'alerte dans le tunnel, en cas d'urgence.	Couverture FM, radio et GSM avec incrustation périodique de messages d'information aux conducteurs.
<i>Radio Communications</i>	<i>The radiating cable for radio channels rebroadcast can be used to incrust some messages to the motorists during an emergency.</i>	<i>By means of traffic radio channel alarm messages can be sent into the tunnel during an emergency.</i>	<i>Full FM, service radio and GSM coverage, with regular incrustation of information messages to the motorists.</i>

Contrôle

Dans tous les tunnels, le contrôle était effectué depuis des postes de contrôle fonctionnant 24 heures sur 24. Les précisions sur les systèmes de contrôle sont indiquées sur le Tableau 4 ci-dessous.

Tunnel Control

In all tunnels, control was via 24 hour manned tunnel control centres. The details of the tunnel control are shown below in Table 4 below.

Tableau 4

Fonctions de contrôle

Table 4

Tunnel control functions

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Postes de contrôle	Deux, chacun contrôlant une moitié du tunnel.	Données non disponibles.	Deux, mais un seul poste de contrôle en fonctionnement à la fois, contrôlant la totalité du tunnel.
<i>Control centres</i>	<i>Two – each controlling one half of tunnel.</i>	<i>Data not available.</i>	<i>Two – but only one control centre in operation at a time - controlling the entire tunnel.</i>
Détection d'incidents	Manuelle.	Manuelle.	Automatisée.
<i>Incident detection</i>	<i>Manual.</i>	<i>Manual.</i>	<i>Automated.</i>
Principaux paramètres de ventilation mode normal	CO et visibilité.	CO et visibilité.	CO et visibilité.
<i>Mode incendie normal mode key ventilation parameter</i>	<i>CO and Visibility.</i>	<i>CO and Visibility.</i>	<i>CO and Visibility.</i>
Mode incendie	Extraction maximale sur le lieu de l'incendie, déclenchée manuellement.	Configuration d'extraction automatisée, une fois l'incendie localisé.	Configuration d'extraction automatisée, une fois l'incendie localisé.
<i>Fire mode</i>	<i>Manually set maximum extraction in fire zone.</i>	<i>Automated extraction configuration once fire location determined.</i>	<i>Automated extraction configuration once fire location determined.</i>
Ventilation d'urgence	Alimentation maximale en air frais dans la section de ventilation en feu.	Réduction de l'alimentation en air frais dans la section de ventilation en feu.	Réduction de l'alimentation en air frais de 30 % par rapport à la capacité maximale de la section de ventilation en feu.
<i>Emergency fresh air</i>	<i>Maximum fresh air to ventilation section containing fire.</i>	<i>Cut fresh air to ventilation section containing fire.</i>	<i>Cut fresh air to 30% of full capacity ventilation section containing fire.</i>
Moyens externes de lutte contre l'incendie	Équipe de secours du tunnel à chaque tête, comprenant un pompier, un motocycliste, un camion-citerne de 2 000 l, un camion-citerne de 600 l, des extincteurs, un appareil respiratoire et une ambulance.	Brigades communales, bien entraînées, qui ont pu accéder à chaque tête.	Équipes de secours du tunnel comprenant quatre pompiers et quatre véhicules de lutte contre l'incendie, à chaque tête.
<i>External fire fighting resources</i>	<i>Tunnels rescue team at one portal, comprising 1 fireman, motorcyclist, 2,000 ltr fire tanker, truck 600 ltr, extinguishers, breathing apparatus, ambulance.</i>	<i>Well trained communal brigades, which could access each portal.</i>	<i>Tunnel rescue teams comprising 4 firemen with four fire fighting vehicles at each portal.</i>

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

Les procédures du tunnel du Mont-Blanc n'étaient pas conformes aux publications de l'AIPCR [5] qui, en cas d'incendie, recommandaient de réduire l'alimentation en air frais, lorsque les bouches de ventilation sont situées près de la chaussée, et de la couper lorsque les bouches de ventilation sont situées près du plafond.

The procedures of the Mont Blanc Tunnel were not in accordance with PIARC publications [5] which, in case of fire, recommended to reduce the fresh air blowing when fresh air inlets are located near the road surface, and to stop it when inlets are located in the ceiling.

GESTION DES INCENDIES

THE FIRES AND THEIR MANAGEMENT

Conditions de circulation avant et après l'alerte

Traffic Conditions before and after the Fire Alarm

Tableau 5

Conditions de circulation avant et après l'alerte

Tableau 5

Tunnel traffic conditions before and after the fire alarm

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTTHARD
Conditions de circulation avant l'incident <i>Traffic conditions prior to incident</i>	Circulation fluide. <i>Free flowing.</i>	Il y avait des travaux de réparation sur 500 m à l'intérieur, depuis l'entrée Nord. La circulation était limitée à la voie en direction du nord (voir Fig. 6). Des feux de signalisation avaient été placés sur cette voie, à 630 m de l'entrée Nord, pour établir une circulation alternée dans la zone de travaux. Pour la voie en direction du sud, des feux de signalisation avaient été placés à l'entrée Nord. La vitesse dans le tunnel était limitée à 50 km/h et la vitesse le long du chantier, à 30 km/h. Le trafic était plus lourd en direction du sud qu'en direction du nord. <i>There were repair works for 500 m inside the North portal area. Traffic was restricted to the north direction lane (see Fig 6). Traffic lights had been placed on the north direction lane inside the tunnel 630 m from the north portal to alternate circulation in the work area. For the south direction lane, traffic lights at the north portal were used. The speed limit in the tunnel was 50 km/h and the speed limit along the work site was 30 km/h. The traffic was heavier in the southern direction than in the northern.</i>	L'entrée Sud du tunnel était déjà fermée à la circulation lorsque l'incendie s'est déclaré, en raison d'un poids lourd dépassant la hauteur autorisée. La circulation dans l'autre direction était fluide. <i>South entrance of the tunnel was already closed to the traffic at the fire beginning, because of a HGV exceeding the allowed height. The traffic in the other direction was fluent.</i>
Temps écoulé entre l'alerte et la fermeture du tunnel <i>Time from fire alarm to tunnel closure</i>	3 minutes. <i>3 minutes.</i>	3 minutes. <i>3 minutes.</i>	5 minutes. <i>5 minutes.</i>
Temps écoulé avant l'appel aux services de secours publics <i>Time until public emergency services called</i>	Français 5 minutes Italiens 9 minutes. <i>French 5 minutes Italian 9 minutes.</i>	3 minutes. <i>3 minutes.</i>	1 minute (un motocycliste a appelé le numéro d'urgence). <i>1 minute (motorist called emergency number).</i>
Temps écoulé avant l'arrivée des services de secours <i>Time until emergency services arrived</i>	4 minutes pour les services de secours privés. 17 minutes pour les services de pompiers publics. <i>4 minutes private rescue force 17 minutes public fire-brigade.</i>	15 minutes pour les services de pompiers publics (en raison d'un malentendu, ils ne sont pas intervenus au bon endroit). <i>15 minutes public fire-brigade (Misunderstanding meant attended wrong location).</i>	3 minutes pour l'équipe de secours du tunnel. 10 minutes pour les services de pompiers publics. <i>3 minutes tunnel rescue team 10 minutes public fire brigade.</i>
Les premiers pompiers ont-ils pu atteindre le feu ? <i>Could early fire fighters approach fire?</i>	Non, ils ont été arrêtés par la fumée. <i>No, stopped by smoke.</i>	Non, ils ont été arrêtés par la fumée. <i>No, stopped by smoke.</i>	Oui, la ventilation a permis aux pompiers d'atteindre le feu. <i>Yes – ventilation let fireman approach fire.</i>
Les pompiers se sont-ils inutilement mis en danger ? <i>Did fire fighters unnecessarily endanger themselves</i>	Oui, ils sont entrés par les deux têtes du tunnel sans instructions ni équipements appropriés d'aucun côté et ont été bloqués à l'intérieur plusieurs heures. <i>Yes – Firemen entered from both portals with inadequate briefings and equipment on both sides and became trapped for several hours.</i>	Il a été possible de pousser le front de fumée en alimentant d'air frais les sections de ventilation éloignées de l'incendie. Cela a permis aux pompiers d'accéder à la niche incendie où s'étaient abritées 3 personnes, ainsi qu'à l'incendie. <i>It was possible to push the smoke plug by blowing fresh air in the ventilation sections remote from the fire. This permitted fire brigades the access to the fire niche where 3 people were sheltered, and to the fire.</i>	Données non disponibles. <i>Data Not Available.</i>

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD

(Suite Tableau 5)

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Comment le tunnel a-t-il été fermé à la circulation ? <i>How was the tunnel closed to traffic?</i>	Côté français : feux rouges et sirènes. Côté italien : barrières de sécurité. <i>French side: red lights and sirens. Italian side barriers.</i>	Feux rouges à l'entrée Nord (queue de véhicules déjà formée en raison des travaux routiers). <i>Red lights at North Portal (Vehicle queue already formed for road works).</i>	Données non disponibles. <i>Data Not Available</i>
Les extincteurs d'incendie ont-ils été utiles ? <i>Were fire extinguishers useful?</i>	Non, inadaptés. <i>No - inadequate.</i>	Non, inadaptés. <i>No - inadequate.</i>	Non, inadaptés. <i>No - inadequate.</i>
Moyens anti-incendie utilisés <i>Fire resources involved</i>	35 véhicules de secours et 108 pompiers présents simultanément sur les lieux. <i>35 rescue vehicles and 108 firemen simultaneously present on site.</i>	76 véhicules et 454 pompiers sur les lieux. <i>76 vehicles and 454 firemen on site.</i>	350 personnes, 70 véhicules et 5 hélicoptères. <i>350 peoples, 70 vehicles and 5 helicopters.</i>
Les téléphones de secours ont-ils été utilisés ? <i>Emergency phones used?</i>	Oui. <i>Yes.</i>	Oui (par les personnes qui ont pu s'échapper et celles qui sont restées bloquées). <i>Yes (by both escaping and trapped people).</i>	Oui. <i>Yes.</i>
L'exploitant a-t-il pu déterminer le nombre de personnes et de véhicules présents dans le tunnel ? <i>Could operator determine number of people and vehicles in tunnel?</i>	Non. <i>No.</i>	Non. <i>No.</i>	Non. <i>No.</i>
Des messages ont-ils été diffusés aux usagers ? <i>Messages to users?</i>	Messages radio aux usagers 20 mn après le début de l'incendie <i>Radio message to the tunnel users 20 min after the fire beginning.</i>	Messages radio <i>Radio message.</i>	Messages radio diffusés très rapidement, éclairage des itinéraires d'évacuation. <i>Radio messages were sent very quickly – evacuation paths were illuminated.</i>

Remarque : Des données concernent le nombre de véhicules présents dans le tunnel au début de l'incendie ou entrés dans le tunnel après le début de l'incendie.

Note: The data on number of vehicles present in the tunnel are from the fire's beginning or entering the tunnel after the fire's beginning.

Le tableau 6 ci-dessous indique le nombre de véhicules présents dans chaque tunnel pendant l'incendie.

Table 6 below indicates the number of vehicles present in each of the tunnels during the fires.

Tableau 6

Table 6

Nombre de véhicules présents

Numbers of vehicles present in the tunnels

MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
<p>Avant la fermeture du tunnel, 29 véhicules (16 PL, 9 voitures, 1 camionnette et 1 motocyclette) sont entrés par le côté français. Quatre poids lourds ont dépassé le poids lourd en feu, déjà arrêté. Les 25 autres véhicules ont été bloqués par la fumée et pris plus tard dans l'incendie.</p> <p>Entre-temps, d'autres véhicules sont également entrés par le côté italien. Certains ont croisé le poids lourd en feu. Huit poids lourds et plusieurs voitures particulières se sont arrêtés au niveau du garage 22 en voyant de la fumée devant eux. Toutes les voitures ont pu faire demi-tour et quitter le tunnel. Les huit camions ont été pris plus tard dans l'incendie.</p> <p><i>Before the tunnel closed, 29 vehicles (16 HGVs, 9 cars, 1 pick-up van, 1 motorcycle) entered the tunnel through the French portal. Four HGVs passed the HGV on fire after it had stopped. The other 25 vehicles were trapped in the smoke and later caught in the fire.</i></p> <p><i>During the same time, vehicles also entered the tunnel from Italy. Some of them crossed the burning HGV. Eight HGVs and several passenger cars stopped at the level of lay-by 22 because they saw smoke ahead. The passenger cars could all do a U-turn and leave the tunnel. The eight HGVs were later caught in the fire.</i></p>	<p>Au moment de l'accident, il y avait environ 140 véhicules dans le tunnel. Quelque 70 véhicules sont entrés dans le tunnel après l'accident, mais ils ne se sont pas approchés du lieu de l'incendie. Quelques 170 véhicules ont quitté le tunnel après l'accident.</p> <p>24 voitures et 16 camions ont été pris dans l'incendie, dont 4 voitures et 2 camions déjà endommagés par l'accident (ayant entraîné 8 morts).</p> <p><i>During the accident there were about 140 vehicles in the tunnel. About 70 vehicles entered the tunnel after the accident, but they did not come near the fire zone. About 170 vehicles left the tunnel after the accident.</i></p> <p><i>24 cars and 16 lorries were caught in the fire, among which 2 lorries and 4 cars were already damaged by the accident (8 deaths from crash).</i></p>	<p>23 véhicules dont 13 poids lourds ont été bloqués du côté Nord de l'accident. Le nombre d'usagers qui ont pu s'échapper par la galerie de secours est estimé à 30-35 personnes.</p> <p><i>23 vehicles, including 13 HGVs, were trapped on the Northern side of the accident. The number of tunnel users that could escape through the emergency gallery is estimated to 30 to 35 people.</i></p>

Remarque : Des données concernent le nombre de véhicules présents dans le tunnel au début de l'incendie ou entrés dans le tunnel après le début de l'incendie.

Note: The data on number of vehicles present in the tunnel are from the fire's beginning or entering the tunnel after the fire's beginning.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

Incendies

Dans le tunnel du Mont-Blanc, l'incendie s'est déclaré presque au milieu de l'ouvrage (à 6 550 m de l'entrée française et à 5 050 m de l'entrée italienne) ; dans le tunnel des Tauern, il s'est déclaré à environ 800 m de l'entrée Nord et dans le tunnel du Gothard, à 1 100 m de l'entrée Sud, comme le montre la Figure 6. Les précisions sur les incendies sont indiquées sur le Tableau 7.

The Fires

The Mont Blanc Tunnel fire occurred almost in the middle of the tunnel (6 550 m from the French portal and 5 050 m from the Italian portal), whereas the Tauern Tunnel fire took place approximately 800 m from its North portal, and the Gotthard Tunnel fire at 1 100 m from the South portal, as shown in Figure 6. The details of the fires are shown in Table 7.T

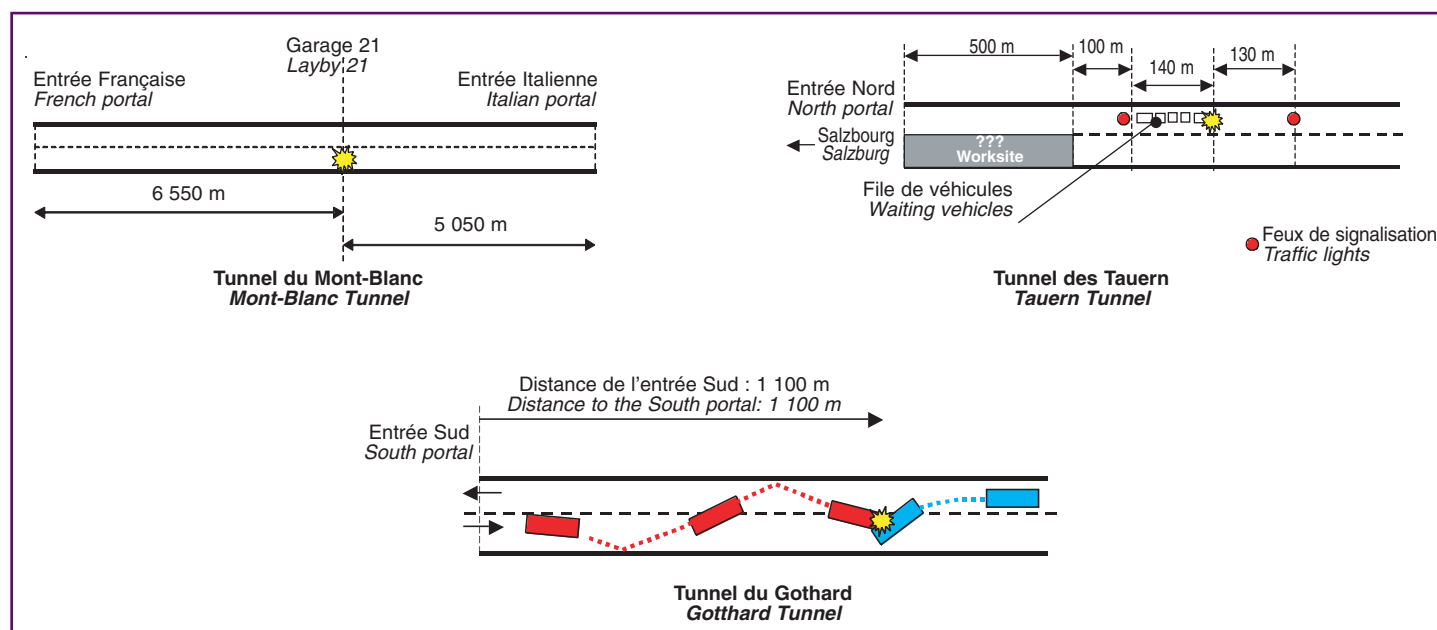


Figure 6

Lieu de l'incendie

Figure 6

Fire locations in the tunnels

Tableau 7

Incendies

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTTHARD
Origine de l'incendie	Combustion spontanée d'une cabine de poids lourd.	Collision avant et arrière entre un poids lourd et plusieurs autres véhicules, dont un poids lourd qui transportait des bidons de laque.	Collision entre deux poids lourds circulant en sens opposés. Le poids lourd allant vers le Nord a percuté la paroi côté droit, a été renvoyé vers la voie opposée et a finalement percuté la paroi gauche. Le poids lourd allant vers le Sud n'a pas pu éviter la collision. Du carburant de l'un des poids lourds s'est répandu. La combustion a été causée par un arc électrique provenant de la batterie d'un des deux véhicules.
Origin of the initial fire	Spontaneous ignition of a HGV's cab.	Front rear collision between a HGV and several vehicles, among which a HGV transporting tins containing lacquer.	Collision between two HGVs travelling in opposite directions. The Northbound HGV collided with the tunnel wall, deviated to the opposite traffic lane, and then collided with the other wall. A Southbound HGV could not avoid the collision. Fuel spilled from one of the HGVs. The ignition was caused by an electric arc from a HGV's battery.
Propagation de l'incendie	Délai d'embrasement des autres véhicules inconnu.	Le feu s'est très vite étendu aux autres véhicules, car la collision avait entraîné un déversement de carburant sur la chaussée.	En moins de 4 minutes, les deux poids lourds étaient en feu.
Fire development	Time taken to begin burning other vehicles unknown	The fire propagated very quickly to other vehicles, because the collision caused fuel to spill on the roadway.	Within 4 minutes both HGVs were on fire.
Nombre de véhicules impliqués	34 véhicules dont 20 poids lourds ont brûlé.	20 véhicules et 14 poids lourds.	23 véhicules ont totalement brûlé ou ont été endommagés par le feu (13 poids lourds et 10 véhicules).
Number of vehicles involved	34 vehicles among which 20 HGVs did burn.	20 cars and 14 HGVs.	23 vehicles were totally burned or damaged during the fire (13 HGVs and 10 cars).

Tableau 7

The tunnel fires

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD

(Suite Tableau 7)

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Temps pour maîtriser l'incendie	53 heures.	14 heures.	Environ 24 heures.
Time to control fire	53 hours.	14 hours.	About 24 hours.
Estimation de la chaleur maximale dégagée	75 à 100 MW.	120 MW.	120 à 200 MW.
Estimated Maximum Heat Release Rate	75 to 100 MW.	120 MW.	120 to 200 MW.

Gestion de la réaction à l'incendie par les exploitants

Fire Response Management by the Operators

Tableau 8

Table 8

Systèmes de détection incendie

Tunnel Fire Detection Systems

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Efficacité des systèmes de détection incendie	Les systèmes de détection incendie n'ont pas déclenché d'alarme ni fourni d'information sur le lieu de l'incendie. Les images des caméras ont été masquées par la fumée. Les opacimètres ont été les premiers à donner l'alarme, 1 à 2 minutes avant que le camion ne s'arrête.	Alarme déclenchée dans les deux minutes, avec localisation précise de l'incendie.	Alerte donnée par un usager du tunnel ayant composé le numéro d'urgence, une minute après le début de l'incendie. Trois minutes pour déclencher l'alarme et localiser précisément l'incendie. Ventilation d'extraction automatisée, alarmes multiples déclenchant des extractions multiples en direction du lieu de l'incendie.
Effectiveness of Incident Detection Systems	Fire detection systems did not alarm or provide location information. Cameras were obscured by smoke. Opacity meters gave first alarms – 1 to 2 minutes before truck stopped.	Alarm within two minutes – and precise fire location.	Alarm from tunnel user calling emergency number 1 minute after fire. 3 minutes to alarm and accurate fire location. Automated extraction ventilation – multiple alarms automating multiple extractions in direction of fire plume.

Tableau 9

Table 9

Fonctionnement des systèmes de ventilation

Tunnel ventilation systems operation

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Modifications par rapport au mode d'urgence prévu	Le poste de contrôle italien a volontairement maintenu la gaine d'amenée d'air réversible en mode ventilation et non extraction, pour protéger de la fumée les personnes visibles sur les télévisions, du côté italien de l'incendie. Du côté français, les procédures d'urgence prévues en cas d'incendie ont été appliquées. Mais elles n'ont fait qu'accélérer la propagation des fumées vers l'entrée française.	41 minutes après le début de l'incendie, la ventilation a été modifiée pour sauver 3 personnes bloquées dans une niche et pour lutter contre l'incendie du côté Sud.	Aucune modification. Le système de détection incendie a détecté le feu et les procédures automatisées d'extraction des fumées ont été lancées. La propagation des fumées a déclenché d'autres alarmes, qui ont lancé automatiquement d'autres procédures d'extraction des fumées. Ces mécanismes ont accéléré la vitesse longitudinale de l'air et la progression des fumées vers le nord. La fumée a progressé sur une longueur de 2 500 m.
Variation from Anticipated Emergency Mode	Italian control deliberately maintained reversible air duct in supply mode instead of extraction to protect people seen on CCTV on the Italian side of the fire from smoke. On the French side, predetermined fire emergency ventilation procedures were applied. However this led to an acceleration of the smoke propagation towards the French portal.	41 minutes after fire began ventilation modified to save 3 people trapped in niche – and to initiate fire fighting from south	No Variation. The fire detection system detected the fire, and automated smoke extraction procedures were initiated. The propagating smoke generated further fire alarms, which automatically activated further smoke extraction This increased the longitudinal air velocity and the smoke progress towards North. The smoke progressed over a length of 2,500 m.

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

Conditions ambiantes pendant les incendies

Les conditions ambiantes à l'intérieur des tunnels sont énumérées sur le Tableau 10 ci-dessous.

Tableau 10

Conditions ambiantes pendant l'incendie

Environment in the Tunnels during the Fires

A summary of the environmental conditions within the tunnels is contained within the following Table 10.

Table 10

Environmental conditions within the tunnels during the fires

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTTHARD
Stratification des fumées	Limitée : 100 m du côté italien de l'incendie La fumée s'est propagée rapidement vers la partie française (35 minutes jusqu'à l'entrée), en raison de l'alimentation en air frais.	Limitée aux 20 premières minutes. L'explosion de diluants pour peinture a entraîné une déstratification des fumées.	Dégradation en aval de l'incendie, due au flux d'air longitudinal Augmentation de la vitesse de l'air en raison de l'utilisation de différents points d'extraction.
Smoke stratification	Limited – 100 m on Italian side of fire Smoke travelled towards France rapidly due to fresh air input (35 minutes to portal).	Limited to first 20 minutes. Explosion of paint thinners resulted in smoke de-stratification.	Deterioration downstream of fire due to Longitudinal flow. Air velocities increased by use of multiple extraction points.
Sort des personnes bloquées dans les fumées	Toutes tuées par les fumées toxiques. <i>A.II died from smoke toxicity.</i>	Toutes tuées par les fumées toxiques. Une niche d'appel d'urgence a partiellement protégé 3 personnes. <i>All died from smoke toxicity. Emergency niche partially protected 3 people.</i>	Toutes tuées par les fumées toxiques (prises au piège 6 à 7 minutes après le début de l'incendie, tuées 12 à 15 minutes après le début de l'incendie) <i>All died from smoke toxicity (trapped 6-7 minutes after fire began – dead 12 -15 minutes after fire began).</i>
Fate of people trapped in smoke			
Des personnes ont-elles été tuées par la chaleur ?	Aucune dans le tube du tunnel, mais deux après plusieurs heures dans un refuge.	Non.	Non.
Did heat kill people?	<i>No in the tunnel tube; however two died from heat after several hours in a shelter.</i>	<i>No.</i>	<i>No.</i>
Des personnes ont-elles été tuées par l'effondrement du tunnel ?	Non. Le tunnel ne s'est pas effondré.	Non.	Non. Le faux plafond du tunnel du Gothard s'est effondré sur une longueur d'environ 250 m, autour du lieu de l'incendie, 39 minutes après que le feu s'est déclaré. Cela n'a eu aucune influence sur la sécurité des usagers, qui étaient morts.
Did collapse of tunnel kill People?	<i>No. There was no tunnel collapse.</i>	<i>No.</i>	<i>No. The intermediate ceiling of the Gotthard Tunnel collapsed on a length of about 250 m around the fire location 39 minutes after the fire beginning. This had no influence on the safety of the tunnel users as they were dead.</i>

Déplacement de la fumée :

Les déplacements de la fumée dans les tunnels du Mont-Blanc et des Tauern sont résumés sur les deux graphiques ci-dessous (Figures 7 et 8).

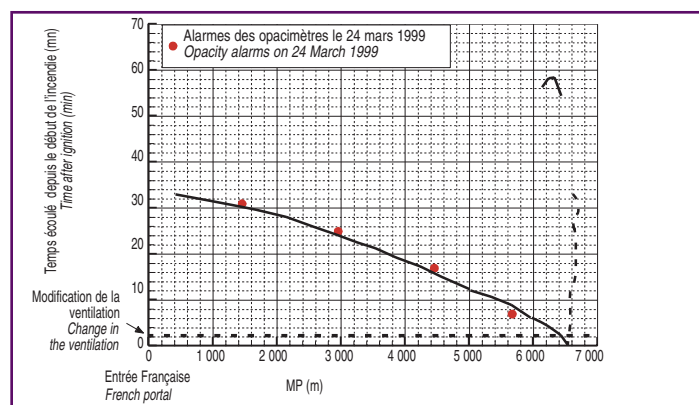


Figure 7

Progression des fumées pendant l'incendie du tunnel du Mont-Blanc
Smoke progress during the Mont Blanc fire

Smoke Movement:

A summary of smoke movement within the Mont Blanc Tunnel and Tauern Tunnel is contained in the following series of graphs shown on Figures 7 and 8.

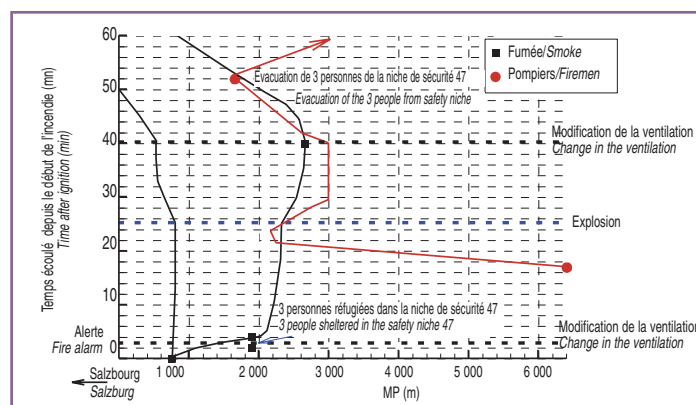


Figure 8

Progression des fumées pendant l'incendie du tunnel des Tauern
Smoke progress during the Tauern Tunnel fire

Victimes

Les chiffres des victimes dans chaque incendie de tunnel sont indiqués sur le Tableau 11 ci-dessous.

Victims

A summary of the victim statistics for each tunnel fire appears in Table 11 below.

Tableau 11

Chiffres des victimes des incendies

Table 11

Tunnel Fire Victim Summary

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Personnes sauvées par leurs propres moyens People escaping by self rescue		80	30-35 (des personnes à 300-600 mètres de l'incendie n'ont pas fui par leurs propres moyens et sont mortes, n'appréciant peut-être pas l'ampleur du danger). 30-35 (People 300 – 600 meters from fire did not self rescue – and died, perhaps not appreciating the danger).
Victimes découvertes dans les véhicules Victims found in vehicles	La plupart des victimes ont été découvertes à l'intérieur ou près des voitures (27 à l'intérieur, 9 à l'extérieur des voitures). Most Victims in or near Cars – 27 in cars, 9 outside cars.	2 (100 m au nord du lieu de l'incendie). 2 (100 m North of ignition point).	5
Autres victimes Other victims	Un motocycliste et un automobiliste sont morts de chaleur dans un refuge. 1 pompier. Motorcyclist and car driver died from heat in a shelter. 1 Fire-fighter.	1 personne a parcouru 800 m à pied pour fuir l'incendie, mais est morte asphyxiée. 1 personne est retournée chercher des documents et est morte dans la voiture d'une autre. 8 personnes ont été tuées dans l'accident. 1 person travelled 800m by foot away from fire but asphyxiated. 1 person returned for documents and died in another persons car. 8 died from vehicle crash.	3 personnes ont parcouru 200 m et n'ont pas trouvé ou pu ouvrir les portes des issues de secours. 3 Victims walked 200 m, failing to find or open emergency doors.

Ces trois incendies ont entraîné des pertes matérielles très importantes (voir Tableau 12) dans chaque tunnel.

These three fires led to very significant material losses (see Table 12) in each tunnel.

Tableau 12

Pertes matérielles dues aux incendies

Table 12

Material Losses due to Tunnel Fires

	MONT-BLANC	TAUERN	GOTHARD
Dommages importants dans le tunnel Severe tunnel damage	900 m	500 m	700 m
Fermeture du tunnel Tunnel closure	3 ans 3 years	3 mois 3 months	2 mois 2 months
Modification des systèmes de ventilation Modification of ventilation systems	Fondamentalement modifié Fundamentally changed	Perfectionné Extraction à plusieurs points améliorée Refined Point extraction improved	Perfectionné Refined

PRINCIPAUX ENSEIGNEMENTS TIRÉS DE CES INCENDIES

Ces trois tunnels étaient bidirectionnels, à ventilation transversale. Les matériaux qui ont brûlé étaient des matières dangereuses (tunnel des Tauern) ou des marchandises qui deviennent toxiques lorsqu'elles brûlent dans un espace confiné (farine et margarine dans le tunnel du Mont-Blanc, pneus dans le tunnel du Gothard).

La chaleur dégagée par ces différents incendies a rapidement atteint des valeurs dépassant 100 MW, bien supérieures à la valeur nominale de 30 MW, habituellement envisagée.

L'incendie du tunnel du Mont-Blanc a été le plus grave. Le lieu de l'incendie, au milieu du tunnel, le système inadapté d'extraction des fumées et la longueur des distances d'évacuation, ainsi que la séparation (et la mauvaise coordination) des postes de contrôle ont entraîné les plus grandes pertes humaines et matérielles.

Le tunnel des Tauern disposait d'un système de ventilation supérieur à celui du tunnel du Mont-Blanc. Les personnes prises dans l'incendie étaient également au courant de la catastrophe du Mont-Blanc, qui s'était produite quelques semaines avant, et savaient donc qu'elles devaient évacuer les lieux. Enfin, le lieu de l'incendie était comparativement plus proche de la tête du tunnel, ce qui a simplifié l'intervention des secours.

Dans l'incendie du tunnel du Gothard, la présence d'une galerie de secours a joué un rôle important dans l'évacuation des usagers par leurs propres moyens.

Enseignements

Les principaux enseignements tirés des faits et de leurs conséquences sont présentés sur le Tableau 13 ci-dessous.

Tableau 13

Enseignements

FAIT EVENT		CONSÉQUENCES CONSEQUENCES	ENSEIGNEMENTS LESSONS LEARNED
INCENDIES			
Le feu s'est étendu rapidement, bien que le chargement du camion ne fût pas classé parmi les matières dangereuses. <i>The fire grew rapidly, even if the lorry's load was not considered as dangerous goods.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> • Difficultés à atteindre le feu en raison de la fumée et de la chaleur. • Les usagers n'ont pas pu éteindre le feu à l'aide d'extincteurs. • Difficult to reach the fire because of smoke and heat. • Tunnel users could not extinguish the fire with extinguisher. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un incendie de poids lourd peut être grave, même si le véhicule ne transporte pas de « matières dangereuses ». • Redéfinir la notion de « matières dangereuses » pour les tunnels routiers. • HGV serious fires can happen even with "non dangerous" goods. • Redefine the notion of "dangerous goods" for road tunnels.

PRIMARY LESSONS LEARNED FROM THESE FIRES

Each of these 3 tunnels were bi-directional with transverse ventilation. The materials which burned included dangerous goods (Tauern Tunnel fire) and goods which become dangerous when burned in a confined space (flour and margarine in the Mont Blanc Tunnel fire, tyres in the Gotthard Tunnel fire)

The heat release rate of the different fires quickly reached values in excess of 100 MW, much more than the nominal 30 MW which is normally considered.

The Mont Blanc Tunnel fire was the most serious fire. The fire location in the middle of the tunnel, inadequate smoke extraction and long evacuation distances coupled with separate (and poorly co-ordinated) control centres conspiring to create the greatest loss of life and property damage.

The Tauern Tunnel had a superior ventilation system to the Mont Blanc Tunnel. People involved in the Tauern fire were also aware of the Mont Blanc catastrophe, which occurred a few weeks before, and were aware of the importance of timely self rescue. The fire was comparatively near the tunnel portal simplifying effective self-rescue.

In the Gotthard fire, the availability of an emergency gallery played a significant role in the self-evacuation of the users.

Lessons

The mains lessons drawn from what happened and what the consequences of this were, are presented in the following Table 13.

Table 13

Lessons learned

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD

ÉQUIPEMENTS DE SÉCURITÉ / SAFETY FACILITIES			
Détection et localisation rapides et précises de l'incendie. <i>Fast and precise fire location detection</i>	++	<ul style="list-style-type: none"> Optimisation du fonctionnement de la ventilation. <i>Optimisation of the ventilation operation.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de systèmes de détection incendie capables de localiser rapidement le feu. <i>Need of fire detection systems able to locate rapidly the fire.</i>
Système de détection incendie hors service. <i>Fire detection system was out of service.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> Lieu de l'incendie inconnu. <i>Fire location unknown.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de systèmes de détection incendie fiables, capables de localiser rapidement le feu <i>Need of reliable fire detection systems able to locate rapidly the fire.</i>
Première alerte donnée par les opacimètres et les détecteurs de fumée. <i>First alarm given by opacimeters and smoke detectors.</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> Alerte rapide. <i>Fast alarm.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes de détection incendie doivent comprendre la détection de fumée, en plus de la détection de l'élévation de température. <i>Fire detection systems should include a smoke detection in addition to temperature elevation detection.</i>
Deux (2) personnes tuées dans un refuge pressurisé en raison de la chaleur. <i>Two (2) people died in a pressurised shelter because of heat.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> 2 victimes. <i>2 victims.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Les refuges pressurisés doivent être reliés à une issue de secours autre que le tunnel. <i>Pressurised shelters must be related to an evacuation route that is not the tunnel itself.</i>
Le câble rayonnant placé dans la gaine d'air frais a fonctionné correctement pendant toute la durée de l'incendie, alors que d'autres équipements situés dans les zones de circulation ont été détruits. <i>The radiant cable placed in the fresh air duct worked properly during all the fire duration whereas other equipment placed in the traffic rooms were destroyed.</i>	++	<ul style="list-style-type: none"> Les communications ont été possibles pendant toutes les opérations de secours. <i>Communications were possible during all the rescue operations.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Placer, si possible, les équipements sensibles à la chaleur dans la gaine d'air frais. <i>Place the equipments sensitive to heat in the fresh air duct when possible.</i>
Le système de recueil des liquides (drainage) a fonctionné correctement. <i>The liquid collecting(drainage) system worked properly.</i>	++	<ul style="list-style-type: none"> Le carburant déversé a été évacué de la chaussée. Des flammes étaient visibles dans le collecteur, mais le feu ne s'est pas propagé dans les drains après le siphon. <i>The spilled fuel was evacuated from the road surface. Flames were visible in the collector, but the fire did not propagate in the ducts after the siphon.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Les systèmes de recueil des liquides équipés de siphons sont utiles. <i>Liquid collecting systems with siphons are useful.</i>
RÉACTION DES SERVICES DE SECOURS / RESPONSE BY RESCUE FORCES			
Les premiers pompiers sont arrivés par le côté du tunnel le plus enfumé. <i>First Firemen Arrived From The Most Smoked Tunnel Side.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> Les pompiers n'ont pas pu atteindre le feu. <i>Could not reach the fire.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'informer les pompiers sur le lieu et les déplacements de la fumée dans le tunnel. <i>Need to inform the fire-fighters on the smoke location and movement in the tunnel.</i>
Malentendu sur le lieu de l'incendie. <i>Misunderstanding about the fire location.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> Les pompiers sont arrivés tard dans le tunnel. <i>Arrived at the tunnel late.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de former les pompiers. <i>Need to train the fire-fighters.</i>
Les pompiers sont entrés dans le tunnel avec un équipement inadéquat. <i>Firemen entered the tunnel with inappropriate equipment.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> Les pompiers ont été bloqués dans le tunnel. L'un d'eux est mort. Les autres ont été évacués au bout de plusieurs heures. <i>Firefighters- were trapped in the tunnel. One died, and the evacuation of the others needed several hours.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité de former les pompiers. Nécessité d'une coopération entre les exploitants du tunnel et les pompiers pour une bonne information sur la situation à l'intérieur du tunnel. <i>Need to train the firefighters.</i> <i>Cooperation needed between the tunnel operators and the firefighters to inform them on the situation inside the tunnel.</i>
Les pompiers sont arrivés sur le lieu de l'incendie aussi vite que techniquement nécessaire pour atteindre le feu. <i>Fire-fighters arrived at the fire in the shortest time technically needed to reach the fire.</i>	+	<ul style="list-style-type: none"> Même avec ce temps de réaction court, l'incendie était déjà très étendu et difficile à combattre. <i>Even with this short reaction time, the fire was already very large and difficult to fight.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> En cas d'incendie important, les usagers doivent évacuer le tunnel par leurs propres moyens dans un délai très court. <i>In case of a big fire, the users have to self-evacuate by their own in a very short time period.</i>
COMPOORTEMENT DES USAGERS / USER'S BEHAVIOUR			
Les usagers ont eu l'idée de fuir. <i>Users Had The Thought To Flee.</i>	++	<ul style="list-style-type: none"> Moins de victimes. <i>Less victims.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'informer les usagers sur la conduite à tenir. <i>Need to inform the users on the behaviour expected from them.</i>
Les usagers sont restés dans leurs véhicules. <i>Users Stayed In Their Vehicles.</i>	--	<ul style="list-style-type: none"> Les victimes sont mortes asphyxiées par la fumée. <i>Victims died asphyxiated in the smoke.</i> 	<ul style="list-style-type: none"> Nécessité d'informer les usagers sur la conduite à tenir <i>Need to inform the users on the behaviour expected from them.</i>

A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE MONT BLANC, TAUERN AND GOTTHARD TUNNEL FIRES

<p>Trois usagers se sont réfugiés dans une niche d'appel d'urgence.</p> <p><i>Three users took refuge in an emergency call niche.</i></p>	-	<ul style="list-style-type: none"> • Ils ont peut-être pensé que l'endroit était sûr, alors que ce n'était pas le cas. • Ils ont dû être secourus par les pompiers. • Perhaps they thought that they were in a safe area while it was not the case. • Needed to be rescued by firemen. 	<ul style="list-style-type: none"> • Il faut indiquer aux usagers que les niches d'appel d'urgence ne sont pas des endroits sûrs. Il ne doit pas y avoir de confusion possible entre les niches d'appel d'urgence et les refuges pressurisés ou les issues de secours. • Emergency call niches have to be identified by the tunnel users as non safe areas. There must be no confusion possible between emergency call niches and pressurized shelters or evacuation routes.
<p>Des automobilistes sont entrés dans le tunnel malgré le feu rouge et les sirènes.</p> <p><i>Car drivers entered the tunnel in spite of the red signal and siren.</i></p>	--	<ul style="list-style-type: none"> • Plus de victimes. • more victims. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'informer les usagers sur la conduite à tenir. • Need to inform the users on the behaviour expected from them.
<p>Les usagers ont utilisé les issues de secours.</p> <p><i>Users used the emergency exits.</i></p>	++	<ul style="list-style-type: none"> • Moins de victimes. • Less victims. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité d'informer les usagers sur la conduite à tenir en cas d'incendie. • Need to inform the users on the behaviour expected from them in case of a fire.
<p>Les victimes sont des automobilistes arrêtés dans le tunnel à 300 ou 600 m de l'incendie. Ils n'ont certainement pas vu le feu depuis leurs véhicules.</p> <p><i>The victims were drivers who stopped in the tunnel 300 to 600 m far away from the fire; and certainly couldn't see the fire from their vehicle.</i></p>	--	<ul style="list-style-type: none"> • Plus de victimes • more victims. 	<ul style="list-style-type: none"> • Les usagers doivent être informés qu'en cas d'arrêt de la circulation dans un tunnel et en l'absence d'informations sur la situation, ils doivent quitter leur véhicule et rejoindre une issue de secours ou un refuge. • The tunnel users should be told that in case of a traffic stop in a tunnel with no information about what is happening, they have to leave their vehicle and reach the emergency exits or shelters.
EXPLOITATION DU TUNNEL / TUNNEL OPERATION			
<p>Deux postes de contrôle séparés, chargés chacun d'une moitié du tunnel.</p> <p><i>Two separate control centres each operating a half of the tunnel.</i></p>	--	<ul style="list-style-type: none"> • Absence de coordination entre les exploitants de tunnel des deux postes. • Complications dans le fonctionnement de la ventilation d'urgence et les communications entre les équipes de secours. • Lack of coordination between the tunnel operators of the two centres. • Complicated emergency ventilation operation and communication with rescue forces. 	<ul style="list-style-type: none"> • Un seul poste de contrôle à la fois pour gérer le tunnel. • Only one control centre operating the tunnel at the same time.
<p>Alimentation maximale en air frais (depuis le sol).</p> <p><i>Fresh air supply at full capacity (from the bottom).</i></p>	--	<ul style="list-style-type: none"> • A accéléré la vitesse de déplacement de la fumée vers les têtes du tunnel. • A allongé le front de fumée. • A probablement contribué à la déstratification. • Accelerated the smoke velocity towards the portals. • Longer smoke plug. • Probably contributed to de-stratification. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'alimentation en air frais depuis le sol doit être réduite sur le lieu de l'incendie. • Les procédures de ventilation doivent être vérifiées régulièrement à la lumière des recommandations disponibles. • Fresh air supply from the bottom must be reduced in the fire zone. • Ventilation procedures have to be checked periodically in the light of available recommendations.
<p>L'alimentation en air frais depuis le plafond a été coupée après l'alerte.</p> <p><i>Fresh air supply from the ceiling stopped after the fire alarm.</i></p>	++	<ul style="list-style-type: none"> • A permis la stratification des fumées dans les minutes qui ont suivi l'incendie. • Permitted smoke stratification in the minutes following the fire. 	<ul style="list-style-type: none"> • L'alimentation en air frais depuis le plafond doit être coupée sur le lieu de l'incendie pour favoriser la stratification des fumées. • Fresh air supply from the ceiling must be stopped in the fire zone to favour the smoke stratification.
<p>Les procédures de ventilation n'ont pas été suivies (soufflage au lieu d'extraction).</p> <p><i>Ventilation procedures were not followed (blowing instead of extracting).</i></p>	-	<ul style="list-style-type: none"> • Absence d'extraction des fumées sur le lieu de l'incendie. • La ventilation depuis le plafond a contribué à la déstratification des fumées. • No smoke extraction in the fire zone. • Blowing from the ceiling contributed to the smoke destratification. 	<ul style="list-style-type: none"> • Nécessité de former les exploitants du tunnel sur la conduite à tenir en cas d'urgence. • Need to train the tunnel operators to react to emergency situations.
<p>Une file de véhicules s'est formée à l'arrière de l'incendie.</p> <p><i>A vehicle queue build up at the backside of the fire.</i></p>	--	<ul style="list-style-type: none"> • Nombre élevé de personnes dans la zone dangereuse. • Le feu s'est étendu aux autres véhicules. • A high number of people in the dangerous zone. • The fire transmitted to other vehicles. 	<ul style="list-style-type: none"> • La distance de sécurité par rapport à l'incendie doit être respectée, lorsque les véhicules doivent s'arrêter dans le tunnel. Nécessité d'informer les usagers. • Envisager des barrières de sécurité dans les tunnels longs pour éviter un encombrement de véhicules dans les zones dangereuses. • Fire safety distance must be respected when vehicles have to stop in a tunnel. Need to provide information for the users. • Barriers should be considered in long tunnels to avoid the accumulation of vehicle in dangerous zones.

ANALYSE COMPARATIVE DES INCENDIES DES TUNNELS DU MONT-BLANC, DES TAUERN ET DU GOTHARD

Le tunnel a été coupé à la circulation rapidement (3 mn après le début de l'incendie). <i>The Tunnel Was Closed To The Traffic Rapidly (3 Min After The Fire Beginning).</i>	++	<ul style="list-style-type: none">• A limité le nombre de personnes présentes dans le tunnel.• <i>Limited the number of people present in the tunnel.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Éduquer les usagers.• Envisager l'utilisation de barrières plutôt que de feux de signalisation pour fermer le tunnel.• <i>Tunnel users have to be educated.</i>• <i>Consider use of physical barrier instead of traffic lights to close the tunnel.</i>
Les exploitants n'ont pas pu savoir le nombre de personnes présentes dans le tunnel au moment où l'incendie s'est déclaré et ultérieurement. <i>Operators could not know how many people were present in the tunnel at and after the fire beginning.</i>	–		<ul style="list-style-type: none">• Compter le nombre de véhicules entrants et sortants ?• <i>Count the entering and exiting vehicles ?</i>
La progression des fumées a déclenché d'autres alarmes qui ont lancé l'extraction des fumées très en aval de l'incendie. <i>The smoke progress gave further fire alarms which activated the smoke extraction far downstream the fire.</i>	–	<ul style="list-style-type: none">• La vitesse longitudinale de l'air et la progression des fumées se sont accélérées vers le nord.• <i>The longitudinal air velocity and the smoke progress was increased towards North.</i>	<ul style="list-style-type: none">• Les systèmes de ventilation automatiques doivent prendre en compte ce risque.• <i>Automatic systems for the operation of the ventilation should take care of this risk.</i>

Remarques : ++ conséquences très positives
+ conséquences positives
– conséquences négatives
-- conséquences très négatives

Notes: ++ very positive consequences
+ positive consequences
– negative consequences
-- very negative consequences

CONCLUSION

Les incendies des tunnels du Mont-Blanc, des Tauern et du Gothard montrent qu'un accident grave de poids lourd dans un tunnel à ventilation transversale peut entraîner différentes conséquences, en fonction de certains facteurs tels que la capacité et le fonctionnement du système de ventilation, la réaction des équipes de pompiers et le comportement des usagers.

Il est essentiel de localiser l'incendie avec précision, afin d'utiliser le système de ventilation le plus efficacement possible. Le temps de réaction des services de pompiers publics dans les incendies des tunnels du Mont-Blanc et des Tauern a été de l'ordre de 15 minutes. Le délai d'intervention des pompiers du tunnel sur l'incendie du tunnel du Gothard a même été plus court, mais pas assez pour combattre efficacement le feu. Cela signifie que la sécurité des usagers dépendait essentiellement de leur capacité d'auto-sauvetage (évacuer le tunnel par leurs propres moyens), dans les quelques minutes qui ont suivi le début de l'incendie, dès la mise en marche de la ventilation de secours.

Cela montre combien il est important d'équiper les tunnels de dispositifs facilitant l'auto-sauvetage, d'enseigner aux usagers à mettre en oeuvre leurs propres ressources (pour évacuer les lieux) et à les informer immédiatement. Cela met également en évidence le rôle capital du système de ventilation dans la première phase d'évacuation des usagers par leurs propres moyens et d'avancée des équipes de pompiers dans le tunnel.

Ces incendies nous ont également enseigné qu'il convient de former correctement les exploitants de tunnels, ainsi que les services de pompiers et d'aide médicale, et enfin, d'avoir une parfaite compréhension des systèmes de ventilation d'urgence et la capacité à les faire fonctionner suivant les procédures de ventilation d'urgence agréées et intégrées.

CONCLUSION

The Mont Blanc, Tauern and Gotthard Tunnel fires show that a serious HGV fire in a transverse ventilated tunnel can lead to a range of consequences, dependant on a number of factors including the ventilation system capacities, the ventilation system operation, the fire responders and the actions of the tunnel users.

The need to locate the fire precisely in such tunnels is essential if the ventilation system is to be operated in the most effective manner. The response time of public fire-brigades in the Mont Blanc and the Tauern Tunnel fires was in the order of 15 minutes. In the Gotthard Tunnel fire, the time for the tunnel firemen to be at the fire place was even shorter, but not sufficient to effectively fight the fire. This means that the safety of users was primarily dependant on their ability to self rescue (self-evacuate) in the few minutes immediately after the fire outbreak, during the first stages of the emergency ventilation operation.

This demonstrates the importance of the provision of self rescue features in tunnels, the education of the tunnel users in optimising their ability to self rescue (i.e. to flee) as well as their immediate information, the predominant role of the ventilation system operation during the initial users self-evacuation phase of the fire and the progression of fire response forces entering the tunnel.

These fires have also demonstrated the importance of effective training of tunnel operators, fire and medical response forces, and the importance of having an intimate understanding of and an ability to operate emergency ventilation systems in accordance with approved integrated emergency ventilation procedures.