

## 12.2 La rénovation du tunnel du Mont-Blanc

### 12.2.1 Introduction

Le tunnel du Mont Blanc était pourvu auparavant d'un système de ventilation semi-transversal réparti sur huit cantons d'injection d'air frais. L'extraction des fumées (et de l'air vicié) se faisait par des bouches situées tous les 300 m. Ces bouches étaient reliées à deux conduites : l'une sur le versant français et l'autre sur le versant italien.

Le 24 mars 1999, un incendie catastrophique s'est produit dans le tunnel du Mont-Blanc, provoquant la mort de 39 personnes, ainsi que des dommages considérables sur l'ouvrage.

Le tunnel a été rénové avant d'être de nouveau ouvert au trafic. Le système de ventilation constituait une partie importante des travaux de réhabilitation, le système d'origine ayant été trouvé inadapté, tant en capacité qu'en possibilités opérationnelles en cas d'incendie majeur.

## 12.2 The Mont Blanc Tunnel Renovation

### 12.2.1 Introduction

The former Mont Blanc tunnel ventilation system was a semi-transverse system including eight fresh air injection sections. Extraction of smoke (and polluted air) was performed through open vents located every 300 m. These vents were connected to two ducts: one on the French side and one on the Italian side.

On March 24, 1999, a catastrophic fire in the Mont Blanc Tunnel caused the death of 39 people, as well as very significant structural damage.

The tunnel was renovated before it was reopened to traffic. The ventilation system comprised a significant portion of the rehabilitation design work, since the original system was found to be inadequate in capacity and operational ability during a major fire.

## 12.2.2 Rénovation

Les études de rénovation ont été fondées sur les recommandations officielles des Italiens et des Français. Les recommandations de l'AIPCR [2] ont été prises comme référence tierce, puisqu'elles décrivaient de façon claire les principes de sécurité.

Après rénovation, le tunnel du Mont Blanc reste un tunnel bidirectionnel. La principale conséquence en est qu'il y aura des usagers sur les deux côtés d'un incendie si celui-ci se déclare. Dans ce cas, l'AIPCR recommande de préserver les conditions favorables à une stratification des fumées chaudes. Le Comité international de sécurité du Mont-Blanc recommande également de maîtriser l'extension longitudinale de ces fumées chaudes.

Ainsi, en cas d'incendie, le principe consiste à concentrer la capacité d'extraction sur l'incendie et à maîtriser la vitesse longitudinale de l'air dans la zone du foyer. Les résultats pratiques sont les suivants :

- convergence de l'air frais vers le foyer d'incendie en raison de l'extraction,
- stratification des fumées chaudes en raison de la vitesse zéro de l'air.

## 12.2.3 Dimensionnement

Les recommandations officielles incluaient la mise en place de bouches d'extraction pour que la nouvelle distance entre les bouches soit ramenée à 100 m. Les bouches sont équipées à présent de registres motorisés télécommandés.

Le débit d'extraction a été dimensionné pour empêcher toute couche de fumée stratifiée de s'étendre au-delà des dernières bouches ouvertes. Une étude récente a montré que cela peut être réalisé en créant une vitesse de l'air longitudinale contraire suffisante [18]. Le calcul du taux d'extraction est alors extrêmement facile.

L'accroissement nécessaire de la capacité d'extraction a été réalisé en enlevant la cloison centrale des anciennes conduites d'air vicié et en installant quatre ventilateurs intermédiaires dans la nouvelle conduite. Cette solution était conforme à la recommandation AIPCR concernant l'étanchéité des conduites d'air vicié [2].

L'objectif d'une vitesse de l'air égale à zéro restait encore sujet à caution. Le 24 mars 1999, les conditions de l'incendie ont montré à quel point la ventilation naturelle avait son importance dans le tunnel du Mont-Blanc. Des mesures de pression atmosphérique effectuées précédemment avaient montré que la différence entre les têtes pouvaient atteindre 500 Pa dans les deux sens. Par conséquent, la seule possibilité d'arriver à une vitesse de l'air égale à zéro était d'installer des accélérateurs réversibles à l'intérieur du tunnel.

## 12.2.2 Renovation

The renovation studies were based on the official recommendations from the Italians and French. The PIARC recommendations [2] were taken as a third reference since they clearly describe the safety principles.

Post-renovation, the Mont Blanc Tunnel remains a bi-directional tunnel. The main consequence of this is that people will be on both sides of a fire if one should occur. In this case, PIARC recommends preserving the conditions of hot smoke stratification. The Mont Blanc International Safety Committee also recommends controlling the longitudinal extension of hot smoke.

Thus, in case of a fire, the principle is to focus the extraction capacity on the fire and to control the longitudinal velocity in the fire area. The practical results are:

- A convergence of fresh air toward the fire as a consequence of the extraction
- The stratification of hot smoke as a consequence of zero velocity.

## 12.2.3 Dimensioning

The official recommendations included the construction of additional extraction vents so that the new distance between vents was reduced to 100 m. The vents are now equipped with motorised remote-controlled dampers.

The extraction flow rate was designed to prevent the stratified smoke layer from extending beyond the extreme open extraction vents. Recent research shows that this condition can be fulfilled by creating sufficient adverse longitudinal velocity [18]. The calculation of the extraction rate is therefore quite easy.

The necessary increase in installed extraction capacity was achieved by removing the central separation of the former extraction ducts and installing four intermediate fans within the new duct. This solution was found to be in agreement with the PIARC recommendation for air tightness of extraction ducts [2].

However, the issue of zero longitudinal velocity still needed to be addressed. The March 24, 1999 fire conditions illustrated the significance of natural ventilation of the Mont Blanc Tunnel. Former atmospheric pressure measurements showed that the difference between the portals may have exceeded 500 Pa in any direction. As a consequence, the only possibility for achieving zero longitudinal velocity was to install reversible jet fans inside the tunnel.

#### 12.2.4 Fonctionnement automatique

Les sociétés du tunnel, avec l'appui du Comité de sécurité, ont accepté de mettre au point et d'implanter un système de ventilation automatique pouvant répondre aux deux objectifs mentionnés dans le chapitre 12.2.2.

Les phases principales sont les suivantes :

- Phase 1 : pré-alarme. L'opérateur est informé de l'apparition d'un feu dans le tunnel, mais il n'en connaît pas la localisation précise. Certaines modifications d'exploitation sont activées automatiquement (diminution de l'apport d'air frais, mise en route des ventilateurs d'air vicié, arrêt des accélérateurs). Ces modes ont pour but d'éviter une dé-stratification des fumées et de préparer le bon fonctionnement des procédures suivantes ;
- Phase 2 : alarme. L'opérateur a localisé l'incendie et « clique » sur l'emplacement de l'incendie sur le tableau synoptique. Des modes complémentaires d'exploitation sont activés (les registres des six bouches les plus proches du foyer sont ouverts, la capacité d'extraction est augmentée à 100 %). Les accélérateurs sont mis en route conformément à une boucle de régulation :
  - la vitesse de l'air est mesurée par des anémomètres situés loin du foyer (hors fumées),
  - la vitesse de l'air au niveau du foyer est calculée en fonction de ces mesures et des régimes de ventilation,
  - le nombre d'accélérateurs nécessaires pour réduire la vitesse de l'air sur le foyer est calculé et les accélérateurs appropriés mis en route ;
- Le système « attend » qu'un temps déterminé se soit écoulé pour ré-initier la boucle.

#### 12.2.5 Essais d'incendie en grandeur réelle

A la demande du Comité de sécurité, des essais d'incendie en grandeur réelle impliquant des puissances thermiques importantes (8,4 MW, incendie d'essence) ont été effectués le 30 janvier 2002. Une première série de petits incendies calibrés (1,4 MW, incendie d'essence) a d'abord été réalisée pour vérifier l'efficacité du contrôle automatique.

Les résultats présentés proviennent d'une simulation CFD de l'incendie de 1,4 MW. Ils sont conformes aux observations effectuées pendant l'essai de référence. Les phases en sont les suivantes :

- $t = 120$  s : la vitesse longitudinale est égale à 4 m/s au début de l'incendie. Le contrôle automatique est mis en route et la vitesse diminue rapidement jusqu'à 2 m/s ( $t = 120$  s). Les fumées ne sont pas stratifiées et sont entraînées en aval du foyer par le flux d'air longitudinal.
- $t = 240$  s : la vitesse longitudinale sur le foyer est égale à 0 m/s. Le but de la régulation de la vitesse est atteint. La fumée est ramenée vers le foyer par le taux d'extraction (flèches). L'effet de poinçonnement de l'extraction est visible. La remontée des fumées s'opère lentement ;

## 12.2.4 Automatic Operation

The tunnel companies, supported by the Safety Committee, accepted the development and the implementation of an automatic ventilation system aimed at reaching the two objectives mentioned in Section 12.2.2.

The main phases are as follows:

- Phase 1: Pre-alert. The operator is informed that a fire has occurred in the tunnel, but does not know the exact location. Some operational changes are automatically implemented (i.e., reduction of fresh air supply, activation of extraction fans, deactivation of jet fans). These modes are aimed at preventing smoke de-stratification as well as preparing the effectiveness of the following procedures;
- Phase 2: Alert. The operator has located the fire and “clicks” on the fire location on the tunnel synoptic. Some complementary operating modes are activated (i.e., the dampers of the six vents closest to the fire are opened, the extraction capacity is increased to 100%). The jet fans are operated according to a regulation loop:
  - The measurement of air velocity by anemometers located away from the fire (free of smoke)
  - The calculation of air velocity at the fire according to the measurements and the ventilation levels
  - The calculation of the number of jet fans required to reduce the velocity at the fire and the activation of the appropriate jet fans;
- The system “waits” for a fixed time before the loop is reinitiated.

## 12.2.5 Full-Scale Fire Tests

At the request of the Safety Committee, full-scale fire tests involving significant heat release rates (8.4 MW, gasoline fire) were performed on January 30, 2002. A preliminary set of small, calibrated fires (1.4 MW, gasoline fire) was first performed in order to check the effectiveness of the automatic control.

The test results presented are from a CFD simulation of the 1.4 MW fire. They are in agreement with the observations made during the reference test. The phases are described below:

- $t = 120$  s: The longitudinal velocity is equal to 4 m/s at the beginning of the fire. The automatic control is activated and the velocity decreases quite rapidly to 2 m/s ( $t = 120$  s). The smoke is not stratified and is transported downstream of the fire by the longitudinal flow;
- $t = 240$  s: The longitudinal velocity at the fire is equal to 0 m/s. The velocity regulation target is achieved. The smoke is drawn back to the fire area by the extraction rate (arrows). The punching effect of the extraction is visible. The backlayering develops slowly;

- $t = 360 \text{ s}$  : la remontée des fumées est stoppée sur la première bouche d'air vicié ouverte et ne peut plus progresser (« vitesse de confinement »). En aval du foyer, la vitesse est négative et l'air frais se déplace vers les bouches d'extraction. La stratification s'opère dans cette zone ;
- $t = 480 \text{ s}$  à  $720 \text{ s}$  : le mécanisme de la stratification progresse vers l'incendie. A  $t = 720 \text{ s}$ , l'état final stable est atteint.

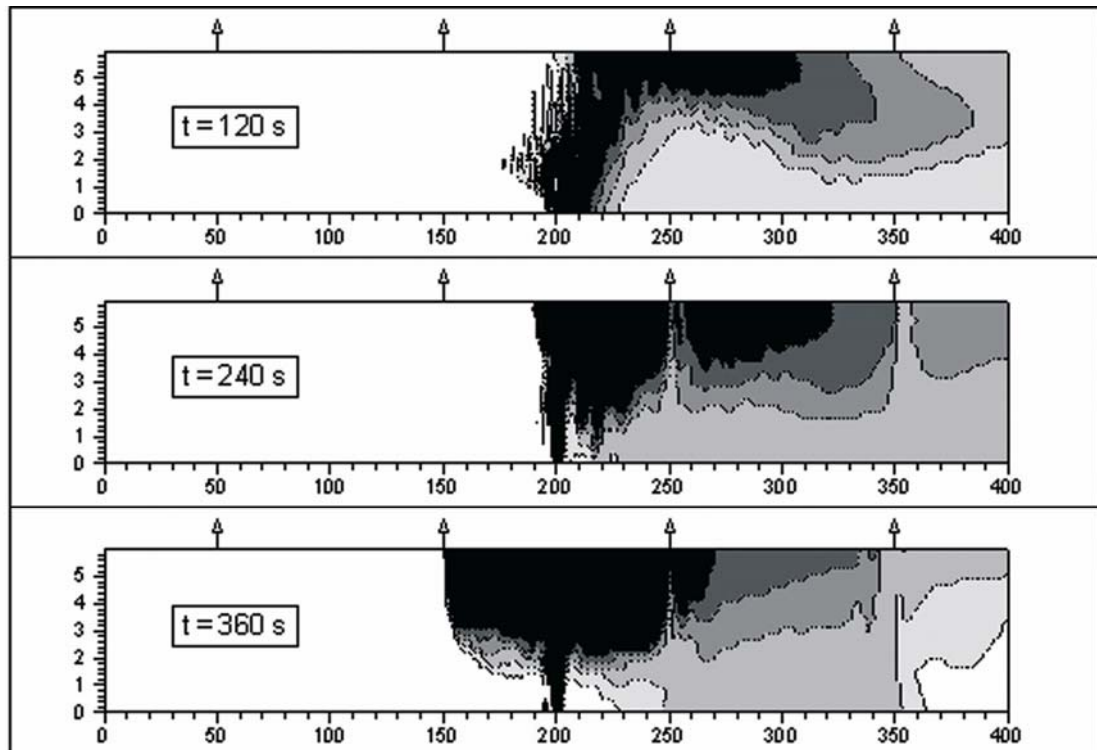


Figure 12.2.1 - Evolution du champ d'opacité au cours d'un essai en grandeur réelle dans le tunnel du Mont Blanc [61]

Ces essais ont montré en outre qu'il faudrait deux à quatre fois plus de temps pour obtenir la même vitesse de contrôle avec la même procédure si elle était appliquée manuellement par un opérateur.

- $t = 360$  s: The backlayering is stopped at the first open extraction vent and cannot progress anymore (“confinement velocity”). Downstream of the fire, the velocity is negative and the fresh air moves toward the extraction vents. The stratification develops in this area;
- $t = 480$  s to  $720$  s: The mechanism of the stratification progresses to the fire. At  $t = 720$  s, the final steady-state is reached.

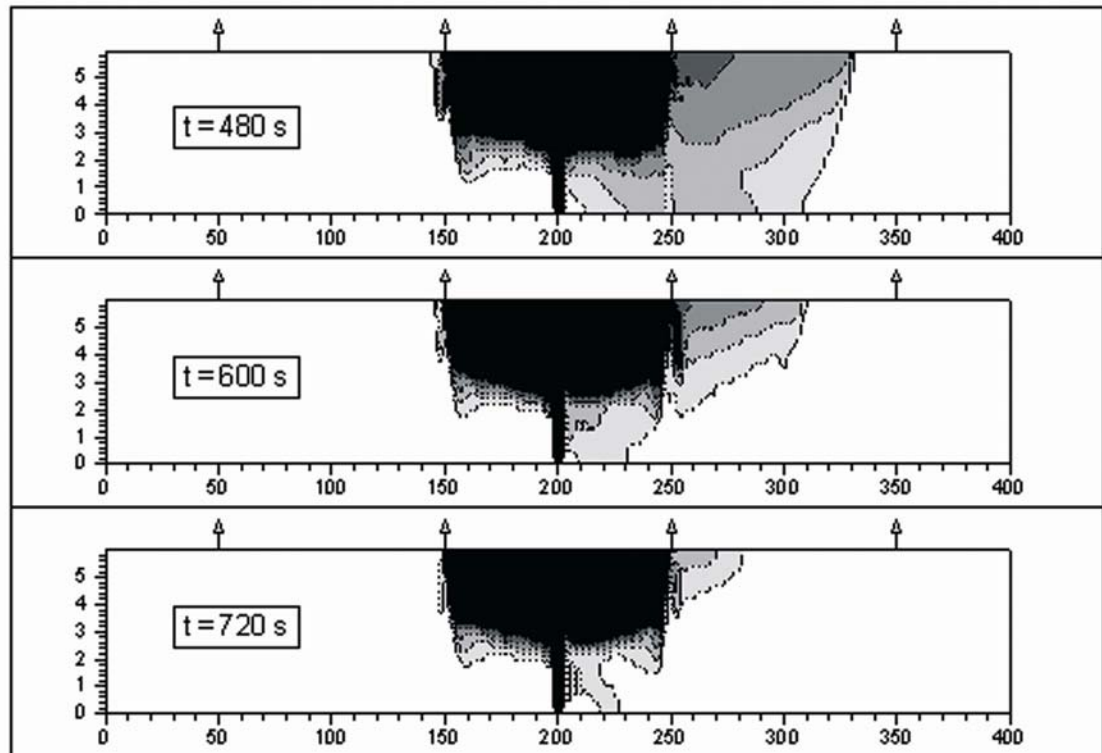


Figure 12.2.1 - Evolution of the opacity field during a full-scale fire test in the Mont Blanc Tunnel [61]

Additionally, these tests have shown that it would take two to four times the amount of time to reach the same velocity control with the same procedure being applied manually by a trained operator