



Si le tunnel est équipé de systèmes fixes de lutte contre l'incendie (SFLI), la stratégie de ventilation peut devoir être modifiée afin de tenir compte de l'effet de tels systèmes ; voir le rapport AIPCR *Tunnels routiers : Evaluation des systèmes fixes de lutte contre l'incendie* [14].

Ventilation au cours des phases de sauvetage assisté et de lutte contre l'incendie

Les exigences des services d'intervention doivent être prises en considération lors de la conception des procédures d'exploitation de la ventilation pour les phases de sauvetage assisté et de lutte contre l'incendie. De manière générale, lorsque les services d'intervention arrivent sur place, ce sont eux qui reprennent les commandes. Dans de nombreuses situations, les mêmes stratégies de ventilation que pendant la phase d'auto-sauvetage s'appliquent aux phases ultérieures. Toutefois, la commande de la vitesse de courant d'air longitudinal pourrait être modifiée pour les besoins des services d'intervention.

Dans certains cas, des programmes de ventilation dédiés pour la lutte contre l'incendie sont mis à disposition. Ils peuvent impliquer une ventilation longitudinale à d'autres vitesses que celles requises pour la phase d'évacuation.

RÉACTION DES SYSTÈMES DE COMMANDE DE LA VENTILATION EN CAS D'INCENDIE

► INTRODUCTION

Ce chapitre décrit les principes de la commande de la ventilation en cas d'incendie. Pour la gestion des incidents de trafic en général, voir : rapport AIPCR *Systèmes de gestion d'incidents de la circulation dans les tunnels routiers* [16].

Le système de commande doit permettre une réaction du système de ventilation à un incident signalé. Cette réaction repose sur des informations émanant de diverses sources à l'intérieur du tunnel. Ces informations sont analysées et validées et la réaction de la ventilation est activée de manière automatique, semi-automatique ou manuelle :

- Dans une commande automatique, il n'y a pas d'intervention de l'opérateur du tunnel. Celui-ci peut cependant intervenir dans le processus automatique.
- Dans un système semi-automatique, l'opérateur du tunnel choisit et lance la procédure de désenfumage. Le système de commande semi-automatique, une fois lancé, commande les composantes du système de désenfumage

If the tunnel is equipped with fixed fire fighting systems (FFFS) the ventilation strategy may have to be modified to take the effect of such systems into account; see the PIARC report *Road Tunnels: An Assessment of Fixed Fire Fighting Systems* [15].

Ventilation during the assisted rescuing and fire-fighting phases

The requirements of the emergency services should be taken into account when designing the ventilation response procedures for the assisted rescue and fire fighting phases. Generally, when the emergency services appear on site, they take over the command. In many situations, the same ventilation strategies as during the self-rescuing phase apply for the succeeding phases. However, the longitudinal flow velocity control might be changed for the needs of the emergency services.

In some cases dedicated fire-fighting ventilation programs are made available. They may involve longitudinal ventilation at other velocities than are required for the evacuation phase.

RESPONSE OF VENTILATION CONTROL SYSTEMS TO FIRE

► INTRODUCTION

This section describes the ventilation control principles in the event of a fire. For traffic incident management in general see: PIARC report *Traffic Incident Management System used in Road Tunnels* [16].

The control system should allow for a response of the ventilation system to a reported incident. This response is based on information retrieved from various sources inside the tunnel. The information is analysed and validated and the ventilation response is activated automatically, semi-automatically or manually:

- in automatic control, there is no intervention of the tunnel operator. The tunnel operator can, however, intervene in the automatic process;
- in a semi-automatic system, the tunnel operator chooses the procedure of the smoke control system and starts it. The semi-automatic control system, when started, controls the components of the smoke control system according to a



selon une procédure programmée à l'avance associée aux objectifs définis par l'opérateur du tunnel.

- Dans les systèmes manuels, l'opérateur analyse les données disponibles et active chaque composant ou groupe de composants du système de désenfumage selon une procédure qui doit être définie à l'avance pour les cas d'incendie.

Il convient de prendre en compte la complexité du système de ventilation et l'organisation du personnel d'exploitation. L'expérience montre qu'un système de ventilation complexe est géré de façon bien plus efficace par un système (semi-) automatique que par un opérateur soumis à des conditions de fort stress.

Les composants du système de désenfumage agissent sur le courant d'air à l'intérieur du tunnel, en le modifiant de manière propre à réduire le risque de lésions corporelles ou de dégâts matériels, mais cela changera également les variables qui sont mesurées. C'est pourquoi la commande doit prendre en compte le fait que les conditions peuvent évoluer avec le temps. Ces changements peuvent être pris en compte dans un système de commande automatique, mais seraient très exigeants en cas de commande manuelle.

Cette approche est esquissée à la *figure 9*.

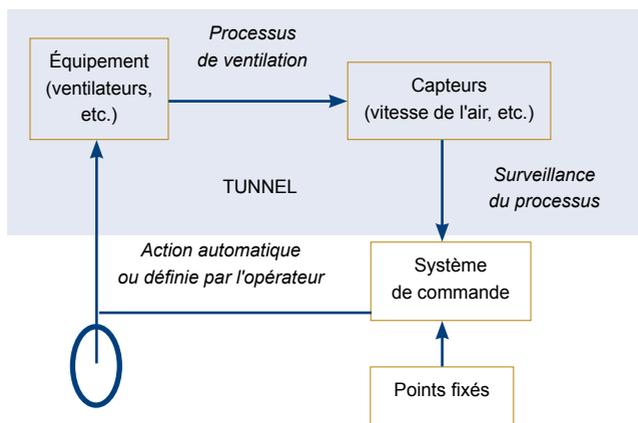


FIGURE 9 - VUE D'ENSEMBLE DE LA BOUCLE DE COMMANDE DE LA VENTILATION

► IMPLICATIONS DE L'EXPLOITATION NORMALE

Une description détaillée de l'exploitation normale va au-delà de la portée du présent rapport. Toutefois, le temps requis pour passer de la ventilation normale

previously programmed procedure associated to the input objectives defined by the tunnel operator;

- in manual systems the operator analyses the available data and activates each component or groups of components of the smoke control system following a procedure that should be pre-defined for the fire.

Consideration needs to be given to the complexity of ventilation system and the organization of operating personnel. Experience shows that a complex ventilation system is much more efficiently managed by a (semi-)automatic system than by an operator performing under high stress conditions.

The components of the smoke-control system act on the flow inside the tunnel, changing it in an appropriate way in order to reduce the risk of injuries or property loss, but it will also change the variables that are measured. Therefore, the control method must take into account that the conditions may change with time. This change would be catered for in an automatic control system, but would be very demanding in the case of manual control.

This approach is outlined in *figure 9, next page*.

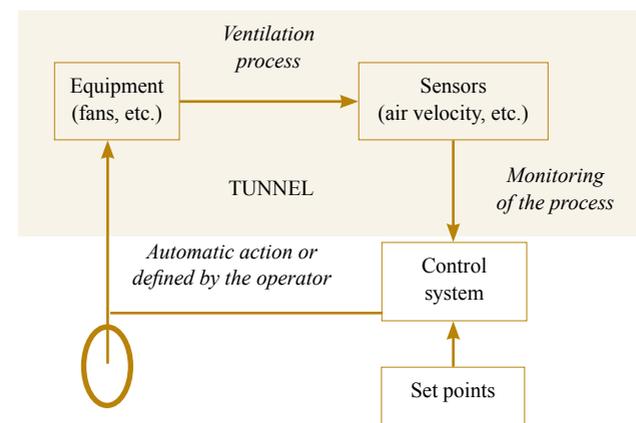


FIGURE 9 - OVERVIEW OF VENTILATION CONTROL LOOP

► IMPLICATIONS OF NORMAL OPERATION

A detailed description of normal operation is beyond the scope of this report. However, the time of transition from normal ventilation to a smoke ventilation



à la stratégie de désenfumage appliquée en cas d'incendie peut être de plusieurs minutes. C'est pourquoi la sécurité d'ensemble est accrue si l'on prend en compte tous les régimes intermédiaires au moment d'établir les procédures de ventilation pour l'exploitation normale.

► VUE D'ENSEMBLE DU PROCESSUS DE COMMANDE

Durant l'exploitation normale, l'objectif principal de la commande de la ventilation consiste à maintenir la qualité de l'air dans des valeurs préétablies tout en tenant compte des coûts d'exploitation. En revanche, un incendie est un événement rare qui est généralement précédé par des incidents tels que panne ou accident. Malheureusement, la transformation de ces incidents en incendies est plus rapide que les processus liés à l'exploitation normale. C'est pourquoi la réaction de l'opérateur et/ou du système automatique doit être rapide.

Par conséquent, le temps de réponse de toute la chaîne des opérations, à savoir détection, identification, validation de l'alarme et intervention, doit être réduit afin d'optimiser les conditions au cours de la phase d'évacuation, voir [figure 8, page 36](#). De plus, selon le niveau d'équipement installé dans le tunnel (détecteur de température linéaire, vidéosurveillance, détecteurs de fumées, etc.) et selon le niveau de surveillance, différentes stratégies peuvent être établies.

Il importe de comprendre que la meilleure stratégie à adopter dépend de la qualité et de la fiabilité des informations disponibles. Un des buts du système de commande de la ventilation en cas d'incendie est d'extraire les informations fiables. Ensuite, le premier défi consiste à passer de la commande en exploitation normale au mode incendie approprié.

En général, ce processus est dynamique et implique des étapes différentes selon la qualité et la quantité des informations obtenues, comme illustré à la [figure 10, page suivante](#). Une fois qu'une alarme incendie est détectée, la validation automatique ou manuelle de l'alarme est requise. Les actions menées dépendent des informations disponibles.

Une fois que l'alarme incendie est confirmée et que la stratégie de ventilation est définie, le système de commande doit être en mesure d'atteindre l'état prédéfini (par exemple une vitesse longitudinale donnée). Il peut être judicieux de mettre le système en état d'alerte et de démarrage avant même la confirmation de l'existence d'un incendie et de son emplacement.

strategy applied in case of a fire can be several minutes. Therefore, the overall safety is increased by considering all intermediate regimes when establishing the ventilation routines for normal operation.

► OVERVIEW OF THE CONTROL PROCESS

During normal operation the main objective of the control of ventilation is to maintain the air quality within pre-established values under consideration of operational costs. In contrast, fire is a rare event that is usually preceded by incidents such as breakdown or accident. Unfortunately, the transformation of these incidents to fire situations is faster than the processes related to normal operation. Therefore, the response of the operator and/or the automatic system must be rapid.

Consequently, the response time for the entire chain of events, i.e. detection, identification, alarm validation and intervention, must be reduced to optimize the conditions during the evacuation phase, see [figure 8, page 37](#). Furthermore, depending on the installed level of equipment (linear heat detector, CCTV, smoke detectors, etc) in the tunnel and the level of surveillance, different strategies can be established.

It is important to realize that the best strategy to be adopted depends on the quality and reliability of the information available. One of the goals of the ventilation control system in the case of fire is to extract the reliable information. Then the first challenge is the “change” from normal operational control to the appropriate fire mode.

In general, this process is dynamic and implies different steps depending on the different quality and quantity of information gained, as illustrated in [figure 10, next page](#). Once a fire alarm is detected, automatic or manual validation of the alarm is required. The actions taken depend on the available information.

Once the fire alarm is confirmed and the ventilation strategy is defined, the control system must be able to achieve the pre-defined condition (for example a particular longitudinal velocity). It may be appropriate to place the system in alert and starting condition, even before confirmation of fire and its position.

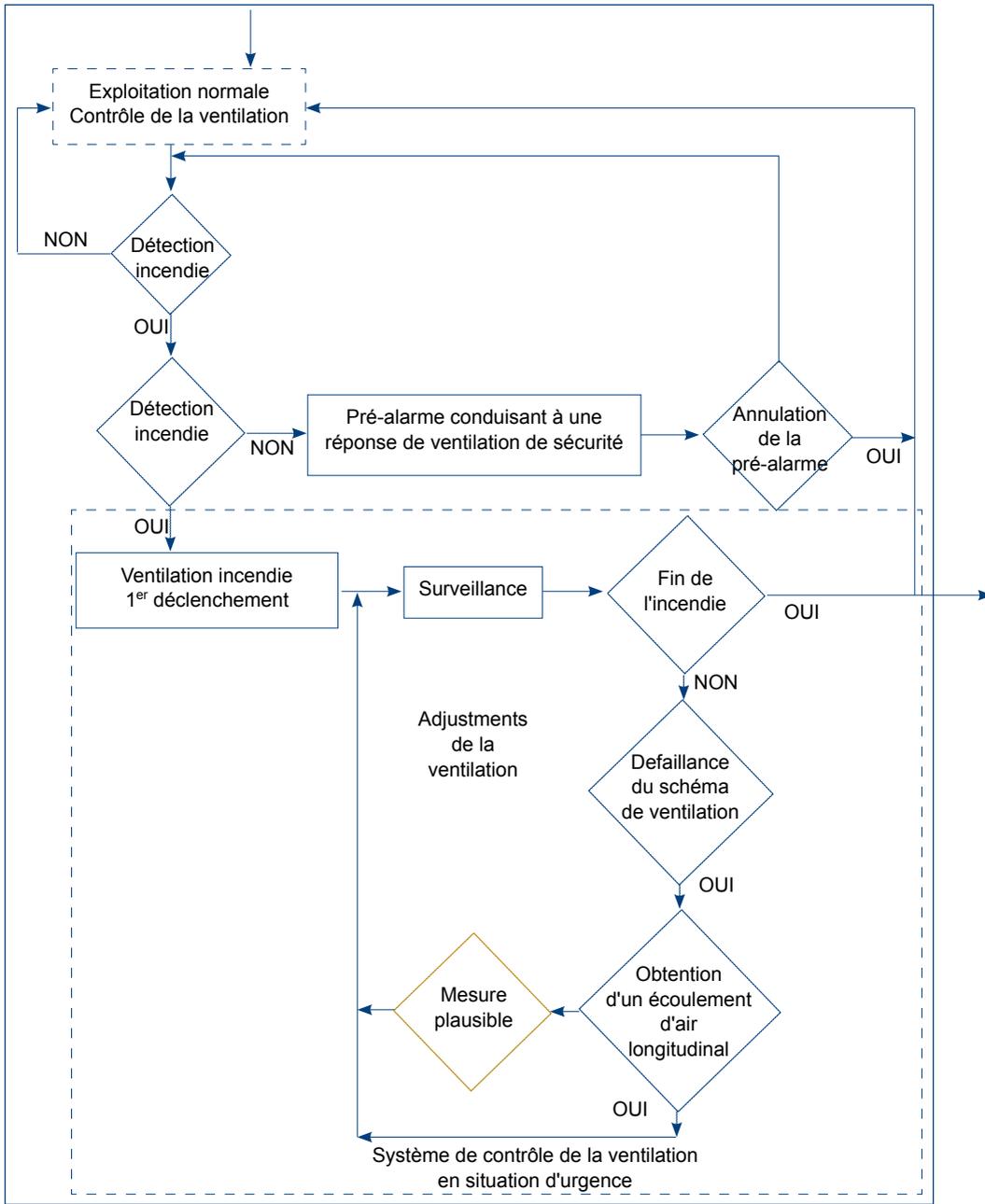


FIGURE10 - DÉTECTION DE L'INCENDIE ET PROCESSUS DE VALIDATION

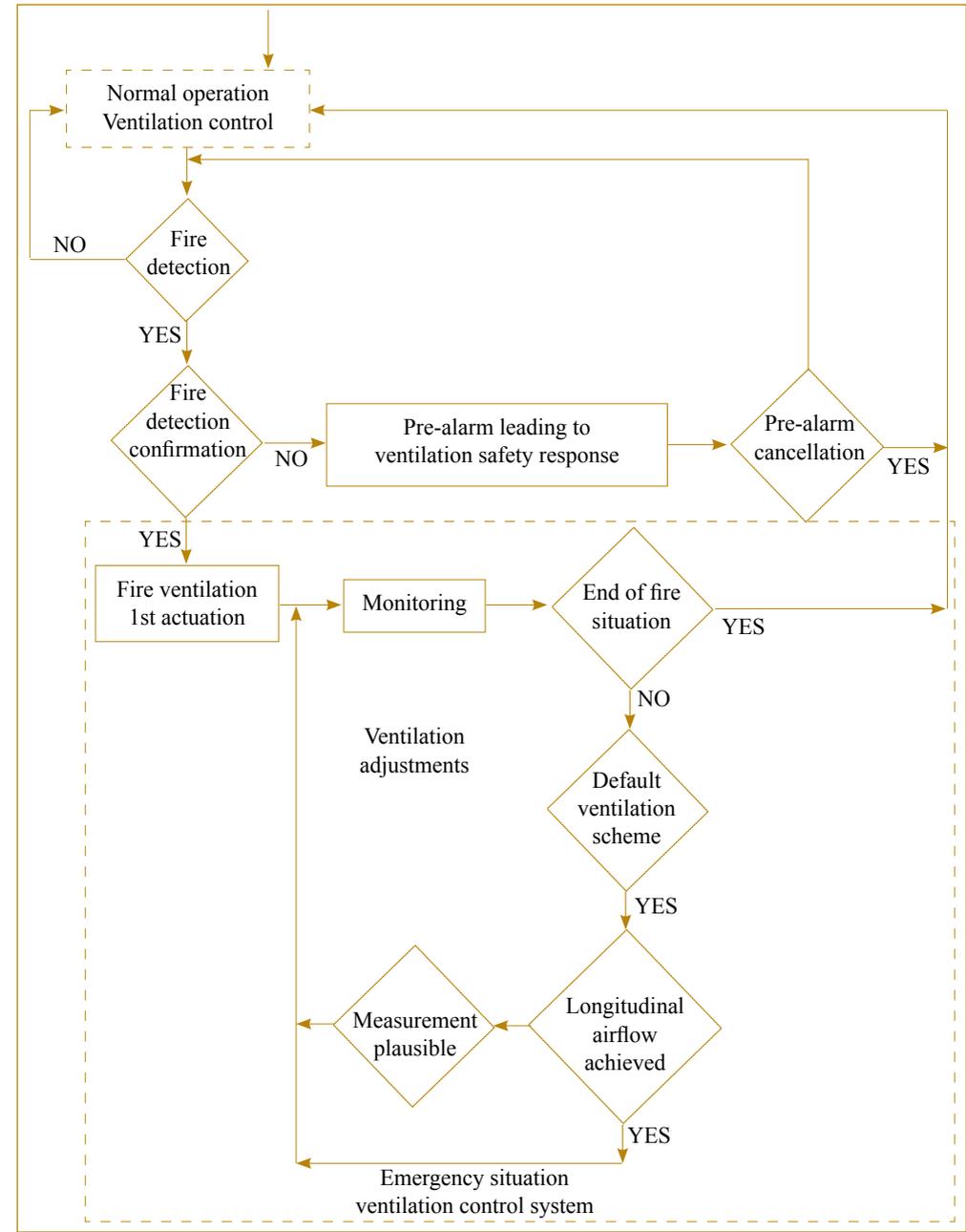


FIGURE 10 - FIRE DETECTION AND VALIDATION PROCESS



Certaines des tâches importantes des systèmes de commande utiles au cours de la phase d'évacuation sont les suivantes :

- valider l'existence d'un incendie ;
- déterminer l'emplacement de l'incendie et si possible sa nature ;
- décider quelle est la meilleure première action ;
- suggérer ou appliquer la meilleure réaction prédéfinie ;
- veiller à ce qu'en l'absence de mesures ou d'observations plausibles, le système par défaut soit un schéma de ventilation de compromis conçu pour réduire le risque au minimum.

Plans d'urgence

En cas d'alarme incendie, le plan d'urgence complet inclut au moins les actions suivantes :

- déclencher une alarme à l'intention des services d'intervention et de l'opérateur ;
- arrêter le trafic entrant dans le tube du tunnel où a lieu l'incendie ;
- arrêter le trafic entrant dans d'autres tubes du tunnel utilisés comme itinéraires d'évacuation ou accès pour les secours, et restreindre la vitesse du trafic approchant du tunnel ;
- mettre en fonctionnement la ventilation appropriée dans le tube où a lieu l'incendie ;
- mettre en fonctionnement une ventilation appropriée des itinéraires d'évacuation, par exemple un tube parallèle ;
- appliquer les réglages d'urgence pour l'éclairage du tunnel dans tous les tubes concernés ;
- informer les usagers du tunnel du comportement à avoir (par exemple panneaux à messages variables, hauts-parleurs, radio).

Le temps est crucial et le déclenchement immédiat de l'ensemble du plan d'urgence donne aux usagers du tunnel les plus grandes chances de survie. Cependant, certaines méthodes de détection d'incendie peuvent être trop peu fiables pour permettre l'application immédiate du plan complet prévu pour les incendies. Dans ce cas, le plan d'urgence peut être subdivisé en deux phases afin de donner du temps pour valider l'alarme. La détection de l'incendie est alors initialement considérée comme une « *pré-alarme* » qui entraîne au moins les actions suivantes :

- déclenchement d'une alarme à l'intention de l'opérateur ;
- mise en fonctionnement de la ventilation appropriée dans le tube où a lieu l'incident ;

Some of the important tasks of the control systems in order to help during the evacuation phase are:

- validate whether there is a fire,
- determine the fire location and if possible the type of fire,
- establish the best first action,
- suggest or apply the pre-defined best response,
- ensure that if there are no plausible measurements or observations, then the default is a compromise ventilation scheme that is deemed to minimize risk.

Emergency plans

In the case of a fire alarm, the full emergency plan includes at least the following actions:

- set off an alarm to the emergency services and the operator,
- stop traffic entering the incident tunnel tube,
- stop traffic entering other tunnel tubes used as escape routes or emergency access and restrict speed of traffic approaching tunnel,
- engage appropriate ventilation in the incident tube,
- engage appropriate ventilation of escape routes e.g. parallel tube,
- use emergency settings for the tunnel lighting in all concerned tubes,
- inform tunnel users of the appropriate behaviour (e.g. variable message signs, loudspeakers, radio).

Time is crucial and immediate engagement of the full emergency plan gives the tunnel users the highest chances of survival. However, some fire detection methods may be too unreliable to allow immediate engagement of the complete fire-response plan. In this case, the emergency plan can be divided into two phases in order to allow time for validation of the alarm. The fire detection is then initially classified as a "*pre-alarm*" that results in the following actions at least:

- set off an alarm to the operator,
- engage appropriate ventilation in the incident tube,



- application des réglages d'urgence pour l'éclairage du tunnel dans tous les tubes concernés.

L'opérateur se voit alors accorder un temps limité (pas plus de quelques minutes) pour évaluer la pré-alarme. Si l'opérateur ne réagit pas dans ce délai, la pré-alarme est considérée comme valable et tout le plan d'urgence est déclenché automatiquement.

Pour de plus amples informations, prière de se reporter au rapport AIPCR *Guide pour l'organisation, le recrutement et la formation du personnel d'exploitation des tunnels routiers* [17] et au *Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers, fascicule 5* du CETU, [18].

Principe de la réaction de la ventilation

La boucle de commande globale de l'interaction ventilation-tunnel inclut les éléments, équipements et capteurs à l'intérieur du tunnel ainsi que le système de commande proprement dit. Le système de commande doit constamment surveiller les paramètres commandés. Si un paramètre se situe hors de la plage de ses valeurs cibles, une mesure est prise, par exemple la mise en service d'un ventilateur. Les conséquences de cette commande sur la situation à l'intérieur du tunnel sont surveillées par les capteurs et l'information est réinjectée dans le système de commande. Cette boucle de commande à rétroaction est présentée à la *figure 9, page 54*. Des facteurs tels que l'effet de la longueur du tunnel sur la rapidité et la fiabilité des données de rétroaction doivent être pris en considération lors de la conception.

Les informations qui sont au minimum requises pour la réaction adéquate du système de ventilation en cas d'incendie dépendent du type de tunnel et de la situation du trafic. Pour un tunnel unidirectionnel sans congestion, savoir dans quel tube a lieu l'incident peut suffire pour déclencher la ventilation. En revanche, dans la plupart des cas, l'information relative à l'emplacement de l'incendie et aux vitesses de l'air est essentielle. La réaction est décidée en fonction de scénarios prédéterminés et les actions requises sont mises en œuvre.

Les programmes de commande de la ventilation devraient garantir une réaction appropriée pour tous les scénarios d'incendie concevables, y compris des puissances thermiques élevées ou faibles avec les productions de fumée associées. Des réactions doivent également être envisagées pour des scénarios où certains équipements ne sont pas disponibles ou bien où les données mesurées font défaut ou ne sont pas plausibles.

- use emergency settings for the tunnel lighting in all concerned tubes.

The operator is then allowed a limited time (no more than a few minutes) to evaluate the pre-alarm. If the operator does not react within this time, the pre-alarm is considered valid and the entire emergency plan is engaged automatically.

Further information can be found in PIARC report *Guide for Organising, Recruiting and Training Road Tunnel Operating Staff* [17] and the CETU document *Guide to road tunnel safety documentation, Booklet 5* [18].

Ventilation Response Principle

The overall control loop of the ventilation-tunnel interaction contains the elements, equipment and sensors inside the tunnel and the control system itself. The control system should continuously monitor the controlled parameters. If one parameter is outside the range of its target values, an action is taken e.g. setting fan operation. The reaction of this control command on the situation inside the tunnel is monitored by the sensors and the information is fed back to the control system. This feedback control loop is shown in *figure 9, page 55*. Factors such as the effect of the tunnel length on the speed and reliability of the feedback data need to be considered during the design.

The minimum information required for the appropriate reaction of the ventilation system in the case of a fire depends on the tunnel type and the traffic situation. For a unidirectional tunnel without traffic congestion, the knowledge of the incident tube can be sufficient to start the ventilation. However, in most cases the information of the fire location and the air velocities are crucial. The response is decided according to pre-defined scenarios and the required actions are taken.

The ventilation-control routines should ensure adequate response for all conceivable fire scenarios including high or low heat-release rates with associated smoke production. Responses also have to be considered for scenarios where some equipment is not available or where the measured data are lacking or implausible.



► DONNÉES DÉFINISSANT LES SCÉNARIOS D'INCENDIE ET DE VENTILATION

Détection des incendies

Un système de détection peut faire appel :

- à des capteurs de détection automatiques : développés spécifiquement pour la détection des incendies et de la fumée, ils émettent un signal d'alarme dès qu'un incident se produit (par exemple détection de chaleur, images vidéo, détection de fumée).
- au déclenchement humain : déclenchement manuel de l'alarme par l'opérateur à la suite d'informations appropriées émanant de sources telles que le système de vidéosurveillance (par exemple détection d'un incident ou de fumées), appels téléphoniques d'urgence, signaux venant de l'intérieur du tunnel (boutons d'appel d'urgence, décroché d'un extincteur, ouverture de portes, etc.) ou d'informations émanant des systèmes de détection automatiques si une réponse de l'opérateur est requise pour validation.
- à la détection indirecte (automatique) : ce type de détection est le résultat d'une interprétation logique et d'un processus de corrélation de signaux venant de sources différentes (concentration de CO et/ou de particules, vitesse de l'air, vitesse du trafic, etc.).

La détection est réalisée sur la base du dépassement de valeurs seuil pendant une durée prescrite. Il est utile d'inclure dans l'évaluation la vitesse à laquelle les mesures évoluent.

La détection d'un incendie est de la plus haute importance, car ne pas s'apercevoir d'un événement risque de faire perdre un temps précieux. En conséquence, cela implique qu'un certain nombre de fausses alarmes doivent être acceptées. Néanmoins, la génération d'un trop grand nombre de fausses alarmes pourrait fatiguer l'opérateur avec un résultat similaire (il les classerait sans y prêter trop d'attention). La fiabilité du système de détection d'incendie est donc très importante.

Dans ce contexte, il est important que différentes sections du tunnel soient identifiées sans ambiguïté, afin que les utilisateurs qui signalent un incendie puissent communiquer leur emplacement à l'opérateur avec précision. En particulier lorsque l'on utilise l'extraction de fumée, l'emplacement de l'incendie doit être détecté afin de mettre en œuvre la réaction correcte en matière de commande de la ventilation et de gestion du trafic. A cet égard, l'incendie peut ne pas être situé près du bouton poussoir, du poste d'appel d'urgence, de l'extincteur décroché ou la porte d'évacuation ouverte qui a déclenché l'alarme. Normalement, la détection

► INPUT DATA DEFINING FIRE AND VENTILATION SCENARIO

Fire Detection

A detection system could rely on:

- automatic detecting sensors: developed specifically for fire and smoke detection, they put out an alarm signal as soon as an incident is triggered (e.g. heat detection, CCTV information, smoke detection);
- human triggering: manual triggering of the alarm by the operator due to appropriate information from sources like CCTV (e.g. incident or smoke detection), emergency phone calls, signals from inside the tunnel (emergency buttons, fire extinguisher removal, doors opened, etc.) or from information from automatic detection systems if an operator response for validation is required;
- indirect (automatic) detection: this kind of detection would be the result of a logical interpretation and correlation process of signals coming from different sources (CO and/or particles concentration, air velocity, traffic speed, etc.).

Detection is conducted based on exceeding threshold values for a prescribed duration. It is useful to include the rates of change of the measurements in the evaluation.

The detection of a fire is of paramount importance since missing an event could mean the loss of precious time. This in turn implies that a certain number of false alarms have to be accepted. Nevertheless, generating too many false alarms could tire the operator with a similar result (cancelling them out without paying much attention). The reliability of the fire detection system is therefore very important.

In this context it is important that different sections of the tunnel are identified unambiguously, so that users who report fires can accurately convey their location to the operator. Particularly when using smoke extraction, the location of the fire needs to be detected in order to incorporate the correct response with respect to ventilation control and traffic management. In this respect, the fire may not be located near the push button, the emergency telephone, the retrieved fire extinguisher, or the opened emergency door which has triggered the alarm. Normally, smoke detection is less accurate in determining the location of the



des fumées est moins précise pour déterminer l'emplacement de l'incendie que ne l'est une alarme de température élevée utilisant un détecteur de température linéaire. La réaction provoquée par plusieurs détecteurs d'incendie indépendants sur un ou plusieurs systèmes doit être prise en compte. Cela concerne également la détection des feux mobiles (véhicules en feu qui se déplacent) car l'emplacement de la détection initiale de l'incendie peut ne pas être le même que celui où le véhicule s'arrête (en particulier les informations récupérées au moyen du système de vidéosurveillance et de la détection des fumées).

Normalement, la réaction doit être organisée selon une hiérarchie donnant à des signaux particuliers des priorités plus élevées pour définir le scénario d'incendie. Par exemple, dans un tunnel équipé de détecteurs de fumée, de détecteurs de chaleur linéaires, de vidéosurveillance, d'opacimètres, etc., il convient de formuler un processus décisionnel donnant les indications les plus fiables quant à l'emplacement de l'incendie. Cela est particulièrement important dans le cas où le désenfumage recourt à des trappes de désenfumage télécommandées.

Le rapport AIPCR *Systèmes et équipements pour la maîtrise des incendies et des fumées dans les tunnels routiers* [14], donne de plus amples informations sur ce sujet.

Vitesse du courant d'air dans le tunnel (anémomètre)

Si l'on envisage une commande active du système de ventilation, la vitesse longitudinale de l'air doit être mesurée. Dans ce cas, la qualité et la fiabilité des mesures de vitesse de l'air sont de la plus haute importance, étant entendu que les fumées influent sur les mesures faites par l'anémomètre. Ainsi, l'influence de la stratification (qui peut entraîner un courant d'air à contre-sens) sur la vitesse longitudinale mesurée doit être prise en compte par le concepteur du système de commande. Des mesures de courant d'air erronées peuvent mettre en danger les usagers du tunnel. C'est pourquoi un contrôle automatique de vraisemblance des vitesses d'air mesurées est requis avant de mettre en œuvre tout contrôle actif du courant d'air longitudinal, afin de garantir que l'on dispose d'un ensemble cohérent de valeurs mesurées. Cela peut se faire de nombreuses manières. Par exemple, en comparant les signaux venant de plusieurs capteurs, en comparant avec des valeurs historiques ou de conception, avec la situation spécifique, etc., on peut établir la cohérence des signaux et en déduire les valeurs les plus fiables.

Une réaction appropriée du système de ventilation doit également être prévue s'il n'existe aucune mesure de vitesse d'air fiable, par ex. par des plans d'urgence appropriés.

fire than is a high temperature alarm using a linear heat detector. Moreover, the reaction due to several independent fire detectors by one or more systems has to be considered. This concerns also the detection of moving fire sources (moving vehicles on fire) as the location of the initial detection of the fire might not be the same as the location where the vehicle comes to a standstill (in particular information retrieved from CCTV and smoke detection).

Normally, the response has to be organized in a hierarchy such that particular signals have higher priorities in defining the fire scenario. For example, in a tunnel equipped with smoke detectors, linear heat detectors, CCTV, opacity meters, etc., a decision process should be formulated which gives the most reliable guidance with regard to fire location. This is particularly important in the case where smoke extraction is through the use of remotely controlled dampers.

PIARC report *Systems and Equipment for Fire and Smoke Control in Road Tunnels* [14] provides further information on this topic.

Tunnel Air Flow Velocity (Anemometer)

If there is an intention to have active control of the ventilation system, then the longitudinal air velocity should be measured. In this case, the quality and reliability of the flow measurements is of utmost importance bearing in mind that the smoke influences the measurements made by the anemometer. For example, the influence of stratification (which may induce counter flow) on measured longitudinal velocity should be considered by the control system designer. Erroneous flow measurements can endanger the situation for the tunnel users. Therefore, an automatic plausibility check of the flow measurements is called for prior to engaging any active control of the longitudinal flow to ensure that a consistent set of measurement values are available. This may be done in a number of ways. For example, by comparing signals from several sensors, comparison with historical or design values, the specific situation etc. the coherency of the signals can be established and from these the most reliable values can be deduced.

An adequate reaction of the ventilation system must also be ensured if no reliable flow measurements exist e.g. by appropriate contingency plans.



La vitesse initiale du courant d'air à l'intérieur du tunnel peut être causée par le mouvement du trafic, l'action du vent sur les têtes, l'effet cheminée à l'intérieur du tunnel (ou l'effet cheminée inversé) et la différence de pression barométrique entre les têtes. Dans une période transitoire initiale, le mouvement des fumées est influencé par des effets dus au trafic, mais puisque le trafic est arrêté en cas d'incendie, cet effet finit par disparaître. Si l'évaluation de la vitesse du courant d'air à l'intérieur du tunnel due à des effets naturels (à savoir vent, effet cheminée et pression barométrique) repose sur des mesures de vitesse d'air, la véritable vitesse dans le scénario d'incendie peut être mal interprétée du fait que l'effet du trafic est encore présent dans les valeurs mesurées initialement.

Une fois installés dans le tunnel, les anémomètres doivent être étalonnés (par exemple par des mesures in situ selon la norme ISO 5802) de manière que leurs lectures finales correspondent à la vitesse moyenne du courant d'air dans la section du tunnel. Les capteurs doivent fournir la valeur correcte de la vitesse de l'air aux sections pertinentes et ne doivent pas être affectés par le fonctionnement des ventilateurs, les niches et d'autres équipements comme les panneaux de signalisation.

Données sur les systèmes de ventilation

Dans le cas d'extraction des fumées, la connaissance de la performance des ventilateurs (contrôlée périodiquement par des tests de routine) ou la mesure du débit extrait peut être utile pour des contrôles de vraisemblance des anémomètres.

Situation du trafic

En cas de trafic unidirectionnel, il est important de savoir si le trafic en aval de l'incendie peut ou non quitter le tunnel sans entrave, puisque cela a une influence sur la stratégie de ventilation à appliquer. Les méthodes suivantes peuvent être adoptées :

- surveiller continuellement le trafic et supposer qu'il est congestionné, si c'était le cas avant la détection de l'incendie ;
- contrôler le trafic à la tête de sortie : si le trafic se déplace continuellement à des vitesses supérieures à 20 km/h par exemple, alors le tunnel sera réputé ne pas être congestionné. Le rapport AIPCR de 1987 [19] décrit les conditions de trafic dans un tunnel. Notons que ce qui est appelé trafic congestionné dans le présent document est un trafic extrêmement congestionné dans le document [19]. 20 km/h est la valeur de seuil pour ce que le présent document considère comme une exploitation non congestionnée ;

The initial flow velocity inside the tunnel may be caused by traffic movement, wind action on portals, stack effect inside tunnel (or reversed stack effect) and barometric pressure difference between the portals. The smoke flow is influenced in an initial transient period by traffic effects but, since the traffic is stopped in the event of fire, this effect will eventually disappear. If the evaluation of the flow velocity inside the tunnel due to natural effects (i.e. wind, stack effect and barometric pressure) is based on measurements of flow speed, the real speed in the fire scenario may be misinterpreted because the effect of traffic is still present in the initial measurement.

When installed in the tunnel, the anemometers have to be calibrated (e.g. with in-situ measurements according to ISO 5802) such that their end-readings correspond to the average flow velocity in the tunnel section. The sensors must deliver the correct value of the airflow at the relevant sections and must not be affected by running fans, niches and other equipment such as traffic signs.

Ventilation Systems Data

In the case of smoke extraction, knowledge of the fan performance (checked periodically through routine testing) or measurement of the extract flow can be useful for plausibility checks of the anemometers.

Traffic Situation

In the case of unidirectional traffic, it is important to know whether or not the traffic downstream of the fire can leave the tunnel unhindered, as it has an influence on the ventilation strategy to be applied. The following methods can be adopted:

- continuously monitor the traffic flow and assume traffic congestion, if this was the case prior to the fire detection;
- monitor the traffic at the exit portal: if the traffic is continuously moving at speeds above, say 20 km/h then the tunnel would be deemed not to be congested. PIARC 1987 report [19] describes traffic conditions in a tunnel. Note that what is called congested traffic in the present document is extremely congested traffic in the document [19]. 20 km/h is the threshold value for what this document takes to be non-congested operation;



- si aucune information fiable sur la situation du trafic n'est disponible, il est conseillé de choisir l'option la moins favorable. Dans la plupart des cas, cela correspond à la situation congestionnée. Cependant, dans les tunnels où le trafic est léger ou le nombre de véhicules peu élevé, il est possible de prendre pour hypothèse la situation non congestionnée.

Autres données

D'autres données sont parfois utiles pour faciliter la commande de la ventilation, par exemple les températures intérieures et extérieures, le vent, la visibilité et les fumées à l'extérieur du tunnel.

► MISE EN ŒUVRE DE LA COMMANDE EN CAS D'INCENDIE

L'application d'une stratégie de ventilation particulière dépend de l'emplacement de l'incendie par rapport aux équipements de ventilation et de la configuration d'ensemble du système de ventilation.

Au cours de la conception d'un système de ventilation, le concepteur propose normalement les procédures d'exploitation permettant à l'opérateur de toujours être à même de mettre en œuvre la séquence complète pour n'importe quelle urgence donnée. Le concepteur devrait rechercher les solutions de commande les plus efficaces compte tenu de la complexité du système de ventilation et des procédures qu'un opérateur est capable de mettre en œuvre correctement dans des conditions de stress. L'opérateur devrait également avoir la possibilité d'intervenir sur la procédure en cours à tout moment s'il a connaissance soit que l'alarme est fautive, soit que la procédure est inadaptée. Cependant, il est très important de souligner que l'intervention dans un processus automatique en cours devrait être évitée sauf si l'opérateur est pleinement conscient des conséquences de ses actes et est autorisé à intervenir.

La réaction d'un système de ventilation à un incident détecté et validé devrait satisfaire aux exigences définies au [chapitre "Stratégie de gestion des fumées pour la phase d'auto-sauvetage", page 42](#). Il est de la plus haute importance de parvenir à une réaction stable de la ventilation. De fortes oscillations pourraient entraîner des courants d'air inappropriés dans le tunnel. Il est recommandé qu'aucun changement ne soit apporté à la procédure de désenfumage en cours sauf si :

- les mesures des variables de contrôle montrent clairement que le scénario d'incendie a été mal compris et donnent à penser qu'il conviendrait d'en utiliser un autre ;

- If no reliable information about the traffic situation is available, the less favourable option should be chosen. In most cases this would be the congested situation. However, in tunnels with light traffic or few vehicles, the non-congested situation might be assumed.

Further Data

Further data are sometimes useful in order to facilitate ventilation control for example, inside and outside temperatures, wind, visibility and smoke external to the tunnel.

► IMPLEMENTATION OF CONTROL PROCEDURE IN THE CASE OF FIRE

The application of a particular ventilation strategy depends on the location of the fire with respect to the ventilation equipment and the overall layout of the ventilation system.

During the design of a ventilation system the designer would normally propose the procedures for operation so that the operator will always be able to follow the entire sequence for any given emergency. The designer should also investigate the most efficient control solutions, considering the ventilation system complexity, and the procedures that an operator under stressful conditions would have to undertake correctly. The operator should also have the possibility of intervening with the ongoing procedure at any time if they have knowledge of either the alarm being false or the procedure being inadequate. However, it is very important to stress that intervention of an ongoing automatic process should be avoided unless the operator is fully aware of the consequences of their action and is authorised to do so.

The response of a ventilation system to a detected and validated incident should be in line with the requirements defined herein (see sub-section "[Smoke-management strategies for the self-rescue phase", page XX](#)). It is of utmost importance that a stable ventilation response is achieved. Strong oscillations might result in inadequate airflows inside the tunnel. It is recommended that no changes are made to the ongoing smoke control procedure unless:

- the measurements of the control variables show clearly that the fire scenario was misunderstood and point to a new fire scenario;



- l'examen des variables de contrôle montre que la réaction de la ventilation au scénario d'incendie est insuffisante pour plusieurs raisons et qu'aucune situation stable ne peut être atteinte ;
- les mesures ou autres sources d'informations sont fiables et il n'existe aucun risque qu'elles puissent être affectées par l'incendie ;
- la modification de la procédure ne fait pas courir de risques aux personnes se trouvant à l'intérieur du tunnel, notamment les services d'intervention.

Seule la personne habilitée peut prendre la responsabilité d'intervenir dans la procédure.

La vue d'ensemble du système de ventilation exige de prendre en compte plusieurs aspects :

- l'exploitation normale diffère de l'exploitation d'urgence, et des modes de commande différents pourraient être spécifiés ;
- l'exploitation d'urgence peut exiger des priorités différentes en ce qui concerne le statut des équipements. Protéger les équipements est normal, mais pas en situation d'urgence : la priorité donnée par exemple à la protection thermique ou vibratoire d'un ventilateur sera ignorée en cas d'incendie. Une capacité de réserve devrait être fournie afin que la défaillance de certains équipements soit acceptable ;
- en raison de phénomènes transitoires, l'information doit être traitée avec soin et tenir compte des aspects dynamiques ;
- la redondance des équipements et des informations est recommandée pour permettre au système d'être fiable ;
- les procédures prévues lors de la conception doivent tenir compte de modes dégradés, notamment la perte de certains équipements ;
- mise en route automatique des équipements de secours en cas de défaillance. Ceci doit se traduire dans les procédures pour la ventilation d'urgence ;
- vérification que les données locales ne sont pas en conflit avec les exigences du système ; par exemple le capteur de température sur une trappe de désenfumage peut empêcher la télécommande de sa manœuvre ;
- fermeture au trafic des tubes où ont lieu l'incendie et les opérations de secours ;
- en cas d'incendie, tenir un certain compte du trafic urbain en dehors du tunnel afin d'assurer la sécurité aux têtes, de faciliter l'évacuation et l'accès des services d'incendie ;
- la préférence doit être donnée aux systèmes simples, stables, fiables et robustes.

- the monitoring of the control variables show that the ventilation response to the fire scenario is inadequate due to various reasons and no stable control behaviour can be reached;
- the measurements or other information sources are reliable and there is no risk of being affected by the fire;
- the correction of the procedure does not put people inside the tunnel at risk, including the emergency services.

Only the person in charge may take the responsibility of intervening in the procedure.

The overall view of the ventilation system requires consideration of several aspects:

- normal operation differs from emergency operation and different control modes might be specified;
- emergency operation may require different priorities with regard to equipment status. Safeguarding of equipment in normal but not in emergency operation, prioritizing – e.g. bearing temperatures/vibration status of fan would be ignored in case of fire emergency. Standby capacity should be provided so that failure of some equipment is acceptable;
- due to transient phenomena, information must be treated with care, acknowledging the dynamic aspects;
- redundancy of equipment and information should be available for a reliable system;
- design response should accept degraded modes, taking into account the loss of equipment;
- automatic operation of back-up equipment in case of failure. This is a reflection of procedure for emergency ventilation;
- verification that local data is not in conflict with system requirements; e.g. temperature sensor on damper may prohibit remote operation;
- closure of fire and rescue tubes to traffic;
- in the case of fire some consideration of urban traffic outside the tunnel to ensure safety at portals, easy exiting and access of the fire service;
- simple, stable, reliable and robust systems are to be preferred.