



**HAL**  
open science

# EGSISTES : Évaluation Globale de la Sécurité Intrinsèque des Systèmes de Transport En Souterrain

Benjamin Truchot

► **To cite this version:**

Benjamin Truchot. EGSISTES : Évaluation Globale de la Sécurité Intrinsèque des Systèmes de Transport En Souterrain. Rapport Scientifique INERIS, 2010, 2009-2010, pp.87-89. ineris-01869285

**HAL Id: ineris-01869285**

**<https://hal-ineris.archives-ouvertes.fr/ineris-01869285>**

Submitted on 6 Sep 2018

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

# EGSISTES : Évaluation Globale de la Sécurité Intrinsèque des Systèmes de Transport En Souterrain



B. Truchot

Le projet EGSISTES (Évaluation Globale de la Sécurité Intrinsèque aux Systèmes de Transports En Souterrain) avait pour objectif d'améliorer la compréhension des phénomènes physiques intervenant dans les scénarios de menace intentionnelle ou accidentelle. Les recherches réalisées pendant les trois ans du projet, tant sur le plan numérique qu'expérimental, ont permis d'obtenir une meilleure description de la physique des phénomènes dangereux et d'évaluer les modèles disponibles pour en prédire les conséquences. Ce document présente une partie des résultats obtenus. Une analyse des risques globaux pour les infrastructures souterraines de transport a fait ressortir trois phénomènes dangereux : l'explosion, l'incendie et la dispersion de gaz toxiques.

Ces trois phénomènes ont été étudiés expérimentalement et numériquement au cours du projet. Ce document traite des aspects expérimentaux et numériques des phénomènes d'incendie et de dispersion de gaz toxiques. Les phénomènes d'explosion, dont l'aspect expérimental a été étudié par l'INERIS, ne sont pas discutés ici.

## INCENDIE EN TUNNEL : COMPORTEMENT DE LA NAPPE AVAL

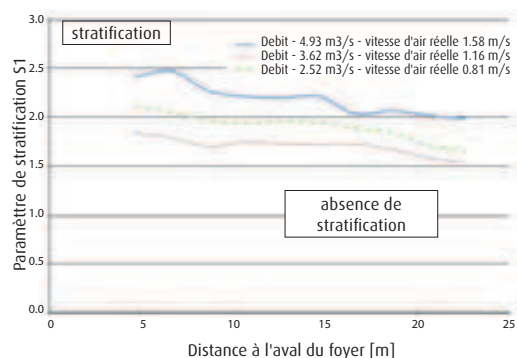
En cas d'incendie, la réglementation actuelle [2] prescrit une ventilation longitudinale réduite, vitesse de ventilation de l'ordre de 1 à 2 m/s, pour des situations de tunnels congestionnés. Cette stratégie a pour but de maintenir une « certaine stratification des fumées à l'aval du foyer » pendant l'évacuation des personnes. L'objet de la campagne expérimentale était d'évaluer la présence et la stabilité de la stratification à l'aval du foyer et de comprendre l'impact de la présence de véhicules sur cette stratification. La galerie incendie de l'INERIS a été utilisée pour cette campagne expérimentale. L'installation a été décrite en détail dans [1] et [4]. Pour mémoire, il s'agit d'un tunnel à échelle 1/3 d'une section de 5,4 m<sup>2</sup>, pour une longueur de 50 m. Pour étudier le comportement de la nappe aval et l'impact de véhicules sur la stratification, le foyer d'incendie était placé à 10 m de l'entrée de la galerie, soit une longueur d'étude de 40 m en aval.

## Caractérisation de la nappe aval

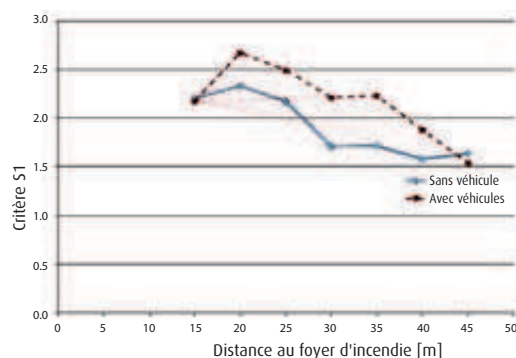
Afin d'étudier l'impact de la ventilation sur la stratification des fumées à l'aval du foyer, deux puissances d'incendie et trois débits de ventilation ont été étudiés. L'objet de cet article est d'évoquer les conclusions qui se dégagent de ces essais. La stratification d'une nappe de fumées peut être évaluée à l'aide du critère de stratification S1 (rapport entre la différence de température entre le plafond et le sol et l'augmentation de température moyenne) défini par Newman [5]. Ses travaux montrent que S1 est inférieur à 1,9 en cas de perte de la stratification. Pour la nappe aval, il est possible de définir deux régions en fonctions de la stratification [6] : une première région stratifiée, proche du foyer, une deuxième région plus lointaine non stratifiée. La limite entre ces deux régions varie en fonction des conditions de l'incendie et de la ventilation entre deux situations extrêmes d'absence complète de stratification ou au contraire de stratification sur la totalité du tunnel.

Afin d'évaluer la stratification à l'aval du foyer en cas d'incendie de véhicule dans un tunnel, l'évolution longitudinale du critère de stratification S1 est représenté sur la figure 1 pour un foyer de 350 kW et les trois débits de ventilation utilisés. Ainsi, ces essais montrent une faible stratification à l'aval du foyer dans une configuration de ventilation correspondant à celle rencontrée en tunnel congestionné, et ce d'autant plus que

**FIGURE 1**  
ÉVOLUTION LONGITUDINALE DU CRITÈRE DE STRATIFICATION S1



**FIGURE 2**  
ÉLÉMENTS SIMULANT LA PRÉSENCE DE VÉHICULES À ÉCHELLE 1/3 UTILISÉS POUR LES ESSAIS



l'on s'éloigne du foyer. Outre l'aspect thermique montrant la perte de stratification, les images vidéo enregistrées durant les essais montrent la perte totale de la stratification visuelle. Cette dernière n'a aucun effet direct sur la sécurité des usagers mais pénalise leur évacuation.

Ainsi, les conditions d'évacuation à l'aval du foyer sont rapidement dégradées, représentant à l'échelle, la situation dans un tunnel en ventilation longitudinale. Cette dégradation est notable à la fois par la perte de visibilité qui en résulte, mais aussi par une dégradation certaine des conditions de tenabilité (conditions thermiques et toxiques compatibles avec la présence de personnes) à l'aval du foyer. Ces deux aspects cumulés impliquent une mise en sécurité délicate des usagers dans une telle situation et souligne l'importance, dans l'évaluation de la stratification, de ses différentes caractéristiques : thermique, toxique mais aussi visuelle.

### Impact de véhicules sur la nappe aval

La stratégie de ventilation prescrite par l'instruction technique [2] et décrite précédemment est applicable pour des tunnels congestionnés. Aussi, dans une telle situation, des véhicules seront présents à l'aval du foyer et leur impact sur la stratification des fumées doit donc être évalué. À cette fin, des éléments simulant la présence de véhicules, voitures et poids lourds, à échelle 1/3 ont été introduits dans la galerie incendie. La figure 2 montre l'évolution comparative du critère S1. Cette courbe a été obtenue à partir des résultats

de simulation FDS (Fire Dynamics Simulator), code de calcul 3D spécifique à la modélisation des incendies.

Les résultats montrent l'impact de véhicules sur la stratification des fumées. La perte de stratification observée sans les véhicules est moins nette en présence de véhicules, à proximité du foyer. Cette tendance est en accord avec les résultats obtenus par [7] et confirmée par les simulations numériques réalisées dans le cadre de ce projet, figure 3. Toutefois, il est important de rappeler que ce résultat n'est valable qu'à proximité du foyer et, qu'au-delà d'une certaine distance, l'effet s'inverse, comme indiqué sur cette courbe en accord avec [7]. Par ailleurs, il faut garder à l'esprit que ces résultats dépendent de la distribution des véhicules à l'aval du foyer.

### DISPERSION DE GAZ DENSES EN TUNNEL

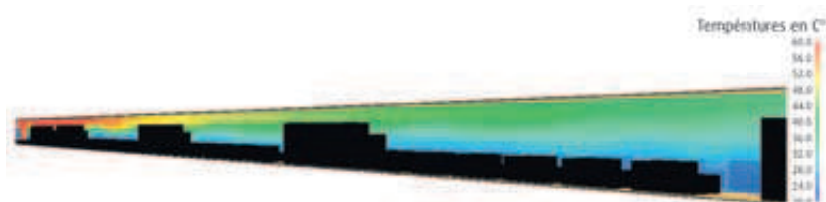
Une fuite de gaz toxique en tunnel peut engendrer des conséquences dramatiques mais elle n'est que très partiellement traitée dans les études spécifiques de

dangers. L'objet de cette campagne expérimentale était d'évaluer la capacité d'une ventilation incendie pour traiter un rejet accidentel de gaz toxique.

### Étude expérimentale

Si les conséquences d'un rejet massif comme ceux définis par le modèle EQR (Évaluation Quantitative des Risques) [13] seraient critiques et difficilement gérables, il convient toutefois de s'interroger sur l'utilisation possible du système de ventilation dans des situations de rejet de gaz toxiques.

Ainsi, dans le but de caractériser le développement du nuage, des essais ont été réalisés dans la galerie incendie de l'INERIS, galerie représentant un tunnel à échelle 1/3. Le gaz utilisé pour les essais est l'argon, un gaz neutre intrinsèquement plus lourd que l'air, le rapport de densité entre l'argon et l'air atteignant 1,4. L'objectif de ces essais est à la fois de mieux comprendre le comportement d'un nuage de gaz dense en présence de ventilation longitudinale ou transversale mais aussi



**FIGURE 3**  
VUE EN PERSPECTIVE DE LA GALERIE INCENDIE.

Simulation numérique du comportement des fumées en tunnel en cas de congestion. Les carrés figurent des véhicules et camions, les couleurs les champs de température.

de valider les outils de calcul existant afin de permettre une extension de la réflexion à des géométries réelles et à d'autres typologies de gaz.

La configuration dite de référence présentée ici est un jet vertical d'argon, avec un débit de 1 m<sup>3</sup>/min avec une vitesse du courant d'air longitudinal d'environ 0,5 m/s. La nappe de gaz reste alors stratifiée depuis le point de rejet jusqu'à la sortie du tunnel, comme le montre l'image issue des essais (figure 4 A). Après comparaison des résultats numériques aux valeurs expérimentales (figure 4 B), ces outils de simulation ont pu être appliqués à des situations réelles.

Cette comparaison entre les résultats expérimentaux et numériques montre un bon accord, le code de calcul utilisé, FDS, permet ainsi de reproduire la nappe stratifiée et de la quantifier au travers des valeurs de concentration obtenues et de la hauteur de l'interface.

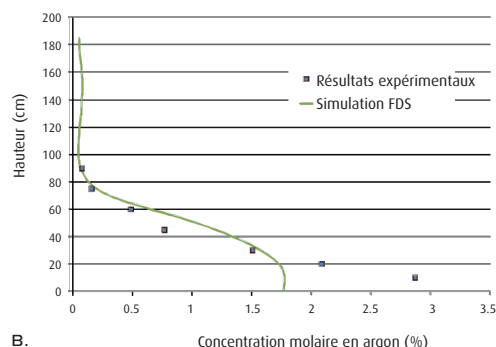
## CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Les objectifs du projet EGSISTES étaient, outre une analyse du risque global dans les infrastructures de transport en souterrain, l'amélioration des connaissances pour les différents phénomènes physiques associés (incendie, explosion, dispersion d'un gaz toxique) et l'évaluation des outils de simulation ou, le cas échéant, le développement de nouveaux modèles. Cet article présente une partie des résultats pour les aspects relatifs à l'incendie et la dispersion de gaz

**FIGURE 4**

**A. VISUALISATION DE LA NAPPE STRATIFIÉE**

**B. COMPARAISON ENTRE RÉSULTATS EXPÉRIMENTAUX ET SIMULATION NUMÉRIQUE**



toxiques. Une campagne expérimentale réalisée pour étudier le comportement des nappes de fumée en cas d'incendie en tunnel a permis d'étudier l'impact de perturbations à la fois sur la nappe aval et la nappe amont. Ces expériences ont par ailleurs servi de base de validation aux codes FDS et Phoenix [3].

Enfin, les rejets de gaz denses ont pu être étudiés expérimentalement afin de déterminer le comportement d'un nuage de gaz dans une configuration de type tunnel. Cette campagne expérimentale a mis en avant la fragilité de la stratification de telles nappes de gaz. La comparaison de ces résultats avec les simulations numériques a permis de valider les codes de calcul et d'étendre ensuite numériquement la portée de cette étude.

## RÉFÉRENCES

- [1] Truchot B., Heudier L., Proust C., William-Louis M., Benselama A., Fournier L., Armand P., Boucard A. EGSISTES – Évaluation Globale de la Sécurité Intrinsèque des Systèmes de Transport En Souterrain. WISG 2009, Troyes.
- [2] Annexe 2 de la circulaire interministérielle 2000-63 du 25 août 2000 relative à la sécurité dans les tunnels du réseau routier national.
- [3] Truchot B., Boehm M. et Waymel F. Numerical analysis of smoke layer stability. Congrès BHRG New York 2009.
- [4] Boehm M., Fournier L., Truchot B. Smoke stratification stability: Presentation of experiments. Congrès Graz 2008.
- [5] Newman J., Tewarson A. Flame propagation in Ducts, Combustion and Flame 51:347 (1983).
- [6] Newman J. Experimental evaluation of Fire-Induced stratification, Combustion and Flame 57:33 (1984).
- [7] Waymel F., Fournier L., RUFFIN E. Étude numérique de l'influence des véhicules sur la déstratification des fumées d'un incendie en tunnel, Congrès AFTES – Octobre 2005.
- [8] Lee E., Finger M., Collins W., JWL equation of state coefficients for high explosives, Lawrence Livermore Lab., 1973, UCID-16189.
- [9] Catlin C. *et al.* Explosion hazards assessment: a study of the feasibility and benefits of extending current HSE methodology to take account of blast sheltering, Health and Safety Lab., Sheffield, HSL-2001-04.
- [10] Peyret R., Taylor T. D. Computational methods for fluid dynamics, Springer-Verlag, New-York 1983.
- [11] Rigas F., Sklavounos S. Experimentally validated 3-D simulation of shock waves generated by dense explosives in confined complex geometries Journal of Hazardous Materials, A121, pp. 23-30 (2005).
- [12] Sklavounos S., Rigas F. Computer simulation of shock waves transmission in obstructed terrains, Journal of Loss Prevention in the Process Industries, vol. 17, pp. 407-417, 2004.
- [13] Guide des dossiers de sécurité des tunnels routiers. Fascicule 3 : Les analyses des risques liés au transport des marchandises dangereuses, décembre 2005.

## ABSTRACT

The objective of the EGSISTES (Global Evaluation of Intrinsic Security of Underground Transport Systems) project was the study of phenomena linked with global risk in underground transport infrastructures. The different kinds of dangerous phenomena linked with both accidental and intentional threat were identified during this project. Three families of phenomena have been enlightened: dispersion of R, B or C substances, explosion and fire. The study of those phenomena was achieved using both experimental and numerical approach. This paper is focused on fire and toxic product dispersion. The first part concerns the downstream smoke layer in confined configuration. In such a case, experiments show the quick degradation of tenability condition. Concerning toxic gases, both numerical and numerical approach show the difficulty in managing such a release to ensure safe conditions for users.