

# 8 RESPONSABILITÉS OPÉRATIONNELLES EN CAS D'URGENCE

## 8.1 Introduction

Un certain nombre de questions doivent être examinées en ce qui concerne les opérations en tunnels pendant une urgence :

- l'établissement de protocoles d'intervention d'urgence en vue de mener à bien les opérations requises ;
- une claire compréhension de la conception du système et de ses implications opérationnelles ;
- une claire compréhension des points où la conception a été modifiée, afin de revoir l'objectif opérationnel ;
- points concernant le rôle des services d'intervention :
  - bonne communication entre les services d'intervention et l'exploitant du tunnel ;
  - bonne compréhension par les services d'intervention des capacités et des limites du système ;
- l'établissement à l'avance d'un plan d'intervention d'urgence intégré qui soit parfaitement compris par l'ensemble des parties intervenantes ;
- le besoin d'une formation initiale et continue du personnel, ainsi que d'exercices, du fait que des actions doivent être effectuées rapidement ;
- le besoin d'entretenir les équipements pour être sûr que les objectifs du système de contrôle seront remplis.

Il est extrêmement important d'établir un plan d'intervention d'urgence, qui soit mis au point et accepté par toutes les parties intervenantes.

## 8.2 Travaux antérieurs de l'AIPCR

### Marrakech 1991

Le rapport du Comité des tunnels routiers au XIXe Congrès mondial de la route de Marrakech [56] donnait des directives pour la préparation des consignes sur la façon de traiter un incendie, en se concentrant sur les plans d'intervention d'urgence. Les points principaux étaient les suivants :

- des consignes claires sur la façon de traiter un incendie, destinées à ceux qui sont responsables de l'exploitation du tunnel, y compris les services d'intervention, doivent être établies à l'avance ;
- celles-ci sont nécessaires pour coordonner dans le temps le plus court possible l'action des différents intervenants ;
- les consignes sont rédigées avant la mise en service du tunnel et modifiées en fonction des leçons tirées d'exercices ou d'incidents réels.

# 8 OPERATIONAL RESPONSIBILITIES FOR EMERGENCIES

## 8.1 Introduction

There are a number of topics that need to be considered regarding operational responsibilities for emergencies:

- the development of emergency response protocols to achieve required performance;
- a clear understanding of the system design and its operational implications;
- a clear understanding of where the design has been altered, so as to achieve a revised operational objective;
- issues relating to the response by emergency services:
  - good communication between emergency services and the tunnel operator;
  - good understanding by emergency services of the system's capabilities and limitations;
- the development of an integrated, pre-prepared emergency response plan which is fully understood by all responding parties;
- the need for initial and continuous training of staff, as well as exercises, recognizing that actions need to be taken quickly;
- the need for maintenance of equipment to ensure that the system control objectives can be met.

It is of prime importance to establish an emergency response plan that is developed and agreed to by all responding parties.

## 8.2 Previous Work by PIARC

### Marrakesh 1991

The Report of the Committee on Road Tunnels to the XIXth World Road Congress in Marrakech [56] gave guidelines for the preparation of instructions on how to deal with fire, focusing on the formulation of emergency response plans. The major points made were as follows:

- advance planning is required to create clear instructions on how to deal with a fire for those responsible for the operation of the tunnel, including emergency services;
- these plans must ensure that coordination of the various emergency response units takes place in the shortest possible time;
- instructions should be prepared before commissioning the tunnel and amended in the light of lessons learned during trial exercises and actual incidents.

Les actions prioritaires à la base des plans d'intervention sont : la sauvegarde des vies humaines, l'intervention rapide des services de secours sur le lieu de l'incendie, l'établissement de la meilleure coordination possible entre les différents services de secours et le maintien des communications entre la salle de commande et le lieu de l'accident.

Les consignes données dans chaque plan doivent prendre en compte le mode de ventilation ainsi que les caractéristiques du tunnel, telles que longueur et trafic uni ou bidirectionnel, nature des équipements d'alarme et d'urgence, situation urbaine ou en rase campagne, existence d'une salle de commande, problèmes d'accès et difficultés rencontrés par les services de secours. Des essais d'incendies et des exercices d'entraînement doivent être effectués pour tester le plan.

Le rapport général sur la sécurité présenté au XIXe Congrès mondial de la route de Marrakech [58] mettait l'accent sur la nécessité d'une organisation des services de secours et sur les éléments importants d'un système de secours : premiers secours, appel d'urgence, services de secours et aide clinique. Ce rapport indiquait également qu'une faiblesse dans l'un quelconque des éléments ne pouvait pas être compensée par le renforcement d'un autre. Le rapport sur la « Maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers [2] consacre un chapitre à la gestion des interventions en cas d'incendie.

### **8.3 Mise en œuvre des systèmes de maîtrise des fumées**

A l'origine, le concepteur définit les objectifs d'un système de ventilation, dimensionne les équipements nécessaires et propose les actions que l'exploitant devra effectuer selon les différents scénarios. Le concepteur doit par conséquent comprendre comment se comportent les fumées, ce que l'utilisateur du tunnel est susceptible de faire (comportement humain) et ce que l'exploitant – et plus tard les services de secours – doivent faire en réponse à une situation d'urgence.

D'une façon idéale, le système de ventilation devrait être capable de répondre immédiatement à un incident du trafic afin de protéger aussi bien les vies humaines que l'infrastructure du tunnel. C'est à cet idéal théorique que le concepteur s'efforce de parvenir. Dans la pratique cependant, d'autres facteurs exercent leur influence. Il faut alors juger du mode d'exploitation le mieux approprié pour une situation d'urgence donnée, en choisissant parfois parmi les nombreuses solutions disponibles.

The priority actions on which the plans are based are: to save human lives, to ensure the rapid intervention of emergency services at the scene of the fire, to create the smoothest possible coordination between the various emergency services, and to maintain communications between the control room and the scene of the accident.

Instructions within each plan must take into account the method of ventilation and the characteristics of the tunnel, e.g. length and one-way or two-way traffic, nature of the alarm and emergency equipment, urban or rural location, existence of a control room, problems of access and difficulties for the intervention of emergency services. To test the plan, fire tests and trial exercises should be carried out.

The General Report on Safety presented to the XIXth World Road Congress in Marrakech [58] emphasized the need for organization of rescue services and the important elements of a rescue system: first aid, emergency call, rescue services and clinical help. This report also indicated that a weakness in any one element could not be compensated for by a strength in another. The report on “Fire and Smoke Control in Road Tunnels” [2] devotes a section to Fire Response Management.

### **8.3 Operation of Smoke Control Systems**

The designer initially defines the objectives of the ventilation system, sizes the necessary equipment and proposes what actions the operator should take under various scenarios. The designer, therefore, needs to understand the behaviour of smoke, what the tunnel user might do (human behaviour), and what the operator, and later emergency services, should do in response to an emergency.

Ideally, a tunnel ventilation system would have the capability to immediately respond to a traffic incident in a manner that protects both human life and the tunnel infrastructure. The designer attempts to achieve this theoretical ideal. In practice, however, other factors will impact the situation. Judgment will be required to select the most appropriate operating mode, sometimes among many available, for any given emergency situation.

Pour les exploitants de tunnel, cela s'exprime par une série de choix qui peuvent être faits quant à la configuration des équipements de ventilation existants. Ces choix sont habituellement fondés sur des configurations d'utilisation des équipements pré-établies, ce qui implique de se poser les questions suivantes :

- Quelle était l'intention du concepteur ?
- Comment le système doit-il être exploité pour réaliser cette intention ?
- Indépendamment de la conception – que peut faire le système de ventilation et comment ?

Les objectifs de conception devraient fournir un moyen utile pour caractériser la performance opérationnelle potentielle du système de ventilation, tandis que les caractéristiques effectives du système définissent le résultat réalisable du point de vue de l'exploitation. Lors de la réaction à un incident réel, la distinction peut être critique – et l'importance de l'interface entre conception et exploitation cruciale.

Un exemple simple est la nécessité de réduire le courant d'air à l'intérieur d'un tunnel bidirectionnel pendant la phase initiale d'évacuation pour maintenir au mieux une qualité acceptable de l'air (par la stratification des fumées). Le concepteur peut avoir dimensionné le système de ventilation pour que la vitesse reste inférieure à la valeur critique afin que les fumées soient stratifiées, et avoir configuré les réglages de la ventilation en fonction. Mais le trafic dans le tunnel et le vent aux têtes peuvent induire des vitesses plus élevées. Par conséquent, l'exploitant (suivant les procédures du concepteur) doit avoir la possibilité de contrôler les fumées en fonction des conditions réelles, plutôt que des conditions de dimensionnement. Sinon l'exploitant peut ne plus être capable de contrôler le système de ventilation au cours d'un incident.

Il est donc extrêmement important de transmettre à l'exploitant toutes les connaissances sur la conception originelle. La flexibilité opérationnelle prévue dans la conception doit être soigneusement transmise à l'exploitant. Celui-ci doit connaître les options réellement utilisables plutôt que les alternatives opérationnelles théoriques complexes.

D'une façon générale, les exploitants doivent rendre compte systématiquement de leurs observations des faits réels et les comparer aux objectifs de ventilation tels que décrits dans les documents originaux de dimensionnement. Des changements dans le personnel, dans les pratiques d'exploitation, dans les performances et les besoins du système peuvent donner lieu à des demandes opérationnelles vis-à-vis du système de ventilation pour lesquelles il n'avait pas été dimensionné.

For tunnel operators this is reflected in a series of choices that can be made about the configuration of existing ventilation equipment. Usually these choices are based upon pre-planned equipment usage configurations, hence the following questions are to be considered:

- What is the intention of the design?
- How should the system be operated to achieve that intention?
- Independently of the design – what can the ventilation system achieve and how?

The objectives of the design should provide a useful means of characterizing the potential operational performance of the ventilation system, whereas the actual characteristics of the system define the achievable result from an operational perspective. In responding to a real incident this distinction may be critical – and the importance of the design-operator interface crucial.

A simple example is the requirement to reduce airflows in a bi-directional tunnel during the initial evacuation phase so as to maximize tunnel air tenability (via smoke stratification). The designer may have designed the ventilation system to achieve a velocity lower than the critical value to ensure smoke stratification, and configured the ventilation power settings accordingly. However, the tunnel traffic or portal winds may cause higher velocities. As a result, the operator (following the designer's procedures) must have the ability to control the smoke based on actual, rather than design conditions. Alternatively, the operator may lose the ability to manage the ventilation system during an incident.

Therefore, it is extremely important to transfer all original design knowledge to the tunnel operator. The intended operational flexibility of the design should be carefully conveyed to the operator. The operator must be given really usable options as opposed to complex, theoretical operational alternatives.

As a general practice, operators should systematically review their real-life observations and practices and compare them to the ventilation objectives stated in the original design documents. Changes in staff, operational practices, system performance and system requirements can make operational demands on the ventilation system for which it was not designed.

L'interface entre la conception de la ventilation et les conditions réelles d'exploitation est fondamentale, non seulement pour optimiser la réaction de la ventilation en cas d'urgence, mais aussi pour assurer que l'entretien et/ou la remise en état du tunnel n'empêchent pas d'atteindre les exigences d'exploitation et de conception. Comme les périodes pendant lesquelles il n'arrive aucun incident sont généralement longues, les exploitants ont tendance à oublier qu'il existe des différences entre l'intention originelle de la conception et les caractéristiques réelles d'exploitation. Ils doivent rester conscients de ce fait dans le cas où une urgence, semble-t-il improbable, se produit réellement.

## **8.4 Action des services d'intervention**

### 8.4.1 Introduction

Pour tout tunnel, le plan d'intervention d'urgence doit inclure des procédures pour appeler les services d'intervention. Cela peut être nécessaire si les systèmes de sécurité prévus dans le tunnel sont défectueux et si l'exploitant est incapable de traiter un incident selon les méthodes habituelles, ou si l'incident est suffisamment grave pour nécessiter l'assistance immédiate sur place des services de secours (c'est-à-dire pompiers, services de secours, police et services médicaux).

### 8.4.2 Communications

#### ***Qui effectue le premier appel au Centre d'alarme ?***

Le premier signalement d'un incident peut avoir plusieurs sources :

- un opérateur du tunnel dans la salle de commande, lorsqu'il est alerté par une détection technique ou la vidéosurveillance ;
- un usager utilisant un téléphone d'appel d'urgence à l'intérieur du tunnel ;
- un usager utilisant un téléphone mobile. A noter la difficulté que peut éprouver un étranger à trouver le bon numéro d'alerte, puisque des pays différents ont un numéro d'alerte différent ;
- etc.

Quelle que soit la source du premier appel d'alerte, il est important que le Centre d'alarme obtienne toutes les informations essentielles aussi rapidement que possible. Cela permet aux autorités de prendre les décisions adéquates pour le type et le volume de forces de secours à prévenir. En fonction des procédures normales locales, les forces de secours peuvent être activées automatiquement pour traiter la situation. Mais des informations fausses peuvent provoquer un retard fatal.

The interface between ventilation design and actual operation is fundamental, not only to optimize the ventilation response in the event of an emergency, but also to ensure that tunnel maintenance and/or refurbishment do not prohibit the operational and design requirements from being met. Because long periods of time usually pass without incident, tunnel operators tend to forget that there are differences between the original design intention and the actual operating characteristics. They must remain cognizant of this fact in case the seemingly unlikely emergency actually occurs.

## **8.4 Emergency Service Intervention**

### 8.4.1 Introduction

The emergency response plan for any tunnel should include procedures for bringing in emergency services. This may be required if the planned safety systems in the tunnel fail and the operator is unable to deal with the incident on a routine basis, or if the incident is severe enough to require the immediate assistance of emergency services (i.e., Fire Department, Rescue Department, Police and Medical Services) on the scene.

### 8.4.2 Communications

#### ***Who will make the first call to the Alarm Centre?***

The first indication of an incident may come from a number of sources:

- a tunnel operator in the control room, basing his knowledge on technical detection or video surveillance;
- a tunnel user utilizing an emergency phone inside the tunnel;
- a tunnel user utilizing a mobile phone. Note the potential difficulty for a foreigner to find the right alarm number, since different countries may have different alarm numbers;
- etc.

Regardless of the source of the first alarm call, it is important that the Alarm Centre obtains all the essential information as soon as possible. This enables authorities to make the right decisions as far as the type and quantity of rescue forces to be alerted. Depending on the standard local operating procedures, it can automatically activate rescue forces to deal with the situation. Wrong information, however, can cause fatal delays.



Un autre défi est la façon dont les intervenants peuvent obtenir des informations supplémentaires lorsqu'il se rendent sur place (c'est-à-dire en utilisant la radio d'urgence ou des téléphones portables). Dans de nombreux cas, les intervenants n'ont pas la possibilité d'utiliser la radio d'urgence pour communiquer avec l'exploitant du tunnel. Certaines forces de secours pensent que les téléphones portables sont très pratiques, mais il existe toujours le risque – en particulier en cas d'urgence – que les réseaux soient surchargés.

***Quelle est l'information la plus importante pour le Responsable des secours ?***

Le responsable des secours doit être au courant des conditions qui règnent dans le tunnel :

- Que s'est-il passé (collision, incendie de véhicule, perte de matière dangereuse, etc.) ?
- Quelle est la fiabilité des informations (combien d'appels, en provenance de qui, etc.) ?
- Quelle est la localisation précise de l'incident (quel tunnel, à quelle distance à l'intérieur de celui-ci, meilleur accès s'il est connu, etc.) ?
- Quelles sont les personnes concernées (en lieu sûr, en danger immédiat, nombre de blessés, etc.) ?
- Le trafic a-t-il été stoppé par l'exploitant ?
- Quelle est la direction du courant d'air à l'intérieur du tunnel ?

Une fois que la première unité est arrivée à l'extérieur du tunnel, il est important que l'exploitant donne des informations plus détaillées sur la zone de l'accident. Le meilleur moyen est une discussion en face à face, la direction des opérations de secours étant alors transmise à la brigade de pompiers ou à d'autres services de secours, selon ce qui convient.

La première priorité est de connaître la localisation de l'accident ou de l'incendie dans le tunnel pour (1) assurer la sécurité des sauveteurs, et (2) choisir les tactiques de secours les plus efficaces. Il est impératif que le centre de commande apporte son concours pour mettre au point ces dernières. Par exemple, les services de secours pénétrant dans la zone hors incident d'un tunnel à deux tubes doivent savoir où se situent les communications inter-tubes les plus proches du site. Ils ont aussi besoin de connaître les itinéraires possibles d'évacuation, l'emplacement des sorties de secours et les particularités du système de ventilation pour effectuer leurs tâches de façon efficace.

Si le tunnel n'a qu'un seul tube, les unités du service d'intervention doivent choisir la tête par laquelle l'air frais pénètre et entrer dans la même direction, car il est pratiquement impossible de progresser contre la fumée en raison de la chaleur et de la mauvaise visibilité. On sait qu'en général les appareils respiratoires ne fonctionnent pas suffisamment longtemps, en particulier pendant les grands incendies.

The next challenge is how responders can obtain further information on their way to the scene (i.e., by using the emergency radio system or mobile phones). In many cases, the responders do not have the capability of using the emergency radio system to communicate with the tunnel control operator. Some rescue forces have found mobile phones to be very useful, but there is always the risk, especially during emergencies, that the mobile network can become overloaded.

### ***What is the most important information for the Rescue Leader?***

The rescue leader needs to know the conditions in the tunnel:

- What has happened (i.e., collision, vehicle fire, leakage of dangerous goods, etc.)
- What is the reliability of the information (i.e. how many calls, by whom, etc.)
- What is the precise location of the incident (i.e., which tunnel, how far in, best approach if known, etc.)
- Where are the people (i.e., in a safe place, in immediate danger, the number of injured, etc.)
- Has the traffic been stopped by the operator
- What direction is air flowing in the tunnel

Once the first unit has arrived outside the tunnel, it is important for the tunnel operator to convey more detailed information regarding the accident area. This is best accomplished during a face-to-face dialogue, at which point rescue operation leadership is transferred to the Fire Brigade or other Emergency Services, as appropriate.

The first priority is acknowledgement of the accident or fire location in the tunnel to (1) secure the safety of the rescuers, and (2) choose the most effective rescue tactics. It is imperative to have the support of the Control Centre in strategizing the latter. For example, Emergency Services entering the non-incident bore of a twin-tube tunnel would need to know cross-passage locations closest to the scene. They would also need to know possible evacuation routes, emergency exit locations, and particulars of ventilation system operation in order to effectively carry out their duties.

If there is only a single tunnel tube, Emergency Service units must choose an opening where fresh air is flowing in and enter in the same direction as it is almost impossible to advance against smoke due to the heat and limited visibility. Breathing apparatus typically does not work long enough, particularly during larger fires.

S'il n'existe pas de centre de commande, le responsable des secours doit attendre de recevoir ces informations de la part des unités de secours pour prendre les décisions appropriées et donner ses ordres.

Le plan d'intervention d'urgence devrait prendre en compte tous ces points.

## **8.5 Plan – Formation – Exercice**

### 8.5.1 Scénarios et procédures d'exploitation

Les données indiquées dans le chapitre 8.4.1 servent de base pour l'établissement des scénarios d'exploitation possibles :

- exploitation normale : trafic fluide, congestion, exploitation, entretien, réparation, rénovation, cas exceptionnels, etc.
- exploitation d'urgence : pannes, collisions, épandage de liquides ou matériaux toxiques ou non toxiques, etc.

Ces scénarios servent de base pour la rédaction et la documentation des procédures d'exploitation correspondantes. Les scénarios et procédures doivent être vérifiés régulièrement, en particulier en cas de modification des données de base.

### 8.5.2 Plan d'intervention d'urgence

Il est essentiel que des procédures standard d'exploitation soient établies pour les cas d'incendie en tunnel routier. L'élaboration d'un Plan d'intervention d'urgence est une première étape essentielle pour la mise au point des interventions en cas d'urgence. Le plan devrait spécifier les interventions particulières en réponse à différents types d'incidents, y compris la façon dont la ventilation doit être mise en œuvre. Il devrait inclure la coordination et l'interaction correctes entre les concepteurs du tunnel (dans certains cas), les exploitants et tous les services extérieurs qui peuvent être appelés à participer activement en cas d'incident dans le tunnel. Ces services peuvent être la police, les pompiers, la défense civile, les services médicaux d'urgence, les garde-côtes, une éventuelle agence de gestion des urgences, le Ministère des transports, les sociétés locales privées (pour les équipements), le Ministère des travaux publics, la compagnie des eaux, la compagnie d'électricité et la compagnie du téléphone.

Un groupe ou un comité de responsables devrait être mis en place pour suivre la mise au point du Plan d'intervention d'urgence intégré. Ce groupe pourrait se composer du maître d'ouvrage, de l'exploitant, du concepteur, du maître d'œuvre et des services de secours, incluant tous les services d'intervention potentiels. Un manque de prévision a pour résultat une mauvaise coordination des services de secours, et par conséquent le risque d'une moins bonne gestion de l'incident.

If there is no Tunnel Control Centre, the Rescue Leader must wait for this information from his rescue units in order to make appropriate decisions and give orders.

The emergency response plan should take into account these considerations.

## **8.5 Plan – Training – Exercise**

### 8.5.1 Operating Scenarios and Procedures

The data indicated in Section 8.4.1 will serve as the basis for establishing possible operating scenarios:

- normal operation. Free-flowing traffic, congestion, operation, maintenance, repair, renovation, exceptional cases, etc.;
- emergency operation. Breakdowns, collisions, spillages of toxic or non-toxic liquids or materials, etc.

These scenarios will serve as the basis for drawing up and documenting the corresponding operating procedures. The scenarios and procedures have to be regularly checked, particularly if eventual changes in basic data take place.

### 8.5.2 Emergency Response Plan

It is essential to establish standard operating procedures for road tunnel fires. The development of an integrated Emergency Response Plan is an essential first step in planning the operational responses to tunnel emergencies. The plan should specify particular responses to various types of incidents, including the description of how the ventilation system should be used. It should include proper coordination and interaction between the tunnel designers (in some cases), the tunnel operators, and all outside agencies that might ultimately become active responders to an emergency incident within the tunnel. These may include the Police Department, Fire Brigade, Civil Defense, Emergency Medical Services, Coast Guard, a possible Emergency Management Agency, Department of Transportation, Local Private Firms (Equipment), Department of Public Works, Water Company, Power Company, and Telephone Company.

A stakeholder's group or committee should be established to have input in the development of the integrated Emergency Response Plan. Such a group would consist of owner, operator, designer, constructor and emergency services, including all potential responding agencies. A lack of forward planning will result in incorrect coordination between responding organizations that could diminish the success of incident management.

### 8.5.3 Formation

Le Plan d'intervention d'urgence intégré doit inclure des dispositions pour une formation adaptée, afin que toutes les parties concernées comprennent bien chaque aspect du plan et que toutes les modifications éventuelles des conditions soient bien prises en considération. La formation doit impliquer l'ensemble du personnel d'exploitation et tous les intervenants des services extérieurs. Un programme de formation adapté doit être établi et l'ensemble de la formation réalisée comme prévu.

Les exercices de remise à niveau sont particulièrement importants, car les affectations au sein des services d'intervention peuvent changer fréquemment. La remise à niveau du personnel existant doit également être envisagée, car l'occasion de participer à une intervention réelle dans un tunnel routier spécifique n'est pas très fréquente.

Les exercices en grandeur réelle doivent faire partie de tous les plans d'interventions d'urgence pour les tunnels routiers. Ils doivent avoir lieu aussi souvent que nécessaire pour maintenir l'efficacité des intervenants potentiels. Ces exercices en grandeur réelle incluent la participation de tous les services intervenants extérieurs. Un exercice intégré de cette sorte permet à tous les représentants des services extérieurs de se familiariser avec les aspects spécifiques d'une intervention d'urgence dans un tunnel routier. Le rapport AIPCR « Manuel de bonne pratique pour l'exploitation et l'entretien des tunnels routiers » [59] comporte un excellent chapitre sur la formation et les exercices de sécurité.

Les exercices théoriques, bien que d'un grand bénéfice, ne remplacent pas les exercices en grandeur réelle.

## 8.6 Entretien préventif, inspections et essais

### 8.6.1 Introduction

Dans un tunnel où il ne se passe rien, on peut, au fil des années, perdre la notion ou la compréhension des capacités techniques d'origine permettant de réagir vis-à-vis des exigences complexes d'un incident. L'entretien préventif, les inspections et les essais sont la clé d'un outil qui fonctionne lorsqu'il en est besoin. Il est essentiel de procéder à intervalles réguliers à des travaux d'entretien préventif, à des inspections et à des exercices sur tous les équipements de sécurité, les commandes, les portes d'évacuation, les communications, l'éclairage, la signalisation, les courroies et chaînes de transmission, etc., pour que les composants de la sécurité continuent à atteindre les objectifs de la conception en cas d'incendie.

### 8.5.3 Training

The integrated Emergency Response Plan should include provisions for regular training to ensure that all parties understand every aspect of the plan, and to make sure that all possible variations in circumstances are being taken into consideration. Training must involve all operating personal and all anticipated responders from external agencies. A regular training programme schedule should be established and all training conducted as scheduled.

Regular re-training exercises are particularly important because staff assignments within responding agencies can change frequently. Re-training of existing personnel should also be considered since the opportunity to participate in an actual response in a specific road tunnel may be reasonably infrequent.

Full-scale exercises must be a part of all road tunnel emergency response plans. They should be conducted as frequently as required to maintain the proficiency of the potential responders. These full-scale exercises should include the participation of all potential responding external agencies. Such an integrated exercise will allow all external agency representatives to become familiar with the unique aspects of an emergency response in a road tunnel. The PIARC report on Good practice for the operation and maintenance of road tunnels [59] contains an excellent section on Training and Emergency Exercises.

Tabletop exercises, while extremely beneficial, do not replace the need for full-scale exercises.

## **8.6 Preventive Maintenance, Inspection and Testing**

### 8.6.1 Introduction

An uneventful tunnel environment can, over the passage of years, lead to a loss in sophistication or understanding of the original technical capabilities to respond to the complex demands of an incident. Preventive maintenance, inspection and testing are the key to having an emergency component working when needed. Regular preventive maintenance, inspection and exercising of all emergency equipment, controls, egress doors, communications, lighting, signage, transmission belts and chains, etc. is essential for maintaining the design intent of the fire-life safety components.

De ce point de vue, le rôle de l'entité d'exploitation est essentiel, aussi bien pour auditer les performances réelles que pour les comparer aux performances de dimensionnement. Si les essais du système de ventilation révèlent des anomalies entre le « dimensionnement » et ce qui est réellement constaté, il est alors possible que ces performances de la ventilation se soient altérées avec le vieillissement. Un exemple courant est la diminution de l'efficacité d'extraction d'une trappe d'extraction des fumées. Cela s'explique souvent par une augmentation des fuites à la fois sur les anciens registres et les bouches d'aspiration. Les performances d'origine peuvent être rétablies grâce à leur entretien ou à leur remplacement, permettant ainsi aux exploitants de choisir la bonne réaction face à un incident.

Le Plan d'entretien du tunnel devrait être élaboré dès le début de la conception du projet afin de limiter l'apparition de telles anomalies au cours de la vie du tunnel.

### 8.6.2 Equipements et systèmes de contrôle

Tous les équipements de sécurité doivent être inspectés et entretenus selon les recommandations du fabricant, pour l'environnement spécifié. Les équipements de ventilation devraient être mis en fonctionnement tous les un ou deux mois pour s'assurer que l'ensemble des ventilateurs et des registres fonctionnent correctement, à toutes les vitesses de dimensionnement des ventilateurs et à toutes les positions des registres. La mise en fonctionnement des ventilateurs et des registres ne devrait pas se limiter à une opération locale et manuelle, ils devraient aussi être actionnés au moyen de la télécommande, pour s'assurer que la totalité du système fonctionne ainsi qu'il est prévu dans le dimensionnement d'origine.

Les portes des issues de secours, l'éclairage et la signalisation devraient être inspectés et entretenus conformément aux recommandations du fabricant pour l'environnement spécifié. Ils devraient être vérifiés tous les un ou deux mois au minimum.

Les équipements électriques et les systèmes de contrôle et de commande d'urgence devraient être inspectés, entretenus et actionnés conformément aux règlements locaux et aux recommandations du fabricant pour l'environnement spécifié. Au minimum, ils devraient être vérifiés à des intervalles allant de trois mois à un an selon l'équipement, et toute panne devrait être signalée automatiquement.

Les systèmes de communication d'urgence devraient être inspectés, entretenus et actionnés conformément aux règlements locaux et aux recommandations du fabricant pour l'environnement spécifié et vérifiés tous les un à deux mois.

Les systèmes de lutte contre l'incendie devraient être inspectés et entretenus conformément aux règlements locaux et aux recommandations du fabricant pour l'environnement spécifié. Ils devraient être vérifiés tous les un à deux mois.

The operating entity's role as an auditor of both actual performance and actual performance compared to design performance is essential in this respect. If ventilation system testing reveals anomalies between 'design' and what is actually being observed, there is the possibility that the ventilation system's performance has decayed with age. A common example of such decay is the reduced extraction efficiency of a smoke damper. This is often explained by increased leakage in both old dampers and exhaust vents. Maintenance or refurbishment can return the system to its original design performance, thus allowing the operators to select an appropriate incident response.

The Tunnel Maintenance Plan should be developed at the beginning of the project design to minimise the occurrence of such discrepancies during the life of the tunnel.

## 8.6.2 Equipment and Controls

All safety equipment needs to be inspected and maintained per the manufacturer's recommendations for the specified environment. Ventilation equipment should be exercised every one or two months to ensure that all fans and dampers will operate properly at all fan design speeds and damper positions. Fan and damper operation should not be limited to local and manual operation, but should also be operated via remote control to ensure that the entire system is performing as the original design intended.

Emergency egress doors, lighting and signage should be inspected and maintained per the manufacturer's recommendations for the specified environment. At a minimum, they should be checked every one or two months.

Emergency electrical and monitoring equipment and controls should be inspected, maintained and exercised per the local guidelines and the manufacturer's recommendations for the specified environment. At a minimum, they should be checked every three months to one year depending on the equipment, and any breakdown should be automatically reported.

Emergency communications systems should be inspected, maintained and exercised per the local guidelines and the manufacturer's recommendations for the specified environment and checked every one or two months.

Fire protection systems should be inspected and maintained per the local guidelines and the manufacturer's recommendations for the specified environment. At a minimum, they should be checked every one or two months.



### 8.6.3 Archivage exhaustif

Il est essentiel de conserver la trace de tous les rapports concernant les inspections, l'entretien et les exercices. Ces archives permettent aux gestionnaires d'identifier les pièces qui s'usent le plus et de cibler les efforts d'entretien à venir. Un archivage exhaustif aide également à budgétiser les coûts d'exploitation et d'entretien.

### 8.6.4 Coûts et budgets d'entretien

Des autorités différentes peuvent être chargées des phases de conception et de construction du tunnel d'une part et de son exploitation et de son entretien, d'autre part. Les coûts d'exploitation et d'entretien pendant la durée de vie du tunnel doivent être examinés lors de la conception de l'ouvrage. Ces coûts doivent être communiqués à l'autorité chargée de l'exploitation du tunnel, qui est responsable de l'entretien. Le chapitre 4 de la référence [59] donne des informations sur les coûts et budgets d'entretien.

Il faut insister sur le fait qu'un facteur important pour bien maîtriser les interfaces est de s'assurer que l'autorité exploitante est impliquée dans la conception, et que les autorités chargées de la conception et de la construction sont impliquées dans les phases initiales de l'exploitation.

## 8.7 Essais du système de ventilation

Le présent paragraphe concerne le suivi et l'entretien des systèmes de ventilation d'un tunnel routier. Le système de ventilation jouant un rôle majeur dans la sécurité du tunnel, il est essentiel qu'il puisse fonctionner correctement et efficacement à tout moment. Des ensembles d'essais doivent être définis dans ce but et adaptés aux spécifications particulières du tunnel.

Le principal objectif des essais du système de ventilation d'un tunnel routier est double :

- vérifier la fonctionnalité de tous les éléments du système, aussi bien au moment de la commande (essais de réception en usine) qu'in situ (essais de fonctionnalité à intervalles spécifiés) ;
- vérifier les performances in situ du système et de ses composants en les comparant aux spécifications de dimensionnement.

Ce double objectif trouve sa place dans le cadre des mesures recommandées au niveau international pour améliorer la sécurité des tunnels routiers. Il correspond en particulier à des dispositions spécifiques de la référence [7], à savoir 2.01 « Organe de coordination et de la supervision », 2.02 « Responsable de la sécurité » et 3.05 « Directives concernant l'équipement des tunnels ».

### 8.6.3 Comprehensive Record Keeping

It is essential to keep track of all reports concerning inspection, maintenance and exercising. This record keeping enables the managing authority to identify parts that are wearing most and to focus future maintenance efforts. Comprehensive record keeping also aids in budgeting the operating and maintenance costs.

### 8.6.4 Maintenance Costs and Budgets

There may be different Authorities in charge of the tunnel design and construction phases as opposed to the operation and maintenance of the tunnel. Operating and maintenance costs for the life of the tunnel should be addressed during the design stage of the tunnel project. These costs should be relayed to the Tunnel Operating Agency that is responsible for maintenance. Section 4 of Reference [59] contains information regarding tunnel maintenance costs and budgets.

It should be stressed that an important factor in overcoming interface issues is to ensure that the operating agency is involved in the design, and that the design and construction agencies are involved in the initial phases of the operation.

## 8.7 Ventilation System Tests

This section addresses the monitoring and maintenance of road tunnel ventilation systems. Because the ventilation system plays a major role in tunnel safety, it is essential that it operates properly and effectively at all times. To achieve this goal, sets of tests have to be defined and adapted to specific tunnel specifications.

The primary objective of road tunnel ventilation system testing is twofold:

- to verify the functionality of all elements of the system, both at the time of ordering (factory and acceptance testing) and in-situ (functionality testing at specified intervals);
- to verify the in-situ performance of the system and its component parts by comparing it to the design specifications.

This twofold objective falls within the framework of the measures recommended at the international level to improve road tunnel safety. In particular, it corresponds to specific provisions of reference [7], namely 2.01 “Supervisory Coordinating Body”, 2.02 “Safety Officer” and 3.05 “Guidelines on Tunnel Equipment”.

Pour parvenir à ce but, les exploitants doivent établir une documentation complète sur tous les aspects des systèmes de ventilation, depuis l'environnement technique et naturel jusqu'au suivi de toutes les modifications et adaptations (procédures d'assurance de qualité).

### 8.7.1 Organisation générale de la structure de contrôle

L'organisation effective de la structure de contrôle pour la sécurité dans les tunnels routiers peut varier d'un pays à un autre, voir référence [7] par exemple. Mais il est important que cette organisation soit décrite par écrit et que les tâches et responsabilités exactes de toutes les parties soient fixées dès le commencement.

L'ensemble du système et de ses composants doit subir des essais complets avant d'être mis en service, puis de nouveau à des intervalles réguliers de quatre à six ans. Des essais de routine simplifiés doivent être effectués tous les ans. Les essais complets et les essais de routine simplifiés doivent tenir compte de la nature du tunnel et de son système de ventilation.

### 8.7.2 Données de base et suivi des données

#### ***Données de base***

Les essais doivent s'accompagner d'une documentation exhaustive sur tous les aspects du tunnel concernant le système de ventilation :

- Construction et électromécanique : données structurelles liées directement à la ventilation
  - Longueur(s) du (des) tube(s)
  - Profil en long du tunnel
  - Profils transversaux caractéristiques du tunnel (surfaces, formes)
  - Tracé des gaines de ventilation (topologie, sections)
  - Disposition et caractéristiques des registres (ventilation, fermeture, bypass, etc.) et des ventilateurs (d'air frais, d'extraction, accélérateurs, etc.)
- Environnement de l'ouvrage : paramètres aux entrées et dans les zones des puits de ventilation ayant une influence sur la ventilation du tunnel
  - Vents dominants
  - Pressions barométriques habituelles
  - Topographie des sites
  - Degrés et types d'urbanisation des sites
- Trafic routier : pour l'année d'ouverture du tunnel et à intervalles réguliers ensuite, indication des caractéristiques du trafic servant de base au dimensionnement du système de ventilation :
  - Trafics moyens journalier et annuel
  - Volumes de trafic aux heures de pointe
  - Composition habituelle du trafic (pourcentages de véhicules légers et lourds)
  - Pannes par direction de circulation.

To fully support this objective, the operators of road tunnels have to develop comprehensive documentation for all aspects of the ventilation systems, from the technical and natural environment through the monitoring of any modifications and adaptations (quality assurance procedures).

### 8.7.1 General Organisation of the Control Structure

The effective organisation of the control structure for safety in road tunnels may vary from one country to another; see reference [7] for example. However, it is important to document this organisation and to fix the exact tasks and responsibilities of all its bodies from the start.

The whole system and its component parts must undergo comprehensive testing before coming into service, and again at intervals of four to six years thereafter. Simplified routine tests must be carried out annually. The details of the comprehensive tests and the simplified routine tests must take into account the nature of the tunnel and its ventilation system.

### 8.7.2 Basic Data and Data Monitoring

#### ***Basic Data***

The tests must be accompanied by comprehensive documentation on all aspects of the tunnel relevant to the ventilation system:

- Construction and electro mechanics: structure data directly relating to the ventilation
  - length of the tunnel bore(s)
  - longitudinal profile of the tunnel
  - characteristic transverse profiles of the tunnel (areas, shapes)
  - layout of ventilation ducts (topology, sections)
  - layout and characteristics of dampers (ventilation, closing, bypass, etc.) and fans (for fresh air, for extraction, longitudinal booster, etc.)
- Environment of the structure: parameters at the portals and in the airshaft zones affecting tunnel ventilation
  - prevailing winds
  - typical barometric pressures
  - topography of the sites
  - degrees and types of urbanisation of the sites
- Road traffic: for tunnel opening year and regular intervals thereafter, indication of the traffic characteristics serving as the basis for the dimensioning of the ventilation system:
  - average daily and annual traffic flows
  - traffic volumes at peak hours
  - typical composition of traffic (percentages of light and heavy vehicles)
  - breakdowns per traffic direction

- Hypothèses de dimensionnement et performances requises : le système de ventilation doit être dimensionné pour répondre aux exigences des réglementations en vigueur pour chacun des scénarios d'exploitation définis ; les hypothèses principales prises en compte doivent être documentées :
  - noms et dates des réglementations prises en compte
  - valeurs par défaut
  - paramètres aérodynamiques (coefficients de frottement, densités, etc.).

Les limites de dimensionnement déterminent les performances requises du système de ventilation et de tous les composants de ce système (ventilateurs, vannes, éléments de commande et de contrôle, etc.) pour chaque scénario d'exploitation.

La compilation des performances requises constitue la base permettant de définir de façon réaliste les tests complets et les tests de routine simplifiés.

#### ***Suivi des modifications des données de base***

Les données de base auxquelles il est fait référence ci-dessus déterminent le choix et le dimensionnement du système de ventilation. Modifier des données, quelles qu'elles soient, peut avoir un impact important sur le dimensionnement et/ou l'exploitation du système. Il est donc nécessaire de vérifier régulièrement ces données et d'évaluer l'impact de leurs modifications.

Le suivi des données de base inclut le suivi du développement des connaissances et de la technologie dans le domaine de la ventilation.

#### ***Suivi des événements au cours de l'exploitation***

La collecte des données concernant un événement qui s'est produit dans le courant de l'exploitation permet de mettre en lumière certaines tendances ou défauts et de vérifier l'efficacité des mesures correctives.

Les données doivent être rassemblées, par catégorie, pour les événements concernant tous les domaines de l'exploitation. En ce qui concerne la ventilation, les principales données sont les suivantes :

- enregistrement des réponses du système et/ou des opérateurs en cas d'incident (temps de réaction, scénarios manuels ou automatiques mis en œuvre, etc.)
- enregistrement des pannes et dysfonctionnements (cause, fréquence, impact)
- analyse et utilisation des mesures (CO, opacité, courants d'air, etc.), en particulier en établissant des corrélations (par exemple, vitesse de l'air en fonction des conditions atmosphériques).

- Hypotheses for the dimensioning and performance required: the ventilation system must be designed to meet the requirements of the regulations in force for each of the operating scenarios defined; the main hypotheses taken into account in determining size should be documented:
  - names and dates of the regulations taken into account
  - default values
  - aerodynamic parameters (friction coefficients, densities, etc.)

The design limits will determine the required performance of the ventilation system and all system components (fans, valves, command and control elements, etc.) for each operating scenario.

The compilation of the required performances constitutes the basis for establishing realistic comprehensive tests and simplified routine tests.

### ***Monitoring of Changes in Basic Data***

The basic data referred to above determine the choice and dimensioning of the ventilation system. Changes in any of these data (particularly traffic characteristics) could have a significant impact on the design and/or operation of the system. It is necessary, therefore, to regularly check the data and to evaluate the impact of modifications.

Monitoring of the basic data includes monitoring the development of knowledge and technology in the field of ventilation.

### ***Monitoring of Events in the Course of Operation***

Gathering data on events that occur during the course of operation makes it possible to highlight certain trends or defects, as well as to check the effectiveness of corrective measures.

Data must be gathered, per category, for events relating to all fields of operation. For ventilation, the main data points are as follows:

- recording the reaction of the system and/or the operators in the event of an incident (reaction times, manual or automatic scenarios implemented, etc.)
- recording breakdowns and malfunctions (cause, frequency, impact)
- analysing and utilising measurements (CO, opacity, airflows, etc.) particularly by establishing correlations (for example, airflow velocity vs. atmospheric conditions).

### ***Suivi des modifications de l'ouvrage***

Mis à part le système de ventilation, les équipements électriques et mécaniques d'un tunnel (par exemple, éclairage, signalisation, instruments de mesure) sont régulièrement modifiés et/ou remplacés au fur et à mesure qu'ils s'usent ou deviennent obsolètes.

Les modifications de la structure d'un tunnel sont moins fréquentes. Elles peuvent être rendues nécessaires par l'application de nouvelles technologies ou effectuées lors de travaux d'agrandissement ou d'entretien de grande ampleur.

Toutes ces modifications doivent être documentées, avec indication des raisons qui les ont motivées et des conséquences sur tous les autres domaines de l'exploitation.

### 8.7.3 Essais du système de ventilation

Ici sont décrits les essais de ventilation auxquels il faut procéder. L'état initial correspond aux essais qui doivent être effectués au début de l'exploitation du tunnel (essais de mise en service). En cas de modifications, les essais de l'état initial doivent être répétés. Certains essais n'ont pas à être effectués selon un programme régulier. Ils sont conduits en cas de travaux ayant des conséquences pour les installations ou de vérifications particulières.

La liste des essais et les plannings correspondants doivent être adaptés à chaque tunnel ; ils dépendent des équipements installés, de l'importance du trafic et du degré d'utilisation des installations.

#### ***Contrôles visuels***

Les contrôles visuels s'appliquent à tous les éléments du système de ventilation et aux gaines de ventilation. Il s'agit notamment de vérifier l'état des éléments suivants :

- pièces électriques, panneaux, composants, connexions,
- éléments de fixation,
- pièces métalliques,
- joints, manchons, pièces élastiques,
- pièces mécaniques,
- portes et trappes de visite.

#### ***Mesures électriques***

Les mesures électriques s'appliquent à la tension, à l'intensité du courant, et à la puissance absorbée.

#### ***Mesures du courant d'air, pression des ventilateurs***

Pour que ces mesures soient précises, elles doivent être effectuées dans une section du circuit où le courant d'air est bien établi.

### ***Monitoring of Changes in the Structure***

Apart from the ventilation system, the electrical and mechanical equipment of a tunnel (e.g. lighting, signs, and measuring instruments) is regularly modified and/or replaced as it wears out or becomes obsolete.

Modifications to the structure of a tunnel are less frequent. They may be necessitated by the implementation of new technologies or carried out during large-scale enlargement or maintenance works.

Any such changes to the tunnel must be documented, indicating the reasons for the modifications and the consequences to all the other areas of operation.

### 8.7.3 Ventilation System Tests

Following are ventilation system tests to be conducted. The initial state corresponds to tests that are to be performed at the beginning of tunnel operation (in-service testing). In case of modifications, the tests at initial state must be repeated. Some tests do not have to be performed according to a regular schedule. These are performed in the event of works with consequences on installations or special verifications.

The list of tests and corresponding timetables must be adapted to each particular tunnel, and depends on the installed equipment, traffic volume and degree of utilisation of the installations.

#### ***Visual Controls***

Visual controls apply to every part of the ventilation system and to the air ducts. The condition of the following should be verified:

- electrical parts, panels, components, and connections
- fixation elements
- metallic parts
- joints, sleeves, elastic parts
- mechanical parts
- doors and control traps.

#### ***Electrical Measurements***

Electrical measurements apply to tension, current intensity, and absorbed power.

#### ***Airflow Measurements, Fan Pressure***

In order for these measurements to be accurate, they have to be taken in a section of the airflow circuit where the airflow is fully developed.



### ***Mesures du courant d'air aux rejets de ventilation***

Une courte section de gaine est généralement mise en place avant le rejet de ventilation pour permettre de déterminer la vitesse moyenne de l'air en déplaçant dans la section de la gaine, soit un anémomètre, soit un double tube de Pitot.

### ***Mesures du courant d'air sur les registres de fumée***

Il est possible soit de procéder comme on l'a décrit précédemment, soit d'explorer directement le champ de vitesse s'il est suffisamment régulier.

### ***Procédures en cas d'incendie***

Les procédures à appliquer en cas d'incendie sont souvent multiples et dépendent de la localisation du foyer. Les essais doivent être organisés de telle sorte que tous les composants soient mis en fonction de façon régulière. Par exemple, dans le cas d'une ventilation transversale, tous les registres de fumée doivent être testés, il faut ensuite lancer une procédure permettant de tester les ventilateurs d'extraction et les programmes logiques. Il est possible de sous-diviser les essais en périodes plus courtes (hebdomadairement par exemple) pour minimiser la période totale d'essai.

### ***Mesures de bruit***

Les mesures de bruit doivent se faire aux endroits suivants :

- sur les prises d'air et aux sorties des équipements de ventilation, pour déterminer l'état et le vieillissement des silencieux et des ventilateurs,
- dans les salles des machines, pour vérifier la protection des ouvriers.

### ***Ventilation des abris et des bypass***

Les contrôles effectués pendant ces essais doivent être conformes aux règlements du pays concerné.

### ***Essais d'incendie***

Des essais d'incendie doivent être organisés en cas de modification des procédures d'incendie ou lors d'exercices avec les services de secours. Il est impossible de définir un planning car il doit être adapté aux conditions locales du tunnel.

### ***Airflow Measurements in Ventilation Exhausts***

Equipment consisting of a short duct section is generally placed in front of the ventilation exhaust to allow determination of the average air speed by traversing the duct cross section either with an anemometer or with a double Pitot tube.

### ***Airflow Measurements at Smoke Dampers***

It is possible to either proceed as described previously or to directly explore the speed field if it is sufficiently regular.

### ***Fire Procedures***

The fire procedures to be implemented are often numerous and depend on the fire location. The tests have to be organised in a manner such that all components will regularly be set in function. For example, in the case of transverse ventilation, all smoke dampers should be tested, then some procedure allowing the test of the extraction fans and of the logical programs should be launched. It is possible to subdivide the tests into shorter time periods (weekly, for example) to minimise the overall testing period.

### ***Noise Measurements***

Noise measurements should be taken at the following locations:

- at air intakes and ventilation equipment outlets in order to determine the condition and aging of the silencers and the fans.
- in the machinery rooms to verify protection of workers.

### ***Shelters and Bypass Ventilation***

Controls activated during these tests should conform to the regulation of the appropriate country.

### ***Fire Trials***

Fire trials have to be organised by fire procedure modifications or by exercises with rescue services. A timetable cannot be defined in the present document, since it has to be adapted to local conditions of the tunnel.