

**PORTFOLIO**  
→ Sécurité

# VAINCRE LE



68 | LA RECHERCHE | MARS 2007 | N° 406

# FEU DANS LES TUNNELS

Pour mieux comprendre la propagation des incendies en milieu confiné, des scientifiques déclenchent des feux grandeur nature dans un réseau de galeries unique en Europe.

Cécile Michaut est journaliste scientifique.

**L**e 24 mars 1999, un camion frigorifique prend feu à 7 kilomètres de l'entrée du tunnel du Mont-Blanc. C'est le point de départ d'un incendie qui dure 53 heures et fait 39 victimes. Rapidement, le manque de préparation des exploitants contre les sinistres en milieu souterrain est montré du doigt : les dispositifs d'alerte, déficients, ont laissé entrer des voitures dans le tunnel alors que le feu y était déjà intense ; des problèmes de ventilation ont été mis au jour ; plusieurs personnes ont trouvé la mort dans des refuges mal conçus...

## Nombreux capteurs

Manque de connaissance de ce type d'incendie ? Il est vrai que le comportement d'un feu dans un tunnel, et plus généralement dans un milieu confiné tel qu'un parking souterrain ou un métro, est très différent de celui d'un incendie en plein air. Les mouvements de l'air et des gaz toxiques sont complexes, dans un système de ventilation et de galeries souvent touffu. Les structures sont soumises à rude épreuve et peuvent s'effondrer. Pour mieux comprendre ces phénomènes – et les

**CE CHERCHEUR** étudie à l'aide d'un capteur l'influence du vent sur le feu qu'il a déclenché dans une voiture factice. Pour comprendre le comportement d'un incendie en milieu confiné, très différent des incendies en plein air, rien ne remplace les expériences grandeur nature.

contrôler –, les scientifiques se sont dotés d'un instrument unique en Europe : la galerie de tests de Hagerbach, à Sargans, en Suisse. Cet équipement privé a vu le jour en 1970 et s'est peu à peu développé jusqu'à offrir un réseau de galeries de près de 5 kilomètres, dont la plus large atteint 15 mètres de diamètre, avec des formations géologiques très diverses (schiste, calcaire...). Il permet d'étudier des incendies réels grâce à ses capteurs de température, d'humidité, de vitesse de l'air, de poussières, de gaz et de forces. Une centaine de scientifiques et d'industriels y brûlent chaque année des véhicules, depuis la voiture jusqu'au wagon. Ils testent aussi des équipements, des matériaux ou des procédures d'évacuation d'urgence, à

**LES POMPIERS** (ci-dessus) s'entraînent sur un incendie de la galerie de tests de Hagerbach, en Suisse. Des conditions de feu très réalistes sont reproduites dans le tunnel (ci-dessous) : fortes fumées, communications radio perturbées, chaleur intense, explosions, etc.





**DES SCIENTIFIQUES** mesurent l'influence du vent sur un incendie en milieu confiné (ci-dessus), tandis que d'autres (ci-dessous), soumettent à un feu intense de nouveaux bétons renforcés par des fibres plastiques. Pour équiper les tunnels, ces derniers doivent supporter des incendies de plusieurs heures.

70 | LA RECHERCHE | MARS 2007 | N° 406



## PORTFOLIO

→ Sécurité



🍏 l'image de Volker Wetzig et son équipe, de la galerie de tests de Hagerbach.

« Nous avons mené des recherches sur le tunnel à gabarit réduit de l'autoroute A86, à l'ouest de Paris », explique ce responsable de la recherche et développement. Un tunnel qui sera mis en service en octobre 2007 et dans lequel les véhicules circuleront sur deux étages, intégrés dans un unique tube de 10 kilomètres de long. Pour étudier

la propagation du feu et tester le système d'aspersion d'eau, une réplique de 200 mètres de long a été recréée à Hagerbach et équipée de nombreux capteurs. Soixante véhicules y ont été incendiés.

### Laser et fibre optique

Mais comment observer ce qui se passe dans un feu, alors que les températures élevées détériorent les détecteurs et que la fumée masque les caméras ? La société Siemens Building Technologies (SBT) a mis au point des détecteurs de température résistants à 150 °C pendant une heure, voire à 600 °C,

pour certains modèles. Contrairement aux capteurs habituels, leur système actif de détection est situé à l'extérieur du tunnel. Il est relié à un câble longeant

**UNE ÉQUIPE DE POMPIERS** s'entraîne à éteindre un feu de barils de pétrole dans le tunnel.

**LE FIL TENDU** (ci-contre) est un échantillon de capteur de température nouvelle génération. Il est formé de longues fibres optiques logées dans un câble et disposées dans le tunnel. Un faisceau laser envoyé dans ces fibres est perturbé sous l'effet de la chaleur, proportionnellement à l'augmentation de la température. On peut ainsi localiser un point chaud en mesurant la durée de transmission de ce signal modifié.



**ICI EST ÉTUDIÉE** la manière dont le béton reste attaché aux armatures en acier après un incendie. Objectif : s'assurer que les pompiers ne recevront pas de gravats lors de leurs interventions.



**INSTALLÉ SUR UN ÉCHAFAUDAGE**, le physicien installe des capteurs au plafond haut de 15 mètres du laboratoire d'étude des incendies de Siemens, près de Zurich. Au sol, le feu sera déclenché à la verticale du centre du cercle.

À l'intérieur du tunnel et contenant une fibre optique. Un faisceau laser est envoyé dans la fibre, et interagit avec les atomes de cette dernière par un phénomène optique appelé effet Raman. Cette interaction engendre deux impulsions lumineuses dont les fréquences sont situées de part et d'autre de la fréquence originale. Sous l'effet de la chaleur, l'une de ces impulsions est déformée, proportionnellement à la température. Comme on connaît la vitesse de propagation de la lumière dans la fibre, on peut localiser le point chaud en mesurant le temps de parcours de cette impulsion lumineuse. « *Ce dispositif nous permet d'évaluer la taille du sinistre et son déplacement* », indique François Weber, ingénieur chez SBT. Il équipe désormais le tunnel du Mont-Blanc.

### Le pouls des flammes

Ces capteurs de températures sont complétés par des détecteurs de flammes dont l'enjeu principal est de différencier un vrai feu d'une fausse alarme telle que l'illumination générée... par un phare de voiture. Les capteurs les plus élaborés, développés il y a six ou sept ans, sont des analyseurs de lumière infrarouge, capables de reconnaître en temps réel les longueurs d'onde spécifiques des lumières émises par la combustion d'hydrocarbures. « *Pour cela, nous avons développé des analyses instantanées des données, afin de déterminer en temps réels s'il s'agit d'un feu et quelle est sa taille* », indique Marc Thuillard, de la société Belimo Automation. En effet, même si un feu nous



**UN FEU D'ÉTHANOL** est filmé par une caméra de thermographie (à gauche), permettant de mesurer sa température. C'est en analysant en temps réel le rayonnement émis par le feu que les détecteurs de flammes distinguent un vrai feu de la lumière d'un phare par exemple. L'observation des longueurs d'onde émises par les flammes et de la fréquence de leurs pulsations permet en effet de déterminer la nature et la taille du feu.



## PORTFOLIO

→ Sécurité



**TESTER DES CAPTEURS** de flammes avec une lampe infrarouge et une lampe clignotante permet de vérifier qu'ils distinguent les fausses alarmes des vrais feux.

semble chaotique, il est en fait plus structuré qu'on ne l'imagine : on observe des pulsations régulières des flammes, à une fréquence qui dépend notamment de la taille du feu. L'analyse mathématique de ces pulsations permet de distinguer un vrai feu de fausses alarmes, même lorsque ces structures régulières sont perturbées par des courants d'air.

Pas question de brûler des voitures à l'intérieur d'un tunnel neuf pour juger de la façon dont un incendie s'y propage. La simulation s'impose pour concevoir des stratégies de lutte. Toutefois, « nous ne savons pas simuler précisément un feu dans un tunnel d'une dizaine de kilomètres, déplore Thorsten May, spécialiste de la modélisation à l'institut Fraunhofer à Darmstadt en

Allemagne, qui collabore avec la galerie de tests de Hagerbach. *Pour contourner cette difficulté, nous couplons donc deux modèles : l'un, très précis, à proximité de l'accident, et l'autre moins précis pour le reste du tunnel.* » À partir des caractéristiques du tunnel (forme, matériaux, etc.), le chercheur modélise la vitesse du vent et la distribution des températures et des gaz toxiques en chaque point de la structure. Grâce à son modèle, il peut prédire le déroulement de la catastrophe, avec ou sans interaction humaine comme l'utilisation d'extincteurs ou de systèmes de ventilation.

### Imagerie en 3D

Cependant, les très nombreuses informations fournies par les modèles et les capteurs sont inutiles si les équipes de surveillance sont incapables de les exploiter rapidement. Quel est l'intérêt d'un listing de chiffres si l'on doit prendre une décision dans la minute ? C'est pourquoi les chercheurs de l'institut Fraunhofer travaillent aussi sur la visualisation en trois dimensions des données telles que la température ou la vitesse du vent, afin de générer une image claire et rapide de la situation. « Toute la difficulté est de réaliser ces images en temps réel : nous ne pouvons pas prendre deux heures pour retraiter les données », indique T. May. ■■ C. M.

#### EN SAVOIR PLUS

■ Le site de présentation du consortium I-surf. [www.i-surf.org](http://www.i-surf.org)

■ Le site officiel de la galerie de tests de Hagerbach, à Sargans, en Suisse. [www.hagerbach.ch](http://www.hagerbach.ch)

**L'ANALYSE DE LA VITESSE DU VENT** (ci-dessous à gauche) et de la température (à droite) d'un incendie virtuel est indispensable pour concevoir les tunnels, mais aussi pour prévoir les stratégies de lutte contre le feu : nombre et position des systèmes d'extinction et des sorties de secours, gestion de la ventilation... Les ingénieurs améliorent aussi la visualisation en temps réel des données pour aider les équipes de secours à prendre les décisions rapides.

Reportage photos : Volker Steger Stegerphoto.com

