

3 LESSONS LEARNED FROM RECENT TUNNEL FIRES

3.1 Introduction

The Mont-Blanc, the Tauern and the St. Gotthard Tunnels are transalpine road tunnels in which major fires have occurred in recent years.

On March 24, 1999, a large fire occurred in the middle of the Mont Blanc Tunnel, after the spontaneous ignition of a heavy goods vehicle (HGV) transporting margarine and flour. The initial HGV fire grew and became the most severe tunnel fire in the history of transalpine tunnels, claiming the lives of 39 people and causing serious damage to the tunnel equipment and part of the concrete lining, and some very local damage on the concrete slab below the pavement.

Two months later (on May 29, 1999), another serious fire occurred in the Tauern Tunnel. It was caused by a front-rear collision between several vehicles including an HGV transporting paint canisters. This fire claimed 12 victims, including eight who died in the collision itself.

On October 24, 2001, a frontal collision between two HGVs caused a major fire in the St. Gotthard Tunnel and claimed the lives of 11 people.

These three tunnels are bi-directional and transversely or semi-transversely ventilated. In all three accidents, the fires grew to be very large. However, the results of the fires in terms of the number of victims and the extent of material loss were most serious in the case of the Mont Blanc Tunnel.

This section explores the circumstances at different instances in an attempt to better explain why the Mont Blanc Tunnel fire, the Tauern Tunnel fire and the St. Gotthard Tunnel fire led to differing levels of catastrophe.

This section is separated into three subsections. The first subsection compares the tunnels in terms of geometry, traffic, safety facilities, and operation. The second subsection considers the response to the fires, management by the tunnel operators and fire rescue forces, as well as the behaviour of the users. The third subsection discusses and analyses what was comparable and what was different in the three fires, to extract some key points to explain the differences in the consequences of the three fires.

Le tunnel du Mont-Blanc est bi-national et se situe en partie en France et en partie en Italie. Il a été construit, financé et exploité en coordination par une société française et une société italienne. Le tunnel du Mont-Blanc était, et est toujours, sous le contrôle d'une commission inter-gouvernementale franco-italienne, qui fixe les normes à appliquer. Le tunnel du St. Gothard se situe entièrement en Suisse, mais à la frontière entre deux cantons. Le tunnel des Tauern se situe entièrement en Autriche. Ces deux tunnels doivent se conformer aux règles de leur pays respectif. Le tunnel du St. Gothard est exploité à tour de rôle par deux équipes d'exploitation appartenant à chacun des deux cantons, une seule étant en fonction à un moment donné. Le tunnel des Tauern est exploité par une seule équipe d'exploitation.

Le présent chapitre fait référence aux installations et systèmes existant avant les incendies et ne reflète pas les améliorations qui ont eu lieu après. Une grande partie des informations utilisées pour rédiger ce chapitre se trouvent dans les références [8] à [14].

3.2 Description des tunnels du Mont-Blanc, des Tauern et du St. Gothard

Les descriptions données ci-dessous, bien qu'étant exprimées au présent, font référence aux propriétés et caractéristiques des tunnels avant les incendies décrits dans le sous-chapitre 3.3.

3.2.1 Géométrie

Les tunnels du Mont Blanc, des Tauern et du St. Gothard sont tous les trois des mono-tubes. Le tunnel du Mont-Blanc était en son temps le plus long tunnel routier au monde. Il a été mis en service en juillet 1965. Le tunnel des Tauern a été ouvert en 1975, celui du St. Gothard en 1980.

Le tunnel du St. Gothard est le plus long (16 920 m), suivi par le tunnel du Mont Blanc et le tunnel des Tauern (11 600 m et 6 400 m respectivement). Le Tauern présente une rampe uniforme de 1,5 % de la tête nord à la tête sud. Les tunnels du Mont Blanc et du St. Gothard présentent quant à eux des points hauts à peu près au milieu du tunnel (voir Figure 3.1). Les têtes sont à peu près à la même altitude, 1 200 m environ. La rampe maximale est de 1,4 % dans le St. Gothard Tunnel et de 2,4 % dans le Mont Blanc.

Les trois tunnels ont des sections transversales différentes. Le Mont Blanc a une section en voûte, avec des galeries de ventilation situées sous la chaussée. Dans le Tauern et le St. Gothard, un faux-plafond horizontal sépare l'espace de circulation des gaines de ventilation situées au-dessus, comme montré par la Figure 3.2. La chaussée a une largeur de 7,8 m dans le tunnel du St. Gothard, 7,5 m dans le tunnel des Tauern, et 7,0 m dans le tunnel du Mont Blanc.

Mont Blanc Tunnel is a bi-national tunnel located partly in France and partly in Italy. It was built, financed and operated in coordination by one French company and one Italian company. Mont Blanc Tunnel was and still is under the overview control of a French-Italian Intergovernmental Committee that fixes the standards to be applied. St. Gotthard Tunnel is fully located in Switzerland, however, on the borderline between two regions. The Tauern Tunnel is fully located in Austria. Both of these tunnels have to comply with the regulations of their country. The St. Gotthard Tunnel is operated in turns by two operating teams from the two regions, only one being on control at any given time. The Tauern Tunnel is operated by a unique operating team.

References to facilities and systems in this section 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 section was found in references [8] through [14].

3.2 Description of the Mont Blanc, Tauern and St. Gotthard Tunnels

The following descriptions, while expressed in the present tense, refer to the tunnel's properties and characteristics before the fire incidents described in Subsection 3.3.

3.2.1 Geometry

The Mont Blanc, Tauern and St. Gotthard Tunnels are all mono-tube. Mont Blanc Tunnel was the first long road tunnel built in the world. It was opened to service in July 1965. The Tauern Tunnel was opened to service in 1975, and the St. Gotthard Tunnel in 1980.

The St. Gotthard Tunnel is the longest one (16,920 m), followed by the Mont Blanc Tunnel and the Tauern Tunnel (11,600 m and 6,400 m, respectively). The Tauern presents a 1.5% uniform slope from the north to the south portal. In the Mont Blanc and St. Gotthard Tunnels, there are high points in the longitudinal tunnel profiles, located approximately at the middle of the tunnels (see Figure 3.1). The portal elevations are of the same order, about 1,200 m above the sea level. The maximum slope gradient is 1.4% in the St. Gotthard Tunnel and 2.4% in the Mont Blanc Tunnel.

The transverse cross-sectional shapes are different in the three tunnels. The Mont Blanc Tunnel has a vaulted cross section, with ventilation ducts located under the road. In both the Tauern and St. Gotthard Tunnels, a horizontal intermediate ceiling separates the circulation room from the ventilation ducts located above, as shown in Figure 3.2. The road pavement is 7.8 m wide in the St. Gotthard Tunnel, 7.5 m wide in the Tauern Tunnel, and 7.0 m wide in the Mont Blanc Tunnel.

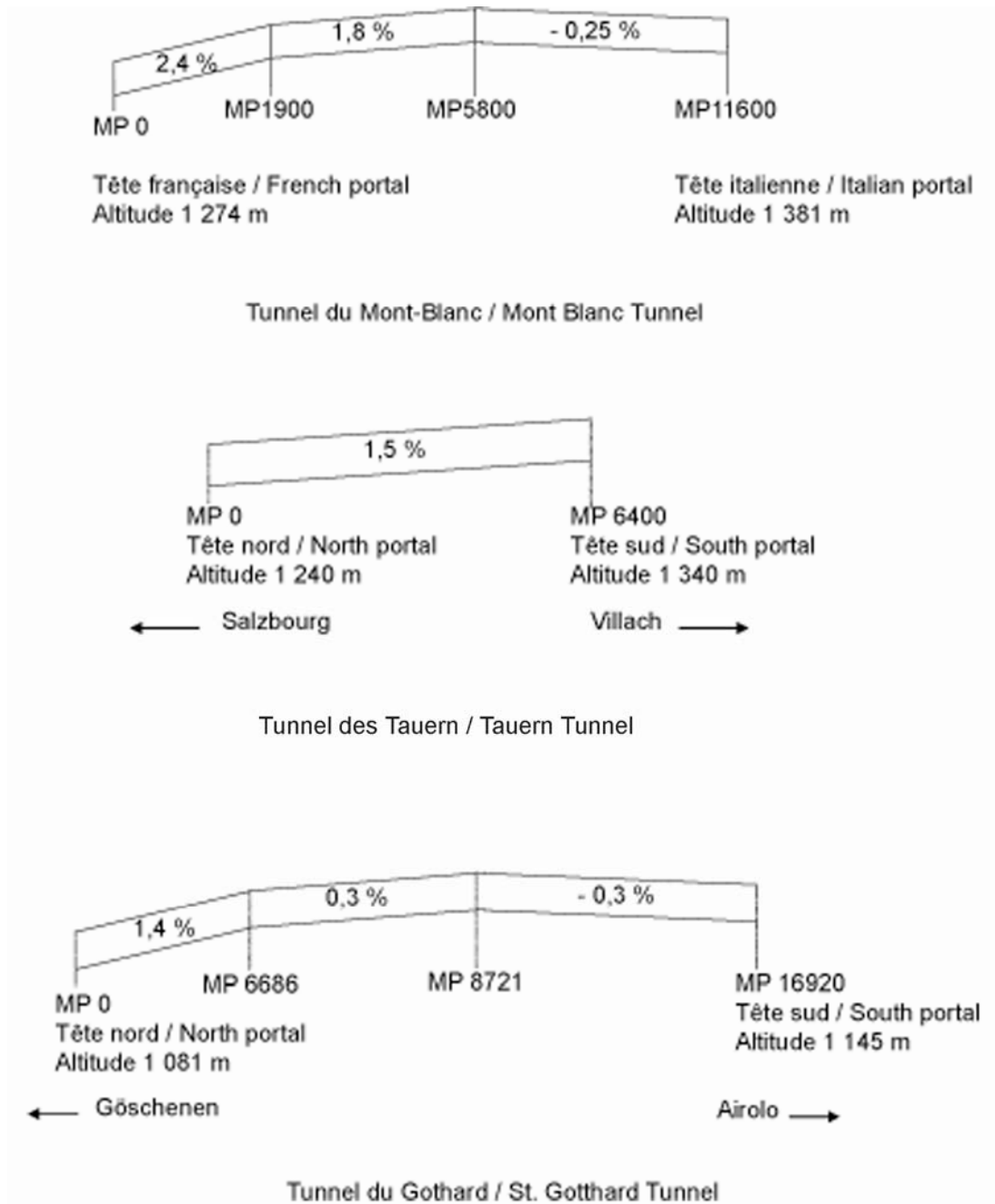
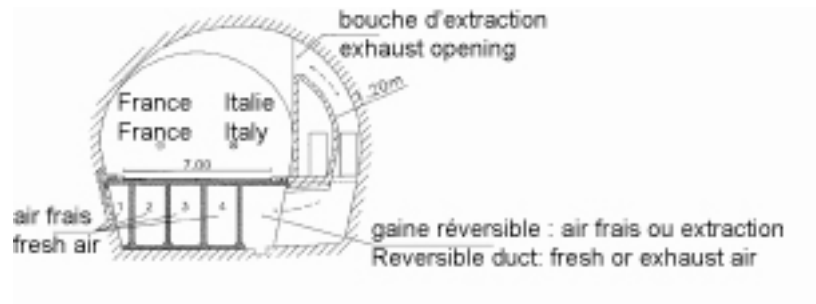
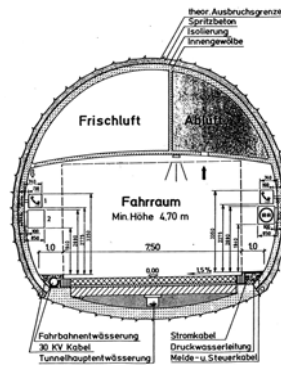


Figure 3.1 - Profils en long / Longitudinal profiles

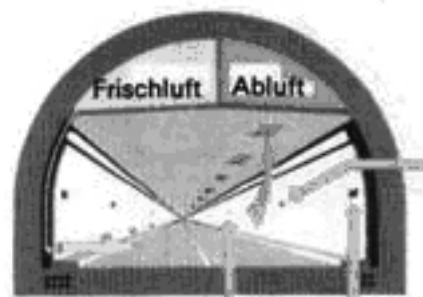
Dans le Mont Blanc, des garages sont situés tous les 300 m en quinconce des deux côtés de la chaussée et numérotés de 1 à 36 de la France vers l'Italie. En face de chacun d'eux, une galerie de retournement permet aux PL de faire demi-tour. Dans le Tauern, les garages situés tous les 848 m permettent aussi aux PL de faire demi-tour. Dans le St. Gotthard, l'espacement des garages varie entre 650 et 800 m.



Tunnel du Mont-Blanc / Mont Blanc Tunnel



Tunnel du Tauern / Tauern Tunnel



Tunnel du Gothard / St. Gotthard Tunnel

Figure 3.2 - Sections transversales des tunnels / Tunnel cross sections

In the Mont Blanc Tunnel, lay-bys are located every 300 m alternating on each side of the carriageway and numbered 1 to 36 from France to Italy. In front of each one, a gallery makes it possible for HGVs to do U-turns. In the Tauern Tunnel, lay-bys located every 848 m also create the capacity for HGVs to execute U-turns. Lay-by spacing in the St. Gotthard Tunnel varies between 650 and 800 m.

3.2.2 Trafic

La circulation est bidirectionnelle dans les trois tunnels. Si l'on considère l'ensemble des véhicules, le trafic est deux fois plus élevé dans le Tauern que dans le Mont-Blanc (voir Tableau 3.1). Comme il s'agit de tunnels transalpins, un pourcentage important du trafic se compose de PL. La proportion de PL est beaucoup plus élevée dans le Mont Blanc que dans le Tauern (39 % contre 25 % du trafic total). Avant les accidents, les marchandises dangereuses étaient autorisées dans le Tauern, autorisées avec certaines restrictions dans le St. Gothard, et totalement interdites dans le Mont Blanc. L'interdiction du Mont-Blanc était appliquée par les autorités douanières avant que les camions pénètrent dans le tunnel.

Tableau 3.1 - Trafic moyen journalier annuel (TMJA)

Mont-Blanc (1998)	Nombre de véhicules	Pourcentage du trafic total	Tauern (1998)	Nombre de véhicules	Pourcentage du trafic total	St. Gothard (2000)	Nombre de véhicules	Pourcentage du trafic total
Voitures et motos	3 267	60	Voitures et motos	10 416	74	Voitures, motos et bus	18 405	84
Bus	78	1	Bus	200	1			
Camions	2 128	39	Camions	3 484	25	Camions	2 950	16
Tous véhicules	5 473	100	Tous véhicules	14 100	100	Tous véhicules	18 700	100

3.2.3 Capacités de ventilation

Les tunnels du St. Gothard, des Tauern et du Mont Blanc ont tous les trois une ventilation transversale ou semi-transversale. Les Figures 3.3 à 3.5 donnent les caractéristiques des différents systèmes de ventilation.

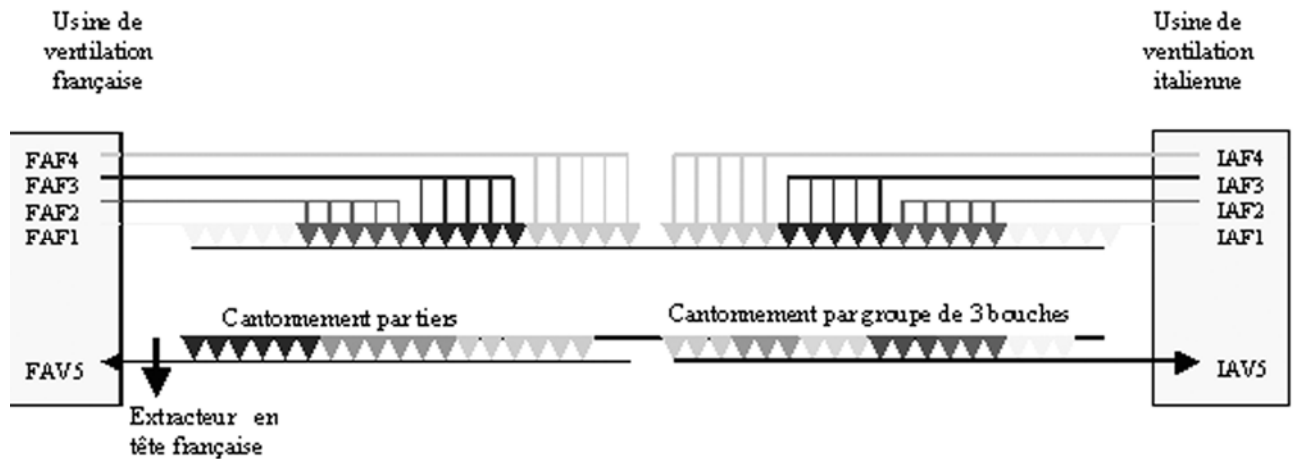


Figure 3.3 - Configuration de la ventilation du tunnel du Mont Blanc

3.2.2 Traffic

Traffic flow in all of the tunnels is bi-directional. Including all vehicles, the traffic is more than two times higher in the Tauern Tunnel than in the Mont Blanc Tunnel (see Table 3.1). Because they are all transalpine tunnels, a significant percentage of the traffic is made up of HGVs. The proportion of HGVs is much higher in the Mont Blanc than in the Tauern (39% versus 25% of the total traffic). Before the accidents, dangerous goods were allowed in the Tauern Tunnel, with some restrictions in the St. Gotthard Tunnel, and not at all in the Mont Blanc Tunnel. The Mont Blanc restriction was enforced by the custom authorities before trucks entered the tunnel.

Table 3.1 - Average annual daily traffic (AADT)

Mont Blanc (1998)	Number of Vehicles	Percent of Total Traffic	Tauern (1998)	Number of Vehicles	Percent of Total Traffic	St. Gotthard (2000)	Number of Vehicles	Percent of Total Traffic
Cars and Motorbikes	3,267	60	Cars and Motorbikes	10,416	74	Cars, Motorbikes, and Buses	18,405	84
Buses	78	1	Buses	200	1			
Lorries	2,128	39	Lorries	3,484	25	Lorries	2,950	16
All vehicles	5,473	100	All vehicles	14,100	100	All vehicles	18,700	100

3.2.3 Ventilation Capacities

The St. Gotthard, Tauern and Mont Blanc Tunnels are all transverse or semi-transverse ventilated. Figures 3.3 through 3.5 present outlines of the different ventilation systems.

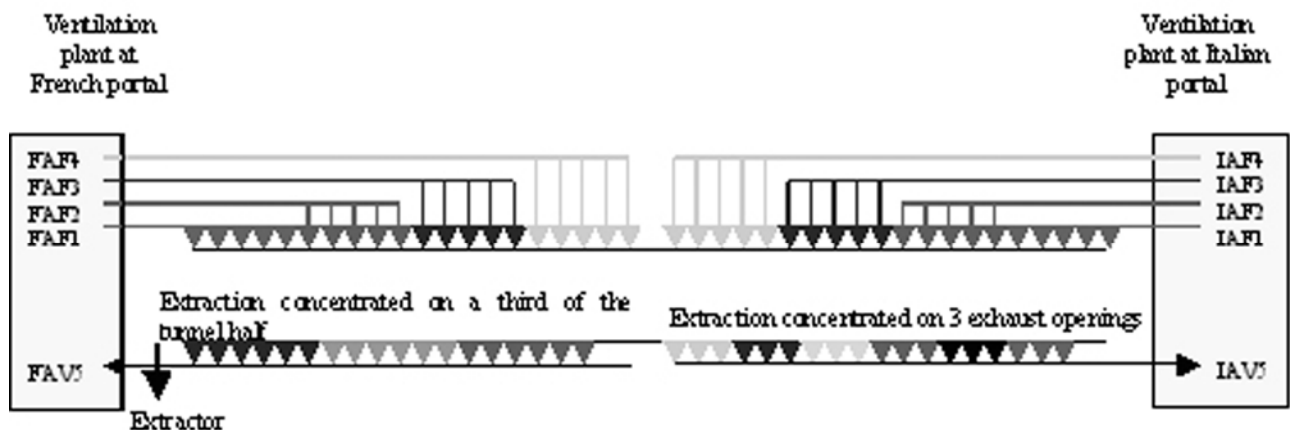


Figure 3.3 - Ventilation configuration of the Mont Blanc Tunnel

Le système de ventilation du tunnel du Mont Blanc comporte deux longueurs égales de tunnel de configuration identique – une moitié du côté français, l'autre moitié du côté italien. Quatre galeries d'air frais, numérotées de 1 à 4, partent de chaque tête, chacune d'elles desservant un quart (1 450 m) de la demi-longueur du tunnel (voir Figure 3.3). Chaque conduite peut fournir 75 m³/s d'air frais. Une cinquième conduite a été construite à l'origine pour extraire l'air pollué par les émissions des véhicules ainsi que les fumées en cas d'incendie (bien que ceci ne fût pas un critère de dimensionnement). Cette cinquième conduite a été transformée plus tard en conduite réversible utilisée soit pour augmenter le débit d'insufflation d'air frais, soit pour extraire les fumées en cas d'incendie.

Du côté français, une certaine amélioration a été apportée pour concentrer l'extraction dans le premier, le deuxième ou le troisième tiers de la demi-longueur. Mais le flux d'air est réduit si l'extraction se produit sur une longueur limitée (c'est-à-dire extraction de 65-85 m³/s sur un seul tiers du demi-tunnel contre 150 m³/s pour la totalité du demi-tunnel, comme prévu dans le projet).

Du côté italien, des registres motorisés ont été installés sur chaque bouche d'extraction en 1997 afin de concentrer l'extraction sur deux à quatre bouches, quelles qu'elles soient. Cela réduit également le flux d'extraction (70-90 m³/s sur quatre bouches). En mars 1999, cette installation était en phase de finalisation.

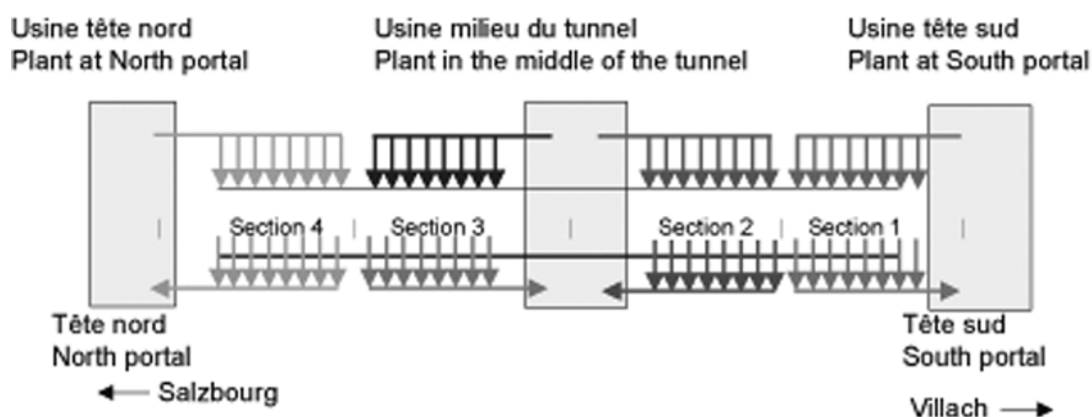


Figure 3.4 : Configuration de la ventilation du tunnel des Tauern /
Ventilation configuration of the Tauern Tunnel

The Mont Blanc Tunnel ventilation system comprises two equal lengths of identically configured tunnel -- one half from the French side, the other half from the Italian side. Four supply air ducts, numbered from 1 to 4, start from each portal and each one serves one quarter (1,450 m) of the half-length of tunnel (see Figure 3.3). Each duct can supply 75 m³/s of fresh air. A fifth duct was originally built to extract the air polluted by the vehicle emissions as well as smoke in case of a fire (although this was not a design criterion). The fifth duct was later transformed to a reversible duct used to either improve the fresh air supply capacity or extract smoke in case of fire.

On the French side, a relative upgrade made it easier to concentrate the extraction in any of the one-, two- or three-thirds of the half-length. However, the flow would be reduced if the exhaust took place in a limited length (i.e., 65-85 m³/s exhaust over a single third of the tunnel half as opposed to 150 m³/s for the whole half-tunnel as planned at tunnel design).

On the Italian side, individual motorised dampers were installed at each exhaust opening in 1997 in order to enable exhaust concentration through any of two to four openings. This also reduced the exhaust flow (to 70-90 m³/s by four openings). During the month of March 1999, this installation was in the process of being finalised.

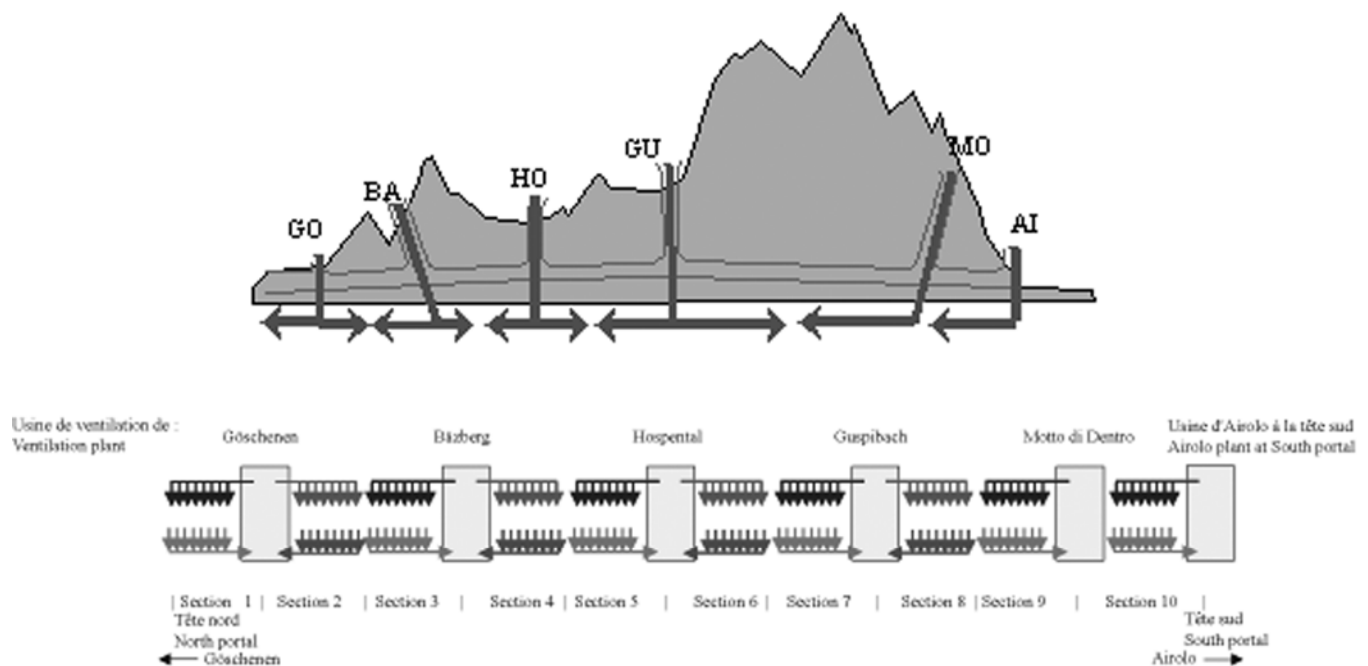


Figure 3.5 - Configuration de la ventilation du tunnel du St. Gothard / Ventilation configuration of the St. Gotthard Tunnel

Le système de ventilation du tunnel des Tauern se compose de quatre cantons de ventilation indépendants (voir Figure 3.4). Les cantons 1, 2 et 3 ont 1 500 m de long, et le canton 4 1 900 m. Les cantons 2 et 3 sont ventilés par un puits de 590 m, alors que les cantons 1 et 4 sont alimentés par des usines de ventilation aux têtes. Le débit maximal d'insufflation d'air frais (par km) est supérieur à deux fois celui du Mont Blanc (voir Tableau 3.2). Les débits d'extraction maximaux sont plus difficilement comparables, car il est possible de concentrer l'extraction dans le Mont Blanc. Cependant, pour un bouchon de fumée de 900 m de long entre les garages 19 et 21 (le premier incendie de PL a eu lieu au droit du garage 21), la capacité maximale d'extraction de fumée du Mont-Blanc est d'environ 50 m³/s, contre 103 m³/s pour un bouchon de fumée de même longueur dans le Tauern.

Le système de ventilation du tunnel du St. Gothard se compose de six stations de ventilation et 10 cantons de ventilation, comme le montre la Figure 3.5. Les cantons de ventilation situés près des têtes sont ventilés à partir d'une usine à chaque tête. Les autres cantons sont ventilés par quatre puits. Comme dans le Tauern, l'extraction est uniforme sur chaque canton. Il n'existe aucun moyen de concentrer l'extraction sur une zone plus courte qu'un canton de ventilation.

Tableau 3.2 - Capacités maximales de ventilation

	Mont Blanc	Tauern	St. Gothard
Capacité maximale d'apport d'air frais	600 m ³ /s (52 m ³ /s.km) sans utiliser les gaines réversibles comme gaines d'air frais 900 m ³ /s (77 m ³ /s.km) lorsque les gaines réversibles sont utilisées pour l'apport d'air frais	194 m ³ /s.km	125 – 130 m ³ /s.km
Capacité maximale d'extraction	300 m ³ /s (25.8 m ³ /s.km). Du côté français, l'extraction peut être concentrée sur un tiers de la moitié française. Du côté italien, l'extraction peut être concentrée sur n'importe lesquelles de deux à quatre bouches. Concentrer l'extraction conduit à réduire le débit à 30 à 50 % du débit maximal.	122 m ³ /s.km L'extraction est uniforme sur un canton de ventilation	125 – 130 m ³ /s.km L'extraction est uniforme sur un canton de ventilation

Alors que dans les tunnels du Mont Blanc et du St. Gothard, ce sont des bouches au bas des piédroits qui fournissent l'air frais, celles des Tauern sont placées en haut des piédroits, à l'angle du plafond. En cas d'incendie, on sait que l'apport d'air frais par des bouches en plafond gêne la stratification de la fumée. Les bouches du Mont-Blanc sont plus grandes que celles des Tauern et du St. Gothard (respectivement 1 m², 0,2 m² et 0,2 m²), mais elles sont plus espacées (tous les 300 m pour le Mont Blanc contre tous les 6 m dans le Tauern et tous les 16 m dans le St. Gothard).

3.2.4 Installations de sécurité dans les tunnels

Le Tableau 3.3 résume les installations de sécurité disponibles dans les trois tunnels. Deux des différences les plus apparentes sont la présence d'abris pressurisés dans le tunnel du Mont-Blanc et une galerie de secours parallèle au tube de circulation dans le St. Gothard. Les systèmes de détection d'incendie dans les trois tunnels sont basés sur la mesure de l'élévation de la température de l'air.

The Tauern Tunnel's ventilation system consists of four independent ventilation sections (see Figure 3.4). Sections 1, 2, and 3 are 1,500 m long and 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 at the portals. The Tauern Tunnel's maximum fresh air supply rate (per km) is more than twice that of the Mont Blanc Tunnel (see Table 3.2). It is 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 Lay-by 21), the maximum smoke extraction capacity of the Mont Blanc Tunnel is about 50 m³/s, versus 103 m³/s for a same smoke plug length in the Tauern Tunnel.

The ventilation system of the St. Gotthard Tunnel consists of six ventilation stations and 10 ventilation sections as shown in Figure 3.5. The ventilation sections next to the portals are ventilated from plants at each tunnel portal. The others sections are ventilated through four shafts. Similar to the Tauern Tunnel, the extraction in the St. Gotthard is uniform on each ventilation section. There is no means for concentrating the extraction on a zone shorter than a ventilation section.

Table 3.2 - Maximum ventilation capacities

	Mont Blanc	Tauern	St. Gotthard
Maximum fresh air supply capacity	600 m ³ /s (52 m ³ /s.km) without using the reversible ducts as supply ducts. 900 m ³ /s (77 m ³ /s.km) when the reversible ducts are used as supply ducts.	194 m ³ /s.km	125 – 130 m ³ /s.km
Maximum extraction capacity	300 m ³ /s (25.8 m ³ /s.km). 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 m ³ /s.km Extraction is uniform on a ventilation section	125 – 130 m ³ /s.km Extraction is uniform on a ventilation section

Whereas in the Mont Blanc and St. Gotthard Tunnels the fresh air is supplied through inlets located at the bottom of the sidewalls, those of the Tauern Tunnel are placed at the top of the sidewall, at the edge of the ceiling. In case of a fire, supplying fresh air through openings in the ceiling is known to hinder smoke stratification. The Mont Blanc Tunnel exhaust openings are larger than those of the Tauern and St. Gotthard Tunnels (1 m², 0.2 m², and 0.2 m², respectively), but are more widely spaced (every 300 m for the Mont Blanc Tunnel versus every 6 m in the Tauern Tunnel and every 16 m in the St. Gotthard Tunnel).

3.2.4 Safety Facilities in the Tunnels

Safety facilities installed in the three tunnels are summarised in Table 3.3. Two of the most apparent differences are the presence of pressurised shelters in the Mont Blanc Tunnel, and an emergency gallery parallel to the traffic tube in the St. Gotthard Tunnel. The fire detections systems in the three tunnels are based on air temperature elevation measurement.

Tableau 3.3 - Equipements de sécurité

	Mont Blanc	Tauern	St. Gothard
Itinéraires d'évacuation–abris	Des abris alimentés en air frais et protégés du tunnel par une paroi coupe-feu 2 heures sont situés tous les 600 m. Pas d'itinéraire d'évacuation séparé.	Pas d'itinéraire d'évacuation séparé, sauf la sortie normale du tunnel.	Galerie de secours parallèle au tube de circulation. Cette galerie est ventilée et pressurisée en cas d'incendie. Des passages transversaux tous les 250 m raccordent le tunnel à la galerie de secours.
Niches de sécurité	Les niches de sécurité tous les 100 m comportent un bouton-poussoir d'alarme, un téléphone et deux extincteurs. Des niches distinctes tous les 150 m procurent l'alimentation en eau pour les pompiers	Les niches de sécurité tous les 212 m comportent un bouton-poussoir d'alarme, un téléphone et deux extincteurs. Des niches tous les 106 m procurent l'alimentation en eau pour les pompiers. Elles comportent un tuyau de 120 m, une buse à mousse et une réserve d'émulsifiant.	Les niches d'appel de secours tous les 125 m comportent un bouton-poussoir d'alarme, un téléphone et des extincteurs. Les raccordements au réseau hydraulique pour les pompiers sont tous les 125 m
Système de détection d'incendie	Deux systèmes de détection différents ont été installés dans les deux moitiés du tunnel. Sur le côté italien, le système est basé sur une détection de l'élévation de température sur la base d'une mesure de variation de pression d'un gaz dans des conduites de 70 m de long au niveau de la voûte. Sur le côté français, le système est le même que celui installé dans le tunnel des Tauern.	Le système de détection est basé sur un câble-capteur de température, avec des capteurs tous les 8 m, placés sous le faux-plafond, et consultés à tour de rôle par le système. Une alarme est déclenchée en cas d'élévation locale de la température par rapport à la température moyenne des capteurs adjacents ou si la température mesurée dépasse 50°C.	Systèmes de détection de fumée, de température, de gaz et visuel installés dans le tunnel. Le système de détection incendie est basé sur une détection de l'élévation de température. Capteurs tous les 25 m.
Feux de circulation	Aux entrées et tous les 1200 m à l'intérieur du tunnel.	Aux entrées et tous les 848 m à l'intérieur du tunnel	Tous les 250 m à l'intérieur du tunnel.
Caméras	Tous les 300 m, écrans dans les centres de contrôle	Tous les 212 m, écrans dans le centre de contrôle	85 caméras vidéo (tous les 200 m), écrans dans les centres de contrôle
Radio communications	Le câble rayonnant servant à retransmettre la radio peut être utilisé pour relayer des messages aux usagers en cas d'urgence.	Au moyen du canal radio-traffic, des messages peuvent être envoyés dans le tunnel en cas d'urgence.	Entièrement FM, service radio et couverture GSM.

3.2.5 Exploitation des tunnels

Le tunnel des Tauern possède une seule salle de commande. Le tunnel du Mont-Blanc a une salle de commande à chaque tête, chacune étant responsable d'une moitié du tunnel. Le tunnel du St. Gothard a une salle de commande à chaque tête. Chaque salle de commande est utilisée en alternance, si bien qu'une seule salle de commande est en fonction à n'importe quel moment donné. Dans chacun des trois tunnels, la ou les salles de commande sont occupées 24 heures sur 24.

Table 3.3 - Safety facilities

	Mont Blanc	Tauern	St. Gotthard
Evacuation routes – shelters	Shelters supplied with fresh air and protected from the tunnel by a wall with a two-hour fire rating are located every 600 m. No separate evacuation route.	There were no separate evacuation routes except the normal way out of the tunnel.	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
Safety niches	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.	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.	Emergency call niches every 125 m contain a fire alarm push button, a telephone, and fire extinguishers. Fire brigade connections to the hydraulic system are every 125 m
Fire detection system	Two different fire detection systems were installed on the two tunnel halves. On the Italian side, the fire detection system was based on the temperature elevation detection based on the pressure variation measurement of a gas placed in 70 long ducts placed along the tunnel vault. On the French side, the fire detection system is the same as the system installed in the Tauern Tunnel.	The fire detection system was based on temperature sensor-cable with sensors every 8 m placed under the intermediate ceiling, which were sequentially called by the system. An alarm was generated in case of a local temperature elevation compared to the mean temperature of the adjacent sensors or in case of a measured temperature higher than 50°C.	Smoke, temperature, gases and visual detection systems installed in the tunnel. The fire detection system is based on temperature elevation detection. Sensors are placed every 25 m.
Traffic lights	At portals and every 1,200 m inside the tunnel.	At portals and every 848 m inside the tunnel.	Every 250 m inside the tunnel.
Cameras	Every 300 m, screened in the control centres.	Every 212 m, screened in the control centre.	85 video cameras (every 200 m), screened in the control centre
Radio communications	The radiating cable for radio channels rebroadcast can be used to relay some messages to the motorists during an emergency.	By means of traffic radio channel alarm messages can be sent into the tunnel during an emergency.	Full FM, service radio and GSM coverage.

3.2.5 Tunnel Operation

The Tauern Tunnel has one control centre. The Mont Blanc Tunnel has one control centre located at each portal, each responsible for one-half the tunnel. The St. Gotthard Tunnel has one control centre at each portal. Each control centre is used alternately, so at any given time only one control centre is in operation. In each of the three tunnels, the control centre(s) is (are) operated 24 hours per day.

Aucun des tunnels, que ce soit le Mont-Blanc, le Tauern ou le Gothard, n'était équipé d'un système de détection automatique des incidents à l'époque des incendies.

Pendant l'exploitation normale, la ventilation de chacun des trois tunnels est régulée en fonction des mesures de monoxyde de carbone (CO) et de visibilité. En cas d'incendie, les exploitants du Mont-Blanc doivent mettre en route l'extraction à sa capacité maximale et la concentrer dans la zone du foyer de l'incendie si celui-ci peut être localisé avec précision. Il en va de même pour le Tauern. Dans le St. Gothard, l'extraction est mise en route automatiquement conformément à des scénarios pré-programmés, en fonction de la localisation de l'incendie. Les procédures d'urgence concernant l'exploitation de l'air frais diffèrent. Dans le Tauern, les exploitants doivent interrompre l'alimentation en air frais dans le canton de ventilation où l'incendie s'est déclaré. Dans le St. Gothard, l'alimentation en air frais est automatiquement ramenée à 30 % de la capacité totale dans le canton de ventilation où s'est déclaré l'incendie. Dans le Mont-Blanc, les exploitants doivent fournir l'air frais à la capacité maximale dans le canton de ventilation de l'incendie.

Ces procédures ne sont pas conformes au rapport AIPCR de 1999 [2] qui recommande, en cas d'incendie, de réduire l'injection d'air frais lorsque les bouches d'alimentation se situent près de la surface de la chaussée, et de la stopper lorsque les bouches sont au plafond. Dans les tunnels des Tauern et du St. Gothard, les systèmes de ventilation sont mis en route automatiquement par le biais de systèmes de détection d'incendie, alors que dans le Mont-Blanc la ventilation est mise en route manuellement.

Le tunnel du Mont Blanc possède une équipe de secours privée à la tête française, composée d'un pompier privé et d'un motard, pour une intervention immédiate. Un véhicule de lutte contre l'incendie, équipé d'une citerne de 2 000 l d'eau, d'extincteurs et d'appareils respiratoires individuels, un camion-citerne de 600 l et une ambulance sont également disponibles à la tête française. Le plan de sécurité du Mont-Blanc est également basé sur l'intervention des brigades de pompiers basées à Chamonix (côté français) et Courmayeur (côté italien), à environ 6 km des têtes du tunnel. Le Tauern n'a pas d'équipe de secours privée, mais des brigades de pompiers bien entraînées sont disponibles à chaque tête. Le St. Gothard a une équipe de secours privée composée de quatre pompiers, présents 24 heures sur 24 à chaque tête, et de quatre véhicules de lutte contre l'incendie.

In all of the Mont Blanc, Tauern and St. Gotthard Tunnels, there was no automatic incident detection system in operation at the time of the incidents.

During normal operation, the ventilation in each of the three tunnels is regulated by carbon monoxide (CO) and visibility measurements. In case of a fire, the operators of the Mont Blanc Tunnel are requested to activate the extraction to its maximum capacity, and to concentrate it in the fire zone if the fire can be precisely located. It is the same for the Tauern Tunnel. In the St. Gotthard Tunnel, the extraction is activated automatically following pre-programmed scenarios, depending on the fire location. The emergency procedures concerning the operation of the fresh air are different in the three tunnels. In the Tauern Tunnel, operators are requested to cut off the fresh air supply to the ventilation section where the fire has been located. In the St. Gotthard Tunnel, the fresh air is automatically reduced to 30% of the full capacity in the ventilation section where the fire is located. In the Mont Blanc Tunnel the operators are required to supply fresh air at maximum capacity in the ventilation section of the fire.

These last procedures are not in accordance with the 1999 PIARC publication [2] that recommends, in the event of a fire, reducing the fresh airflow when the supply inlets are located near the road surface, and stopping it when the inlets are located in the ceiling. In the Tauern and the St. Gotthard Tunnels, the ventilation systems are automatically activated by means of the fire detection systems, whereas in the Mont Blanc Tunnel the ventilation is manually activated.

The Mont Blanc Tunnel has a private rescue team at the French Portal for immediate intervention consisting of one private fire-fighter and a motorcyclist. A fire vehicle equipped with 2,000 l of water, extinguishers and individual breathing apparatus, a 600 l water tank lorry and an ambulance are also available at the French portal. The Mont Blanc Tunnel safety plan is also based on the intervention of the fire brigades from Chamonix (French side) and Courmayeur (Italian side) that are located approximately 6 km from the tunnel portals. The Tauern Tunnel has no private rescue forces, but well-trained communal fire brigades are at each portal. The St. Gotthard Tunnel has a private rescue team composed of four fire-fighters present 24 hours per day at each portal, and four fire-fighting vehicles.

3.3 Les incendies et leur gestion

3.3.1 Conditions de trafic avant et après les alertes d'incendie

Dans le Mont-Blanc, l'écoulement du trafic est fluide avant que l'alerte soit donnée. Dans le Tauern, les conditions de circulation sont inhabituelles. En raison de travaux de réparation sur 500 m à proximité de l'entrée nord, le trafic n'est possible que sur la voie en direction du nord (voir Figure 3.6). Des feux de circulation sont placés sur la voie en direction du nord à l'intérieur du tunnel à 630 m de l'entrée nord, pour alterner le trafic dans la zone des travaux. Sur la voie en direction du sud, on utilise les feux de circulation de la tête nord. En avant du chantier, la vitesse est limitée à 50 km/h et à 30 km/h le long du chantier. Le trafic est plus important dans le sens nord-sud que dans le sens sud-nord. Dans le tunnel du Gothard, la tête sud du tunnel était déjà fermée à la circulation au début de l'incendie en raison d'un PL qui dépassait la hauteur autorisée. Le trafic était fluide dans l'autre sens.

Pour l'incendie dans le Mont-Blanc, le tunnel a été fermé au trafic trois minutes après le début de l'incendie. A la tête italienne, le tunnel a été fermé par des barrières, et du côté français par des feux rouges et des sirènes au poste de péage. Trois voitures ont pénétré dans le tunnel malgré ces alarmes. Dans le Tauern, le tunnel a été fermé trois minutes après l'alarme incendie par des feux rouges à l'entrée nord. Une queue de véhicules s'était déjà formée du côté nord à l'extérieur du tunnel. Pour l'incendie du St. Gothard, les exploitants ont déclenché la fermeture du tunnel cinq minutes après que l'incendie se soit déclaré.

Au moment des incendies, les exploitants n'ont pas pu déterminer avec exactitude le nombre de véhicules et de personnes présents dans les tunnels. Le tableau 3.4 présente les informations recueillies au cours des enquêtes post-incident. Il y avait beaucoup plus de véhicules dans le Tauern et le St. Gothard que dans le Mont-Blanc lorsque les incendies se sont déclarés.

Tableau 3.4 - Nombre de véhicules présents dans les tunnels où ont eu lieu les incendies

Mont Blanc	Tauern	St. Gothard
Avant la fermeture du tunnel, 29 véhicules (16 PL, 9 voitures, 1 camionnette et 1 moto) ont pénétré dans le tunnel par la tête française. Quatre PL ont doublé le PL en feu après qu'il s'est arrêté. Les 25 autres véhicules ont été piégés par la fumée, puis ont pris feu. Dans le même temps, des véhicules sont entrés par le côté italien. Certains d'entre eux ont croisé le PL en feu, 8 PL et quelques VL se sont arrêtés près du garage 22 parce qu'ils voyaient de la fumée devant eux. Les voitures ont pu faire demi-tour et sont sorties du tunnel. Les 8 PL ont ensuite pris feu.	Au moment de l'accident, il se trouvait environ 140 véhicules dans le tunnel. 70 véhicules environ ont pénétré dans le tunnel après l'accident, mais ne se sont pas approchés du foyer. 170 véhicules environ ont quitté le tunnel après l'accident. 24 voitures et 16 camions ont été pris dans l'incendie, y compris les 2 camions et 4 voitures impliqués dans l'accident d'origine.	23 véhicules, y compris 13 PL, ont été piégés sur le côté nord de l'accident. On estime à 30 à 35 les usagers qui ont pu s'échapper par la galerie de secours.

3.3 The Fires and Their Management

3.3.1 Traffic Conditions Before and After the Fire Alarms

In the Mont Blanc Tunnel, the traffic was free flowing before the fire alarm sounded. In the Tauern Tunnel, the traffic conditions before the accident were unusual. Due to repair work on a 500-m length of tunnel just inside the north portal, circulation was only possible on the north direction lane (see Figure 3.6). 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 front of the construction site 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. In the St. Gotthard Tunnel, the south entrance of the tunnel was already closed to traffic at the beginning of the fire because of an HGV exceeding the allowed height. The traffic in the other direction was flowing.

In the Mont Blanc fire, the tunnel was closed to traffic three minutes after the beginning of the fire. At the Italian portal, the tunnel was closed with barriers, and on the French side it was closed by red traffic signals and sirens at the toll. Three cars entered the tunnel despite these alarms. In the Tauern fire, the tunnel was closed three minutes after the fire alarm by red traffic lights at the north portal. A vehicle queue was already formed on the north side outside the tunnel. In the St. Gotthard Tunnel fire, the operators activated the closure of the tunnel five minutes after the beginning of the fire.

At the time of the fires, the tunnel operators could not determine the precise number of vehicles and people present in the tunnels. Information learned during the post-incident investigations is presented in Table 3.4. There were many more vehicles in the Tauern and St. Gotthard Tunnels than in the Mont Blanc Tunnel at the beginning of the fires.

Table 3.4 - Number of vehicles present in the incident tunnels

Mont-Blanc	Tauern	St. Gotthard
<p>Before the tunnel closed, 29 vehicles (16 HGVs, 9 cars, 1 pick-up van and 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.</p> <p>During the same time, vehicles also entered the tunnel from Italy. Some of them passed the burning HGV. 8 HGVs and several passenger cars stopped adjacent to Lay-by 22 because they saw smoke ahead. The passenger cars were all able to do U-turns and leave the tunnel. The 8 HGVs were later caught in the fire.</p>	<p>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. 24 cars and 16 lorries were caught in the fire, including the 2 lorries and 4 cars involved in the original accident.</p>	<p>23 vehicles, including 13 HGVs, were trapped on the northern side of the accident. The number of tunnel users that escaped through the emergency gallery is estimated at 30 to 35 people.</p>

3.3.2 Les incendies

L'incendie du Mont-Blanc s'est déclaré au milieu du tunnel (à 6 550 m de la tête française et 5 050 m de la tête italienne), alors que celui des Tauern s'est produit à 800 m de la tête nord, et celui du St. Gothard à 1 100 m de la tête sud, comme le montre la Figure 3.6.

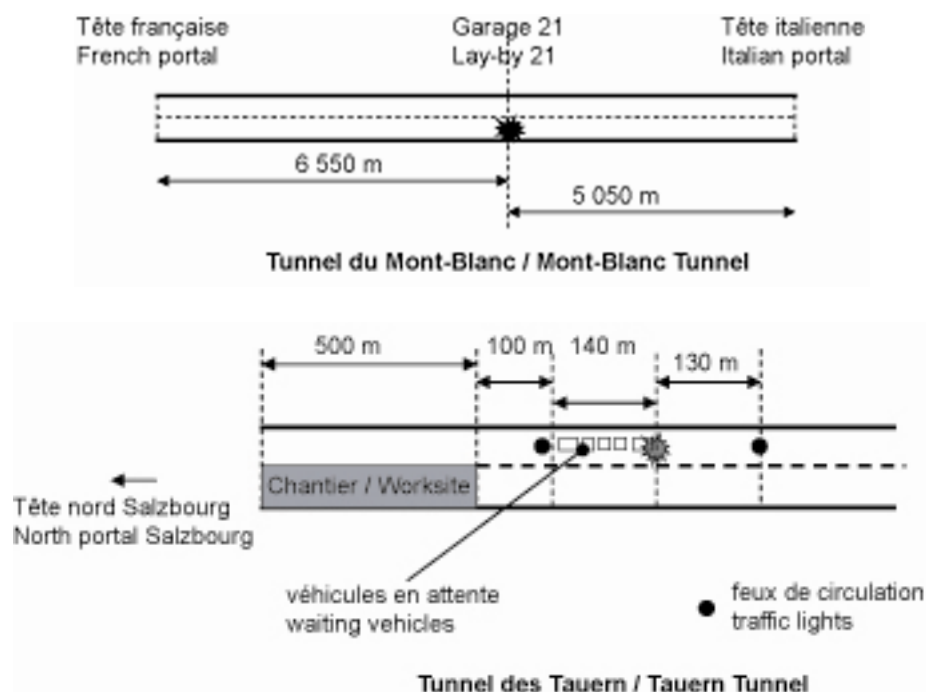


Figure 3.6 - Emplacement des incendies / Fire locations

L'origine du foyer initial est très différente dans les trois tunnels. Dans le Mont-Blanc, l'incendie a été provoqué par l'inflammation spontanée d'un PL. Dans le Tauern, il a pour origine une collision avant-arrière entre un PL et plusieurs véhicules, parmi lesquels un PL transportant des bidons de peinture.

L'incendie du tunnel des Tauern s'est également propagé rapidement à d'autres véhicules, la collision ayant provoqué une fuite de carburant sur la chaussée. On ne connaît pas le temps qu'a mis le feu initial pour se propager à d'autres véhicules dans le Mont-Blanc.

Dans l'incendie du Mont-Blanc, 34 véhicules dont 20 PL ont brûlé. Les distances entre les 15 PL incendiés sur le côté français variaient entre 3 et presque 45 m, sur une zone de 500 m, et les PL pénétrant par la tête côté Italie se trouvaient à plus de 290 m du PL à l'origine de l'incendie. Dans l'incendie du Tauern, 20 voitures et 14 PL ont brûlé. Dans celui du St. Gothard, 23 véhicules (13 PL et 10 voitures) ont été entièrement brûlés ou endommagés. Ils étaient situés sur une longueur de 550 m environ du côté nord du foyer.

3.3.2 The Fires

The Mont Blanc 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 fire took place 800 m away from its north portal, and the St. Gotthard fire took place 1,100 m from the south portal, as shown in Figure 3.6.

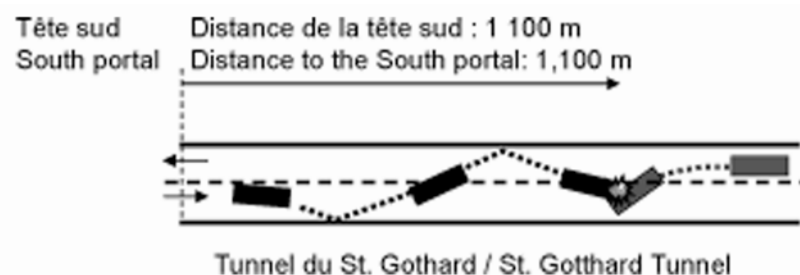


Figure 3.6 - Emplacement des incendies / Fire locations

The origin of the initial fire is very different in the three tunnels. In the Mont Blanc Tunnel, the first fire was caused by the spontaneous ignition of an HGV's cab. In the Tauern Tunnel, the origin of the fire was a front-rear collision between an HGV and several vehicles, among which was an HGV transporting lacquer tins.

The Tauern Tunnel fire also propagated quickly to other vehicles, because the collision caused fuel to spill onto the roadway. The time for the initial fire to propagate to others vehicles in the Mont Blanc Tunnel fire is unknown.

In the Mont Blanc fire, 34 vehicles including 20 HGVs burned. The distances between the 15 burnt HGVs on the French side varied from 3 to almost 45 m, over a stretch of about 500 m, and the HGVs that entered from Italy were located more than 290 m from the HGV that initiated the fire. In the Tauern fire, 20 cars and 14 HGVs burned. In the St. Gotthard fire, 23 vehicles (13 HGVs and 10 cars) were totally burned or damaged. They were located over a length of about 550 m on the northern side of the fire.

Dans le tunnel du St. Gothard, l'incendie a été provoqué par la collision entre deux PL roulant en sens inverse. Le PL en direction du nord a d'abord heurté la paroi du tunnel sur le côté droit, puis s'est déporté sur la voie de circulation opposée, pour finalement heurter le piédroit gauche. Un PL arrivant en sens inverse a d'abord freiné, puis essayé de passer sur la voie opposée, sans pouvoir éviter la collision. Celle-ci a provoqué une fuite de carburant du réservoir de l'un des PL. Le carburant a été embrasé par un arc électrique entre la batterie et la masse du PL. Le feu s'est ensuite propagé très rapidement à l'autre PL. En l'espace de quatre minutes, les deux PL brûlaient. L'un d'eux transportait diverses marchandises, dont des rouleaux de pellicules photo, et l'autre des pneus. Les témoins ont déclaré que le feu s'est développé tellement rapidement qu'il ne pouvait pas être maîtrisé par des extincteurs à poudre. Les pneus, en brûlant, ont dégagé une fumée épaisse. Une partie du carburant en feu s'est répandue dans le réseau de collecte des liquides du tunnel. Les témoins ont déclaré avoir vu des flammes dans le collecteur, mais le feu ne s'est pas propagé dans les conduites au-delà du siphon.

Les incendies du Mont-Blanc, du Tauern et du St. Gothard ont été maîtrisés respectivement après 53, 14 et 6 heures.

La puissance thermique maximale a été estimée à 180 MW pour le Mont Blanc (en moyenne 75 à 100 MW), 120 MW pour le Tauern, et 120 à 200 MW pour le St. Gothard.

3.3.3 Gestion de l'incendie par les exploitants

Détection de l'incendie

Dans l'incendie du Mont-Blanc, la principale difficulté pour les exploitants a été de localiser le foyer. En fait, les systèmes de détection équipant les deux moitiés du tunnel n'ont pas donné d'informations utiles quant à l'endroit où l'incendie s'était déclaré. La fumée rendait également inutilisables les images des caméras. La première alerte a été donnée par les opacimètres qui ont rendu compte d'une opacité anormale résultant de l'émission d'une fumée blanche par un camion se déplaçant dans le tunnel (1 à 2 mn avant que le camion s'arrête au garage 21). L'alerte incendie a été donnée par un membre de l'équipe d'exploitation qui effectuait une patrouille de routine dans le tunnel. Le patrouilleur a informé la salle de commande de l'incendie et de son emplacement en utilisant le réseau de transmission radio interne. Le système de détection italien était en travaux d'entretien et ne pouvait donc pas détecter l'incendie. Le système de détection du côté français a donné l'alarme lorsque la chaleur, en se répandant, a atteint la partie française du tunnel, mais il était trop tard pour que l'alarme soit encore utile.

Dans le tunnel des Tauern, le système de détection d'incendie a donné l'alarme avec l'emplacement précis du foyer dans les deux minutes après son déclenchement.

In the St. Gotthard Tunnel, the fire was caused by the collision between two HGVs travelling in opposite directions. The HGV moving northward collided first with the tunnel wall on the right side, then deviated to the lane carrying opposing traffic, and then collided with the left sidewall. An HGV coming in the opposite direction first braked, then tried to move into the opposite lane, but could not avoid the collision. The collision caused a fuel spill from the tank of one of the HGVs. The fuel ignition was caused by an electric arc between the battery and the mass of the HGV. The fire then propagated very quickly to the other HGV. Within four minutes, the two HGVs were burning. One of the HGVs was transporting various goods, including photographic film rolls, and the other HGV was transporting tires. Witnesses attest that the fire developed so quickly that it could not be fought by powder extinguishers. The burning tires emitted dense smoke. The spilled fuel was partially collected by the liquid collection system in the tunnel. Witnesses report that flames were visible in the collector, but the fire did not propagate in the ducts after the siphon.

The Mont Blanc, Tauern and St. Gotthard Tunnel fires were under control after 53 hours, 14 hours and 6 hours respectively.

The maximum heat release rate has been estimated at 180 MW for the Mont Blanc fire (average 75 to 100 MW), 120 MW for the Tauern fire, and 120 to 200 MW for the St. Gotthard fire.

3.3.3 Fire Management by the Operators

Fire Detection

In the Mont Blanc fire the main difficulty for the operators was to locate the fire. Indeed, the fire detection systems serving both tunnel halves did not provide useful information on the location of the fire. The smoke also rendered the camera images useless. The first alarm was given by tunnel opacimeters that announced an abnormal opacity resulting from the emission of white smoke by the lorry moving in the tunnel (1 to 2 min before the lorry stopped at Lay-by 21). The fire alarm was given by an operation team member performing routine patrol inside the tunnel. The patroller informed the control room of the fire and fire position using the internal radio transmission network. The Italian fire detection system was under maintenance, and therefore could not detect the fire. The fire detection system on the French side gave an alarm when the spreading heat reached the French part of the tunnel, but it was too late to be useful.

In the Tauern Tunnel, the fire detection system gave an alarm with the precise fire location within 2 minutes of the incident.

Dans le tunnel du St. Gothard, la première alerte a été donnée par un usager qui a appelé par le numéro de téléphone d'urgence (112) une minute après le déclenchement de l'incendie. Le système de détection a donné l'alarme dans les 3 minutes, avec l'emplacement précis du foyer. La fumée progressant vers le nord le long du tunnel, le système de détection a déclenché d'autres alarmes, qui ont activé le système d'extraction des fumées comme si plusieurs incendies s'étaient déclarés dans le tunnel. La conséquence en a été une augmentation de la vitesse de l'air en direction du nord.

Fermeture du tunnel à la circulation

Le tunnel du Mont-Blanc a été fermé 3 minutes après le début de l'incendie. Les exploitants ont dit que les feux à l'intérieur du tunnel sont également passés au rouge, mais il reste quelques doutes à ce sujet. Dans le St. Gothard, l'entrée sud du tunnel était déjà fermée à la circulation au début de l'incendie. L'entrée nord a été fermée cinq minutes après la collision des PL. Les feux de circulation à l'intérieur du tunnel sont passés en même temps au rouge, dans le sens nord et dans le sens sud.

Mise en œuvre de la ventilation

Dans l'incendie du Mont-blanc, les exploitants italiens n'ont pas suivi leurs procédures de ventilation d'urgence en cas d'incendie : la gaine réversible a été maintenue en mode soufflage au lieu d'être inversée en extraction. L'exploitant a dit qu'il avait agi ainsi délibérément, parce qu'il pensait que c'était le meilleur moyen de protéger de la fumée les personnes se trouvant sur le côté italien de l'incendie (ainsi qu'il pouvait le voir sur ses écrans).

Du côté français, les procédures de ventilation d'urgence ont été appliquées. Mais elles ont conduit à une augmentation de la vitesse de l'air en direction de la tête française, car l'air frais était insufflé à pleine capacité. Cela a accéléré la propagation de la fumée en direction de la tête française.

Après l'alerte incendie, la ventilation du tunnel des Tauern a été modifiée conformément aux procédures de ventilation d'urgence en cas d'incendie. Une seconde modification de la ventilation a été opérée 41 minutes après le déclenchement du feu pour sauver trois personnes piégées dans une niche de sécurité. Ces personnes étaient entourées par une fumée dense et se trouvaient en danger extrême d'asphyxie. La fumée a été repoussée loin d'elles ce qui a permis de les sauver et de mener une lutte efficace contre l'incendie à partir du sud.

Pendant l'incendie du St. Gothard, les systèmes de ventilation ont fonctionné automatiquement. La procédure d'extraction des fumées de l'usine de ventilation d'Airolo (située à la tête Sud du tunnel) a été mise en route lorsque le système de détection le plus proche du foyer a déclenché l'alerte. La fumée se propageant vers le nord a ensuite déclenché d'autres alertes qui ont activé les systèmes d'extraction de fumée à partir des stations de Motto di Dendro et de Guspibach (stations intermédiaires). Cela a provoqué une augmentation de la vitesse longitudinale de l'air et intensifié la propagation des fumées vers le nord. La fumée s'est étendue sur 2 500 m.

In the St. Gotthard Tunnel, the first alarm was given by a tunnel user who called the emergency phone number (112) one minute after the beginning of the fire. The tunnel fire detection system gave an alarm within 3 minutes, with the precise fire location. As the smoke progressed northward in the tunnel, the fire detection system gave further alarms, which activated the smoke extraction system as if several fires were occurring in the tunnel. The consequence of this was increased air velocity in the north direction.

Tunnel Closing to Traffic

The Mont Blanc Tunnel was closed to traffic 3 minutes after the beginning of the fire. The operators said that the signals inside the tunnel had also turned red, but there is some doubt surrounding this. In the St. Gotthard Tunnel, the south entrance of the tunnel was already closed to traffic at the beginning of the fire. The north entrance was closed to traffic five minutes after the HGV collision. At the same time, traffic lights inside the tunnel were changed to red in both the north and south directions.

Ventilation Operation

In the Mont Blanc Tunnel fire, Italian operators did not follow their fire emergency ventilation procedures: the reversible duct was maintained in supply mode instead of being turned to extraction. The operator said that he acted deliberately in this way because he believed it was the best way to protect the people on the Italian side of the fire from smoke (seen through his camera screens).

On the French side, the fire emergency ventilation procedures were applied. However, these procedures led to an increase in air velocity toward the French portal because fresh air was being blown at full capacity. This accelerated the smoke propagation towards the French portal.

After the fire alarm, ventilation in the Tauern Tunnel was modified according to the fire emergency ventilation procedures. A second modification in the ventilation was initiated 41 minutes after the fire beginning in order to save three people trapped in an emergency call niche. These people were surrounded by dense smoke and in extreme danger of suffocation. The smoke had to be forced away from them to save them and to allow effective fire fighting from the south.

During the St. Gotthard fire, the ventilation systems were automatically operated. As the detection system nearest the fire alarmed, the smoke extraction procedure in the Airolo Ventilation Plant (South portal plant) was activated. After this, the smoke propagating northward generated further fire alarms, which activated the smoke extraction systems from the Motto di Dendro and Guspibach Ventilation Plants (intermediate interior plants). This increased the longitudinal air velocity and northward smoke propagation. The smoke progressed over a length of 2,500 m.

Ce phénomène aurait pu être minimisé et l'extraction générale rendue plus efficace si toutes les stations de ventilation avaient été commandées de façon centralisée.

Alerte des secours publics

L'alerte des secours publics a eu lieu dans les salles de commande du Mont-Blanc 5 et 9 minutes après le déclenchement de l'incendie. Dans le cas du tunnel des Tauern, les secours ont été alertés dans les 3 minutes à partir du signal d'alarme du système de détection. Dans le St. Gothard, la première alerte a été donnée au Centre d'Urgence par un usager du tunnel, qui a composé le numéro d'urgence sur son portable.

Information des usagers du tunnel

Les exploitants du tunnel du Mont-Blanc ont lancé un message radio à destination des usagers 20 minutes après le début de l'incendie. C'est également ce qu'ont fait les exploitants du tunnel des Tauern. Dans le cas de l'incendie du St. Gothard, les messages radio ont été émis très rapidement, et en même temps les issues de secours sur le côté du tunnel ont été éclairées pour les signaler aux usagers afin qu'ils les utilisent.

3.3.4 Première intervention des équipes de secours

Il a fallu respectivement 15 et 17 minutes aux services publics de secours pour atteindre la tête sud du tunnel des Tauern et la tête française du tunnel du Mont-Blanc. En ce qui concerne le Mont-Blanc, les secours publics ont été précédés des secours privés, qui sont entrés dans le tunnel à bord d'un véhicule incendie quatre minutes après l'alarme incendie.

Dans les deux incendies, l'ensemble des forces de pompiers (y compris les secours privés du tunnel du Mont-Blanc) n'ont pas pu atteindre les foyers en raison de la densité des fumées. En fait, dans les deux cas, les pompiers parvenus dans le tunnel les premiers sont arrivés par le côté le plus enfumé. Dans le Tauern, un malentendu au sujet de l'emplacement du foyer a retardé l'arrivée des pompiers du côté nord du tunnel.

Pendant l'incendie du tunnel des Tauern, il a été possible de repousser le bouchon de fumée en insufflant de l'air frais dans les cantons de ventilation éloignés du foyer. Cela a permis aux pompiers d'accéder à une niche qui abritait trois personnes et au foyer.

Une personne a compté un maximum de 35 véhicules de secours et de 108 pompiers présents simultanément sur le site pendant l'incendie du Mont-Blanc. Pour le Tauern, il y eut sur le site 76 véhicules et 454 pompiers. Pour le St. Gothard, 350 personnes, 70 véhicules et 5 hélicoptères sont intervenus pendant les opérations de secours.

This could have been minimised, and the overall smoke extraction operation could have been more efficient, if all of the ventilation plants were centrally controlled.

Alert to Public Rescue Forces

The public rescue forces were alerted by the Mont Blanc Control Centres 5 and 9 minutes after the fire's beginning. In the Tauern fire, the rescue services were alarmed within 3 minutes of the fire detection alarm signal. In the St. Gotthard Tunnel, the first alarm was received by the Regional Central Emergency Centre from a tunnel user who called the emergency phone number with his portable phone.

Information to Tunnel Users

The Mont Blanc Tunnel operators gave a radio message to the tunnel users 20 minutes after the fire's beginning. This was also done by the Tauern Tunnel operators. In the St. Gotthard fire, radio messages were sent very quickly, and at the same time the emergency exits on the side of the tunnel were highlighted to indicate to the tunnel users to use them.

3.3.4 First Response by Rescue Teams

The public fire rescue forces needed 15 minutes and 17 minutes to reach the south portal of the Tauern Tunnel and the French portal of the Mont Blanc Tunnel, respectively. In the Mont Blanc Tunnel, the public fire rescue forces were preceded by private rescue forces that entered the tunnel aboard a fire vehicle four minutes after the fire alarm.

In both fires, all of the fire rescue forces (even the private rescue forces at the Mont Blanc Tunnel) could not reach the fire locations due to the dense smoke. Indeed, in both fires, the fire-fighters first on the scene arrived on the smokiest sides of the tunnels. In the Tauern fire, a misunderstanding about the location of the fire led to the delayed arrival of fire-fighters at the north side of the tunnel.

During the Tauern Tunnel fire, it was possible to push the smoke plug by blowing fresh air in the ventilation sections remote from the fire. This permitted the fire brigades access to the fire niche that was sheltering three people and to the fire.

One person counted a maximum of 35 rescue vehicles and 108 fire-fighters simultaneously present on site during the Mont Blanc Tunnel fire. For the Tauern Tunnel fire, there were 76 vehicles and 454 fire-fighters on site. 350 people, 70 vehicles and five helicopters were involved in the rescue operations of the St. Gotthard fire.

Dans l'incendie du St. Gothard, un employé de l'exploitant est entré par la tête sud à bord d'un véhicule de service avant les pompiers. Il est parvenu jusqu'à la niche 70, à 150 m au sud du foyer. L'incendie était déjà très développé et il n'était pas possible de le combattre avec des extincteurs. Les pompiers du tunnel sont arrivés quelques minutes plus tard par le même côté. Ils se trouvaient sur le site de l'incendie dans les dix minutes qui ont suivi l'alarme, ce qui est le plus court délai techniquement possible. Il était impossible d'intervenir à partir du nord en raison de la fumée et de la chaleur.

3.3.5 Environnement interne des tunnels pendant les incendies

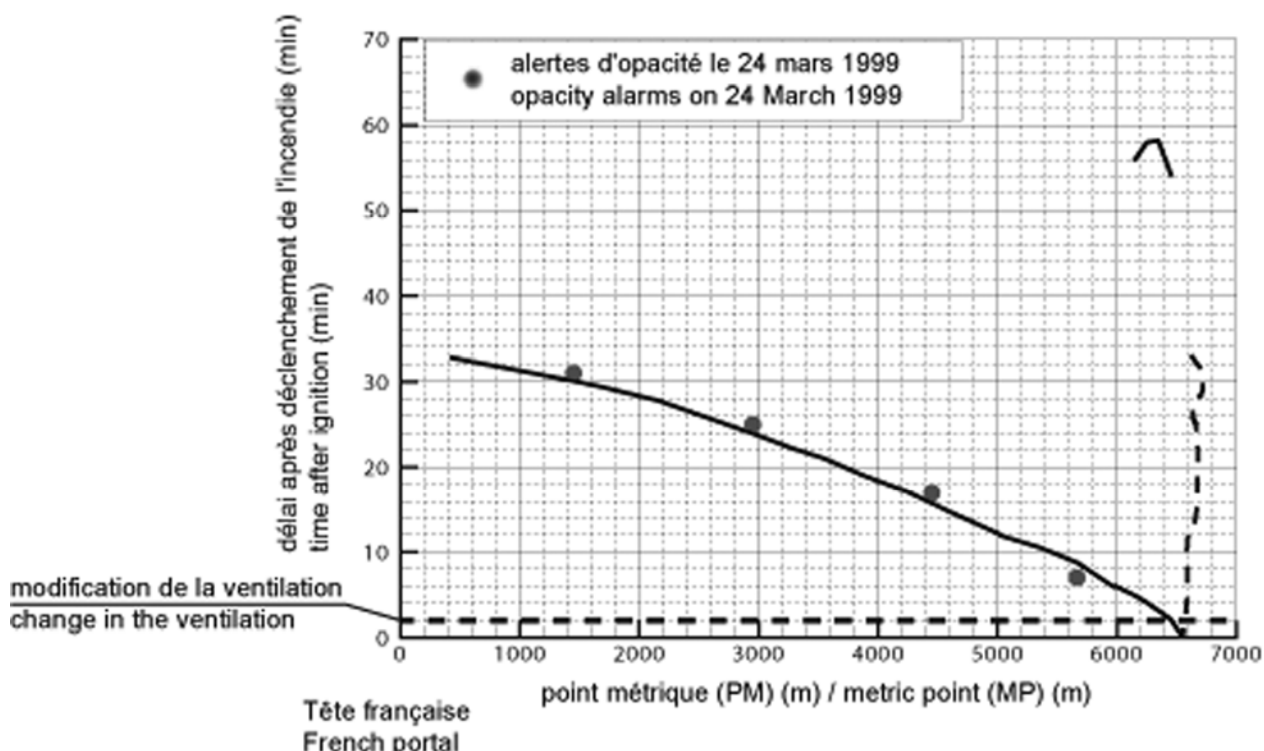


Figure 3.7 - Progression des fumées pendant l'incendie du tunnel du Mont-blanc / Smoke progress during the Mont Blanc fire

Au cours de l'incendie du Mont-Blanc, la stratification des fumées ne s'est produite que sur le côté italien du foyer, où l'on a observé une remontée des fumées sur 100 m. Il y a bien eu une stratification des fumées pendant les 20 premières minutes de l'incendie dans le Tauern. Dans le St. Gothard, la visibilité s'est détériorée très rapidement sur le côté nord du foyer (en aval du foyer, en raison de la vitesse longitudinale de l'air dans le tunnel). Dans le Mont-Blanc, les fumées ont subi une très forte accélération en direction de la tête française, en raison de l'apport d'air frais à sa capacité maximale. Trente-cinq minutes après le début de l'incendie, la fumée sortait par la tête française du tunnel.

In the St. Gotthard Tunnel, an employee from the operator entered the south side of the tunnel aboard a service vehicle before the fire-fighters. He reached Fire Niche 70, which was 150 m south of the fire. The fire was already very large and it was not possible to fight it with extinguishers. Fire-fighters from the tunnel arrived a few minutes later from the same side. They were at the fire site within ten minutes after the fire alarm, which is technically the shortest possible delay. Intervention from the north was not possible because of smoke and heat.

3.3.5 Environment in the Tunnels during the Fires

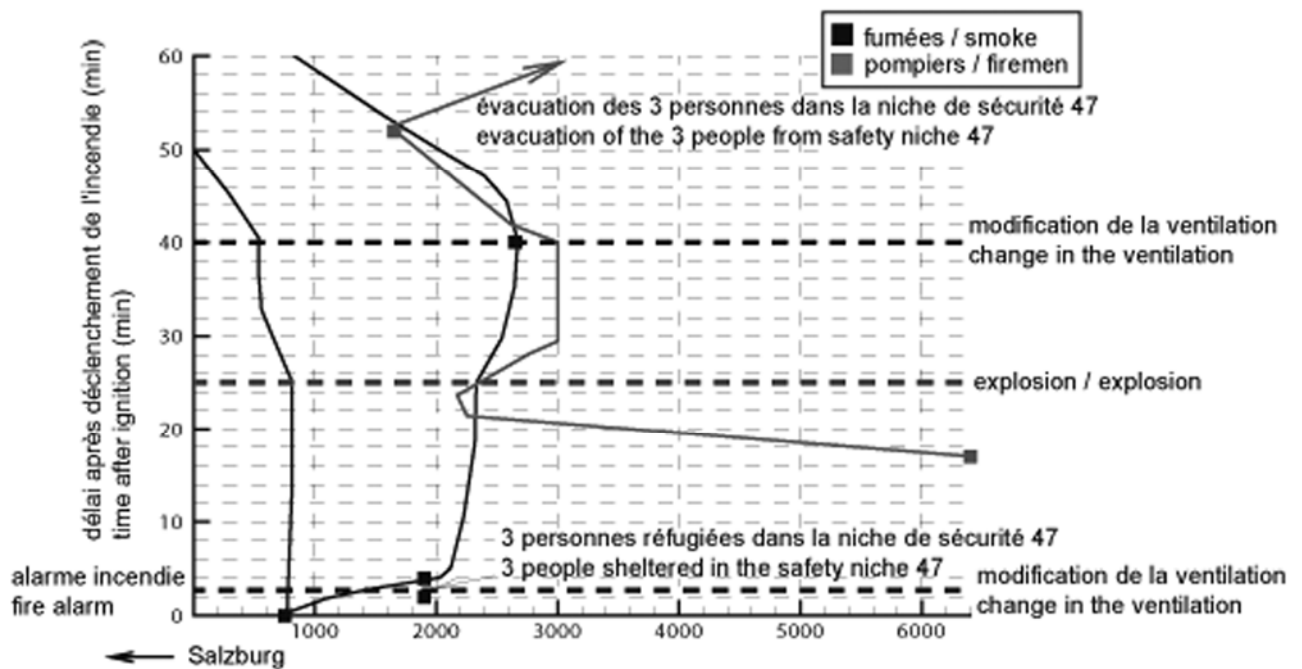


Figure 3.8 - Progression des fumées pendant l'incendie du tunnel des Tauern / Smoke progress during the Tauern fire

In the Mont Blanc fire, the smoke stratification only occurred on the Italian side of the fire, where a 100 m long backlayering condition was observed. Smoke stratification did occur during the first 20 minutes of the Tauern Tunnel fire. In the St. Gotthard fire, the visibility deteriorated very quickly on the north side of the fire (downstream from the fire according to the longitudinal velocity in the tunnel). In the Mont Blanc fire, the smoke accelerated very quickly towards the French portal due to the fresh air supply being operated at maximum capacity. Thirty-five minutes after the fire's beginning, the smoke spilled out of the French portal.

Dans les trois incendies, toutes les personnes piégées par la fumée sont mortes du fait de la toxicité des gaz plutôt que de la température élevée (à l'exception des personnes tuées dans la collision elle-même dans le tunnel des Tauern). Dans le St. Gothard, les enquêtes ont conclu que les victimes avaient été piégées par la fumée dans les 6 à 7 minutes après le déclenchement de l'incendie, et qu'elles sont certainement mortes dans les 12 à 15 minutes. Trois personnes qui avaient trouvé refuge dans une niche de sécurité pendant l'incendie du tunnel des Tauern ont été protégées partiellement de la fumée.

Au cours de l'incendie du Tauern, la chaleur a fait exploser certains bidons de laque transportés par un PL. Cette explosion était de faible puissance et elle n'a pas eu de conséquence directe sur la sécurité des personnes se trouvant dans le tunnel. Mais elle a eu pour effet de déstratifier la fumée.

Dans le St. Gothard, l'explosion due à la rupture du réservoir de l'un des PL a rempli le tunnel de vapeurs de gazole 30 minutes après le déclenchement de l'incendie.

3.3.6 Comportement des usagers

On a constaté des différences fondamentales dans le comportement des usagers au cours des trois incendies. L'incendie du Mont-Blanc a été le premier à se produire, suivi de celui du tunnel des Tauern, puis de celui du St. Gothard. L'incendie du Mont-Blanc a tellement impressionné la communauté européenne que les usagers du tunnel des Tauern et du St. Gothard étaient fortement conscients du risque qu'il y avait à rester dans leurs voitures et de la nécessité de sortir du tunnel par leurs propres moyens.

Dans l'incendie du Mont-Blanc, la plupart des victimes ont été retrouvées à l'intérieur ou près de leurs véhicules. Parmi les 38 personnes qui étaient dans le tunnel du Mont-Blanc au début de l'incendie et sont mortes dans l'incendie, 27 sont restées dans leurs véhicules, et neuf sont mortes à l'extérieur de ces véhicules. Parmi ces neuf dernières, un motocycliste et un conducteur de voiture sont morts dans un abri (abri n°20) situé près du foyer. Parmi les dix voitures bloquées derrière le camion en flammes, quatre ont essayé de faire demi-tour, mais se sont trouvées immobilisées pratiquement à leur point de départ. Les passagers n'ont pas pu atteindre les abris par leurs propres moyens.

Dans le Tauern, 80 personnes ont quitté le tunnel soit à pied, soit à bord de leurs véhicules. Trois personnes ont trouvé refuge dans une niche à 700 m du foyer en direction de Villach. Elles étaient bloquées par les fumées denses et ont été secourues par les pompiers.

In all three fires, all of the people trapped in the smoke died from gas toxicity rather than elevated temperature (except the people killed by the collision itself in the Tauern Tunnel). In the St. Gotthard Tunnel, the investigations concluded that the victims were trapped in the smoke within 6 to 7 minutes after the beginning of the fire, and certainly died within 12 to 15 minutes. Three people sheltered in an emergency call niche during the Tauern Tunnel fire were partially protected from the smoke.

During the Tauern fire, some of the lacquer tins being transported by one HGV exploded due to heat. The blast from the explosion was low, and did not have any direct consequence on the safety of people in the tunnel. However, it did cause the smoke to destratify.

In the St. Gotthard Tunnel, an explosion caused by the rupture of one of the HGV's tanks filled with diesel oil vapours occurred 30 minutes after the fire's beginning.

3.3.6 Users' Behaviour

There were fundamental differences in users' behaviour during the three fires. The Mont Blanc Fire was the first fire to occur, followed by the Tauern Tunnel fire and then the St. Gotthard Tunnel fire. The fire in the Mont Blanc Tunnel so highly impressed the European community that the users of the Tauern and St. Gotthard tunnels were acutely aware of the risk of staying in their cars and of the need to self-evacuate.

In the Mont Blanc Tunnel fire, most of victims were found inside or near their vehicles. Of the 38 people who were inside the tunnel at the beginning of the fire and died, 27 stayed in their vehicles, two took refuge in another vehicle, and nine died outside of their vehicles. Of these nine, a motorcyclist and a car driver died in a shelter (Number 20) located close to the fire zone. Among the ten passenger cars blocked behind the burning lorry, four tried to make U-turns but were practically immobilised at the starting point. They did not reach the shelters on their own.

In the Tauern Tunnel, 80 people left the tunnel either on foot or onboard a vehicle. Three people took refuge in a safety niche 700 m from fire location in the direction of Villach. They were trapped by dense smoke and were rescued by fire-fighters.

Parmi les 12 victimes de l'incendie du tunnel des Tauern, huit sont mortes à la suite de l'accident initial des véhicules. Trois autres victimes ont été trouvées dans un véhicule à environ 100 m au nord du point de déclenchement de l'incendie. Les enquêtes post-accident ont montré que ce véhicule appartenait à deux des personnes qui, pour une raison ou une autre, n'ont pas tenté de fuir, bien que de nombreuses autres autour d'elles le fissent. La troisième personne s'est apparemment enfuie de son véhicule, puis a tenté de revenir pour chercher des documents. Elle a fini pour trouver refuge avec les deux autres, et est morte avec elles. La dernière victime a été retrouvée à 800 m du foyer vers le sud (vers l'intérieur du tunnel). L'homme a apparemment été asphyxié alors qu'il essayait de fuir hors d'une niche de sécurité.

Pour le tunnel du St. Gothard, on estime que 30 à 35 usagers se sont enfuis du tunnel par les issues de secours et la galerie de sécurité parallèle. Quelques personnes se sont également enfuies à pied par la tête sud. Quelques conducteurs ont utilisé les garages, alors que d'autres, circulant du sud vers le nord, ont fait demi-tour pour s'échapper par la tête sud.

Dans l'incendie du St. Gothard, les deux conducteurs de PL impliqués dans la collision ont pu quitter leurs véhicules par leurs propres moyens. L'un d'eux n'a pas trouvé d'issue de secours, et a été retrouvé mort à 300 m de son véhicule. Les enquêtes médico-légales ont montré que son corps présentait des traces significatives d'alcool, ce qui peut expliquer que son PL se soit déporté de sa trajectoire juste avant l'accident. Il semble que les 10 autres victimes de l'incendie du St. Gothard étaient des personnes dont les véhicules étaient à une distance telle de l'incendie qu'elles ne pouvaient pas le voir (300 à 600 m). Au moment où elles ont vu la fumée, il leur restait très peu de temps pour réagir. Toutes ces victimes se trouvaient du côté nord de l'incendie. Cinq victimes ont été retrouvées dans leurs véhicules. Trois victimes ont marché sur plus de 200 m, ce qui est supérieur à la distance maximale théorique pour atteindre une issue de secours. Une victime a été retrouvée près d'une issue de secours, soit qu'elle n'ait pas vu la porte, soit qu'elle n'ait pas été capable de l'ouvrir.

Dans ces trois incendies, les usagers n'ont pas pu combattre le feu avec des extincteurs à poudre, le feu étant trop important. Pour le Tauern et le St. Gothard, quelques usagers ont utilisé les téléphones de secours pendant leur fuite hors du tunnel. Les usagers piégés dans la niche de sécurité du tunnel des Tauern ont également téléphoné à la salle de commande.

Les personnes présentes dans le Tauern connaissaient l'incendie du Mont-blanc, qui ne s'était produit que deux mois auparavant. Un autre élément favorable dans l'incendie du tunnel des Tauern était que l'entrée du tunnel se trouvait à 800 m « seulement » du foyer et que cette partie du tunnel est restée exempte de toute fumée pendant les quelques minutes qui ont suivi le déclenchement de l'incendie.

Of the 12 victims of the Tauern Tunnel fire, eight died as a result of the initial motor vehicle accident. Three other victims were found in a vehicle that was nearly 100 m north of the ignition point. Post-incident investigations showed that the vehicle belonged to two of the people, who for some reason did not attempt to flee despite the many other people around them doing just that. The third person had apparently fled from his own vehicle, and then attempted to return in search of some documents. This person at last took refuge with the other two, and died with them. The last victim was found 800 m away from the fire toward the south (the interior of the tunnel). He apparently was asphyxiated as he tried to flee out of an emergency call niche.

In the St. Gotthard Tunnel, one estimate is that 30 to 35 tunnel users escaped from the tunnel through emergency exits and the parallel emergency gallery. Some people also escaped on foot through the south portal. Some car drivers used the garages whereas others, circulating from south to north, made U-turns in their cars to escape through the south portal.

In the St. Gotthard fire, the two HVG drivers involved in the collision could leave their vehicles on their own. One did not find an emergency exit, and was found dead 300 m away from his vehicle. Medico-legal enquiries showed that his body contained significant traces of alcohol, which might explain the trajectory deviation of his HGV in the tunnel just before the accident. It seems that the other 10 victims of the St. Gotthard fire were people whose vehicles were at such distances from the fire that they could not see it (300 to 600 m away). By the time they saw the smoke, the time to react was very short. All of these victims were on the northern side of the fire. Five victims were found in their vehicles. Three victims walked more than 200 m, which is greater than the theoretical maximum distance to reach an emergency exit. One victim was found next to an emergency exit, either not having seen the door or not being able to open it.

In all three fires, tunnel users could not fight the fires with powder extinguishers because the fires were too large. In the Tauern and St. Gotthard fires, some users used the emergency phones during their flight out of the tunnel. The three users trapped in the Tauern emergency call niche also phoned the control centre.

The people present in the Tauern Tunnel were aware of the earlier Mont Blanc incident, which had occurred only two months before. Another favourable element of the Tauern Tunnel fire was that the tunnel entrance was "only" 800 m away from the fire location, and that section of the tunnel was free of smoke in the first minutes after the fire began.

3.3.7 Conséquences des catastrophes

Le nombre total de morts pour le Mont-Blanc a été de 39, y compris un pompier. Douze personnes sont mortes dans l'incendie du tunnel des Tauern. L'incendie du St. Gothard a causé la mort de 11 personnes. Huit autres personnes ont été hospitalisées à cause de leur exposition à la fumée.

Chacun des trois incendies a provoqué des dommages matériels très importants. On a pu observer des dommages graves sur des longueurs significatives de la voûte (plus de 900 m pour le Mont-Blanc et 500 m pour le Tauern), ainsi que sur la chaussée et les dalles. Dans le Tauern, le faux-plafond a été endommagé sur une longueur de près de 300 m. Les équipements du tunnel et le revêtement secondaire ont également été détruits ou gravement endommagés par les températures élevées et les produits de l'incendie sur des distances considérables dans les deux tunnels. Dans le St. Gothard, le faux-plafond s'est effondré sur une longueur d'environ 250 m dans la zone du foyer. On a constaté que le câble rayonnant situé dans la gaine d'air frais du St. Gothard a fonctionné correctement pendant l'incendie sur toute la longueur du tunnel, alors que les équipements installés dans l'espace de circulation ont dû être remplacés.

Le tunnel du Mont-Blanc a été ré-ouvert au trafic en mars 2002, presque trois ans après la catastrophe. Il a été très largement rénové après environ une année de négociation entre la France et l'Italie sur les nouvelles normes à appliquer. Le coût des réparations et de la rénovation du tunnel du Mont-blanc s'est monté à 350 millions d'euros.

Le tunnel des Tauern a été nettoyé et réparé en trois mois, avec des améliorations importantes concernant le système d'extraction qui permet maintenant de concentrer toute la capacité d'extraction sur la partie où l'incendie s'est déclaré.

Le tunnel du St. Gothard a été fermé à la circulation pendant deux mois. Le coût direct associé aux réparations et à l'interruption du trafic s'est monté à environ 1,2 million d'euros. Le tunnel a été ré-ouvert avec une circulation alternée pour les PL. L'enquête légale a conclu que la seule partie responsable de l'incendie et de ses conséquences était le conducteur du PL qui avait provoqué l'accident. Comme il est mort dans cette catastrophe, aucune autre action n'a été engagée.

3.4 Premiers enseignements tirés de ces incendies

Les trois tunnels sont tous bidirectionnels et pourvus d'une ventilation transversale. Parce que les incendies impliquaient des PL transportant des marchandises potentiellement dangereuses comme des bidons de laque et des pneus et qu'un nombre plus grand de personnes étaient présentes, les incendies du tunnel des Tauern et du St. Gothard étaient potentiellement plus dangereux (graves) que celui du Mont-blanc. La puissance thermique dégagée a rapidement atteint des valeurs de l'ordre de 50 à 100 MW.

3.3.7 Results of the Catastrophes

The total number of deaths in the Mont Blanc Tunnel was 39, including one fire-fighter. Twelve people died in the Tauern Tunnel fire. The St. Gotthard fire caused the death of 11 people. Eight more people were hospitalised for smoke exposure.

Each of these three fires led to very significant material losses. Severe damage to significant lengths of the tunnel vaults were observed (over 900 m for the Mont Blanc Tunnel, and 500 m for the Tauern Tunnel), as well as to the roadway pavements and slabs. In the Tauern Tunnel, the intermediate ceiling was damaged over a length of nearly 300 m. Tunnel equipment and secondary lining was also destroyed or severely damaged by high temperatures and fire by-products over considerable distances in both tunnel fires. In the St. Gotthard Tunnel, the intermediate ceiling collapsed over a length of about 250 m in the fire zone. It was noted that the radiant cable located in the fresh air duct of the St. Gotthard Tunnel worked properly over the whole tunnel length during the fire, whereas all equipment located in the traffic space had to be replaced.

The Mont Blanc Tunnel re-opened to traffic in March 2002, almost three years after the catastrophe. It was significantly renovated after about one year of negotiation between France and Italy on the new standards that would apply. The cost of repairing and renovating the Mont Blanc Tunnel was 350 million Euros.

The Tauern Tunnel was cleaned and repaired within three months, including important improvements to the exhaust ventilation system that now make it possible to concentrate the whole exhaust capacity above the region of a fire.

The St. Gotthard Tunnel was closed to traffic for two months. The direct cost associated with repairs and traffic interruption was 1.2 million Euros. It was reopened with alternate traffic for HGVs. The legal enquiry concluded that the only party responsible for the fire and its consequences was the HGV driver who caused the accident. As he died in the incident, no further action was taken.

3.4 Primary Lessons Learned from These Fires

These three tunnels are all bi-directional and transverse ventilated. Because the fires involved HGVs transporting potentially dangerous goods like lacquer tins and tires, and because more people were present, the Tauern and St. Gotthard Tunnel fires were potentially more dangerous (serious) than the Mont Blanc one. The heat release rates quickly reached values on the order of 50 to 100 MW.

Mais les conséquences de l'incendie du tunnel du Mont-Blanc ont été beaucoup plus sévères que les deux autres, en raison de différents facteurs. Tout d'abord, les usagers du tunnel des Tauern étaient au courant de la catastrophe qui s'était produite dans le Mont-blanc, et savaient donc qu'il fallait réagir correctement et s'enfuir. Une autre circonstance favorable pour ce scénario a été que l'incendie s'est déclenché assez près d'une entrée du tunnel. Dans l'incendie du St. Gothard, la galerie de sécurité a joué un rôle significatif dans l'évacuation. Dans le Mont-Blanc, l'incendie était situé presque au milieu du tunnel, rendant ainsi difficile aussi bien l'extraction des fumées que l'évacuation des usagers. En outre, l'existence de deux salles de commande séparées a compliqué les procédures opérationnelles.

D'autres aspects ont certainement joué un rôle significatif. Le système de ventilation du tunnel des Tauern était beaucoup plus performant que celui du Mont-Blanc, et les pompiers mieux équipés.

Des enseignements doivent être tirés de ces trois grands incendies. Le tableau ci-dessous présente les enseignements tirés de ces catastrophes et de leurs conséquences.

Tableau 3.5 - Enseignements tirés des incendies

Événement	Conséquences		Enseignements
L'INCENDIE LUI-MEME			
L'incendie progresse rapidement, même si la charge du PL n'était pas considérée comme marchandise dangereuse	--	- Difficile d'atteindre le foyer en raison de la fumée et de la chaleur - Les usagers ne peuvent pas éteindre le feu avec les extincteurs.	- Les incendies graves de PL peuvent se produire même avec des marchandises « non dangereuses » - Redéfinir la notion de « marchandises dangereuses » pour les tunnels routiers
EQUIPEMENTS DE SECURITE			
Détection rapide et précise du lieu de l'incendie	++	Optimisation de l'exploitation de la ventilation	Besoin de systèmes de détection incendie capables de localiser rapidement le foyer
Système de détection incendie en panne	--	Lieu de l'incendie inconnu	Besoin de systèmes de détection incendie fiables capables de localiser rapidement le foyer
Première alarme donnée par les opacimètres et les détecteurs de fumée	+	Première alarme	Les systèmes de détection incendie doivent comporter une détection des fumées en plus de la détection de l'élévation de température
2 personnes sont mortes dans un abri pressurisé à cause de la chaleur	--	2 victimes	Les abris pressurisés doivent être reliés à un itinéraire d'évacuation autre que le tunnel lui-même.

However, the consequences of the Mont Blanc Tunnel fire were much more serious than those of the other two fires due to various factors. First of all, the tunnel users in the Tauern fire were aware of the previous Mont Blanc catastrophe, giving them the knowledge to react properly and flee. Another favourable condition for this scenario was that the fire was located relatively close to a tunnel portal. In the St. Gotthard fire, the emergency gallery played a significant role in the evacuation. In the Mont Blanc Tunnel fire, the fire was located almost in the middle of the tunnel, making it unfavourable for both smoke extraction and user evacuation. Moreover, the two separated control centres complicated the tunnel operational procedures.

Other aspects certainly played significant roles. The ventilation system of the Tauern Tunnel had much better performance than that of the Mont Blanc Tunnel, and the fire-fighters were better equipped.

Lessons have to be learned from these major fires. The main lessons drawn from the catastrophes and their consequences are presented in the following table.

Table 3.5 - Lessons Learned

Event	Consequences	Lessons Learned
THE FIRE ITSELF		
The fire grew rapidly, even if the lorry's load was not considered as dangerous goods	-- - Difficult to reach the fire because of smoke and heat - Tunnel users could not extinguish the fire with extinguisher	- HGV serious fires can happen even with "non dangerous" goods - Redefine the notion of "dangerous goods" for road tunnels
SAFETY FACILITIES		
Fast and precise fire location detection	++ Optimisation of the ventilation operation	Need of fire detection systems able to locate rapidly the fire
Fire detection system out of work	-- Fire location unknown	Need of reliable fire detection systems able to locate rapidly the fire
First alarm given by opacimeters and smoke detectors	+ Fast alarm	Fire detection systems should include smoke detection in addition to temperature elevation detection
2 people died in a pressurised shelter because of heat	-- 2 victims	Pressurised shelters must be related to an evacuation route that is not the tunnel itself

Le câble rayonnant dans la gaine d'air frais a fonctionné correctement pendant toute la durée de l'incendie alors que les autres équipements installés dans l'espace de circulation étaient détruits.	++	La communication était possible pendant toutes les opérations de secours.	Placer les équipements sensibles à la chaleur dans une gaine d'air frais lorsque c'est possible.
Le système de recueil de liquides a fonctionné correctement.	++	Le carburant répandu a été évacué de la surface de la chaussée. On pouvait voir des flammes dans le collecteur, mais le feu ne s'est pas propagé dans les conduites après le siphon.	Les systèmes de recueil des liquides pourvus de siphons sont utiles.
INTERVENTION DES FORCES DE SECOURS			
Les premiers secours sont arrivés par le côté le plus enfumé du tunnel.	--	Ne pouvaient pas atteindre le foyer	Besoin d'informer les pompiers de l'étendue du bouchon de fumée dans le tunnel
Incompréhension sur l'emplacement du foyer	--	Arrivée tardive au tunnel	Besoin de former les pompiers
Les pompiers ont pénétré dans le tunnel avec un équipement inapproprié.	--	Les pompiers ont été piégés dans le tunnel. L'un d'eux est mort, et l'évacuation des autres a demandé plusieurs heures.	Besoin de former les pompiers. Une coopération est nécessaire entre les exploitants du tunnel et les pompiers pour informer ces derniers des conditions à l'intérieur du tunnel
Les pompiers ont atteint le foyer dans le laps de temps le plus court possible.	+	Même avec ce temps de réaction court, l'incendie était déjà suffisamment développé et difficile à combattre.	Dans le cas d'un incendie grave, les usagers doivent s'auto-évacuer dans un laps de temps très court.
COMPORTEMENT DES USAGERS			
Les usagers savaient comment fuir.	++	Moins de victimes	Besoin d'informer les usagers sur le comportement à tenir
Les usagers sont restés dans leurs véhicules	--	Les victimes sont mortes asphyxiées par la fumée.	Besoin d'informer les usagers sur le comportement à tenir
3 usagers ont trouvé refuge dans une niche de sécurité	-	- Ils ont peut-être pensé qu'ils étaient en sécurité alors que ce n'était pas le cas - Ils avaient besoin d'être secourus par les pompiers.	Les usagers doivent savoir que les niches de sécurité ne sont pas des lieux sécurisés. Il ne doit y avoir aucune confusion possible entre les niches de sécurité et les abris pressurisés ou les itinéraires d'évacuation.
Les usagers sont entrés dans le tunnel malgré le signal rouge et la sirène.	--	Plus de victimes	Besoin d'informer les usagers sur le comportement à tenir

The radiant cable placed in the fresh air duct worked properly during the whole fire whereas other equipment in the traffic space was destroyed	++	Communication was possible during the entire rescue operation	Place heat-sensitive equipment in a fresh air duct whenever possible
The liquid-collecting system worked properly	++	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	Liquid-collecting systems with siphons are useful
RESPONSE BY RESCUE FORCES			
First fire-fighters arrived from the most smoked tunnel side	--	Could not reach the fire	Need to inform the fire-fighters on the extend of the smoke plug in the tunnel
Misunderstanding about the fire place	--	Arrived at the tunnel late	Need to train the fire-fighters
Fire-fighters entered the tunnel with inappropriate equipment	--	Fire-fighters were trapped in the tunnel. One died, and the evacuation of the others needed several hours	Need to train the fire-fighters - Cooperation needed between the tunnel operators and the fire-fighters to inform them on the situation inside the tunnel
Fire-fighters reached the fire in the shortest time technically possible	+	Even with this short reaction time, the fire was already very large and difficult to fight	In the event of a large fire, users have to self-evacuate in a very short time period
USERS' BEHAVIOUR			
Users had the knowledge to flee	++	Fewer victims	Need to inform the users on the behaviour expected from them
Users stayed in their vehicles	--	Victims died asphyxiated in the smoke	Need to inform the users on the behaviour expected from them
3 users took refuge in an emergency call niche	-	- Perhaps they thought that they were in a safe area while it was not the case - Needed to be rescued by fire-fighters	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 pressurised shelters or evacuation routes.
Car drivers entered the tunnel in spite of the red signal and siren	--	More victims	Need to inform the users on the behaviour expected from them

Les usagers ont utilisé les sorties de secours	++	Moins de victimes	Besoin d'informer les usagers sur le comportement à tenir en cas d'incendie
Les victimes étaient des conducteurs qui se sont arrêtés de 300 à 600 m de l'incendie, apparemment parce qu'ils ne pouvaient pas voir le feu.	--	Lorsque ces usagers ont vu la fumée, le temps de réaction restant pour atteindre les sorties de secours était très court.	On aurait dû dire aux usagers qu'en cas d'un arrêt du trafic dans le tunnel, sans information sur ce qui se passait, ils devaient quitter leurs véhicules pour rejoindre les sorties de secours ou les abris.
EXPLOITATION DU TUNNEL			
Deux centres de contrôle distincts, chacun exploitant une moitié du tunnel	--	- Manque de coordination entre les opérateurs des deux centres - Complexité de l'exploitation de la ventilation de secours et de la communication avec les secours	Un seul centre de contrôle aurait dû exploiter le tunnel
Apport d'air frais à pleine capacité (à partir du bas)	--	- A accéléré la vitesse de la fumée vers les entrées - Bouchon de fumée plus long	- Réduire l'apport d'air frais si la vitesse longitudinale n'est pas maîtrisée - Les modes de ventilation doivent être vérifiés périodiquement à la lumière des recommandations existantes.
L'apport d'air frais à partir du plafond s'est arrêté après l'alarme incendie	++	A permis la stratification des fumées dans les minutes qui ont suivi l'incendie	L'apport d'air frais doit être réduit dans la zone du foyer pour favoriser la stratification des fumées
Les procédures de ventilation n'ont pas été suivies (soufflage au lieu d'extraction)	-	- Pas d'extraction de fumée dans la zone du foyer - Le soufflage à partir du plafond a contribué à déstratifier les fumées	Besoin de former les exploitants du tunnel à réagir en cas de situation d'urgence
Une queue de véhicules s'est formée à l'arrière du foyer.	--	- Beaucoup d'usagers dans la zone dangereuse - Le feu s'est transmis à d'autres véhicules	- La distance de sécurité en cas d'incendie doit être respectée lorsque les véhicules ont à s'arrêter dans un tunnel. Besoin d'informer les usagers. - Des barrières doivent être installées dans les tunnels longs pour éviter l'accumulation des véhicules dans les zones dangereuses.
Le tunnel a été fermé rapidement à la circulation (3 min après le déclenchement de l'incendie)	++	- A limité le nombre de personnes présentes dans le tunnel	- Les usagers doivent être éduqués - Utiliser des barrières physiques au lieu des feux de circulation pour fermer le tunnel
Les opérateurs ne pouvaient pas savoir combien de personnes étaient présentes dans le tunnel au moment du déclenchement de l'incendie et après	-		Compter les véhicules entrant et sortant ?

Users used the emergency exits	++	Fewer victims	Need to inform users on the behaviour expected in case of a fire
The victims were drivers who stopped in the tunnel 300 to 600 m away from the fire, apparently because they could not see the fire	--	As these tunnel users saw the smoke, the reaction time to reach the emergency exits was very short	The tunnel users should be told that in case of a traffic stop in a tunnel with no information on what is happening, they must leave their vehicles to reach emergency exits or shelters
TUNNEL OPERATION			
Two separated control centres, each operating one-half of the tunnel	--	<ul style="list-style-type: none"> - Lack of coordination between the tunnel operators of the two centres - Complicated emergency ventilation operation and communication with rescue forces 	Only one control centre should be operating the tunnel
Fresh air supply at full capacity (from the bottom)	--	<ul style="list-style-type: none"> - Accelerated the smoke velocity towards the portals - Longer smoke plug 	<ul style="list-style-type: none"> - Reduce fresh air supply if the longitudinal velocity is not controlled - Ventilation procedures have to be checked periodically in the light of available recommendations.
Fresh air supply from the ceiling stopped after the fire alarm	++	Permitted smoke stratification in the minutes following the fire	Fresh air supply must be reduced in the fire zone to favour the smoke stratification
Ventilation procedures were not followed (blowing instead of extraction)	-	<ul style="list-style-type: none"> - No smoke extraction in the fire zone - Blowing from the ceiling contributed to the smoke destratification 	Need to train the tunnel operators to react to emergency situations
A vehicle queue built up at the backside of the fire	--	<ul style="list-style-type: none"> - A large number of people in the dangerous zone - The fire transmitted to others vehicles 	<ul style="list-style-type: none"> - Fire safety distance must be respected when vehicles have to stop in a tunnel. Need of information for the users. - Barriers should be installed in long tunnels to avoid the accumulation of vehicles in dangerous zones.
The tunnel was closed to the traffic rapidly (3 min after the fire beginning)	++	- Limited the number of people present in the tunnel	<ul style="list-style-type: none"> - Tunnel users have to be educated - Use physical barrier instead of traffic lights to close the tunnel
Operators could not know how many people were present in the tunnel at and after the fire's beginning	-		Count the entering and exiting vehicles?

La progression des fumées a donné lieu à d'autres alarmes qui ont déclenché l'extraction des fumées loin en aval du foyer	-	La vitesse longitudinale de l'air et la progression des fumées a été accrue vers le nord	Les systèmes automatiques de ventilation doivent prendre ce risque en considération
---	---	--	---

Légende : ++ conséquences très positives
 + conséquences positives
 - conséquences négatives
 -- conséquences très négatives

3.5 Conclusions

Les incendies du Mont-blanc, des Tauern et du St. Gothard montrent qu'un incendie grave impliquant un ou des PL dans un tunnel ventilé transversalement peut conduire à des conséquences différentes, en fonction :

- des secours incendie et du comportement des usagers du tunnel ;
- des capacités du système de ventilation ;
- de la mise en œuvre du système de ventilation.

Il est essentiel de pouvoir localiser l'incendie à l'intérieur du tunnel pour mettre en œuvre le système de ventilation de la façon la plus efficace. Le temps d'arrivée des services publics d'incendie a été de l'ordre de 15 minutes pour le Mont-Blanc et le Tauern. Pour le St. Gothard, le délai d'intervention a été encore plus court, mais pas suffisamment pour secourir toutes les victimes piégées par la fumée. Cela signifie que la sécurité des usagers dépend principalement de leur capacité à fuir par leurs propres moyens dans les quelques minutes qui suivent le déclenchement de l'incendie, pendant les premières étapes de la mise en route de la ventilation d'urgence.

Cela démontre combien il est important d'apprendre aux usagers des tunnels comment optimiser leur capacité d'auto-évacuation (c'est-à-dire de fuite). Cela montre également l'importance d'une mise en œuvre adéquate du système de ventilation afin de contribuer à l'évacuation initiale des usagers et à la progression des équipes de secours dans le tunnel.

Ces incendies ont également démontré l'importance :

- de la formation des exploitants de tunnel,
- de la formation des équipes de pompiers et de secours,
- de très bien connaître et de savoir comment faire fonctionner les systèmes de ventilation d'urgence en conformité avec les procédures de ventilation d'urgence.

The smoke progress gave further fire alarms which activated the smoke extraction far downstream of the fire	-	The longitudinal air velocity and the smoke progress was increased toward the north	Automatic systems for ventilation operation should take care of this risk
---	---	---	---

Legend: ++ very positive consequences
 + positive consequences
 - negative consequences
 -- very negative consequences

3.5 Conclusions

The Mont Blanc, Tauern and St. Gotthard fires show that a serious HGV fire in a transverse ventilated tunnel can lead to different consequences, depending on:

- the fire rescue and the actions of the tunnel users
- the ventilation system capacities
- the ventilation system operation

The need to precisely locate the fire in the tunnel is essential for operating the ventilation system in the most efficient way. The time response of public fire rescue forces was on the order of 15 minutes for both the Mont Blanc and Tauern fires. In the St. Gotthard fire, the time response was even shorter, but not sufficiently so to rescue all the victims trapped in the smoke. This means that the safety of users depends mainly on their ability to self-evacuate in the few minutes after a fire breaks out, during the first stages of the emergency ventilation operation.

This demonstrates the importance of educating tunnel users on optimising their ability to self-evacuate (i.e., flee). It also shows the importance of proper ventilation system operation to aid the initial evacuation of tunnel users as well as the progression of fire rescue forces into the tunnel.

These fires have also demonstrated the importance of:

- training tunnel operators
- training fire-fighting and rescue forces
- having an intimate understanding of and the ability to operate emergency ventilation systems in accordance with emergency ventilation procedures.