

ETUDE NUMERIQUE DE L'EFFET DU VENT SUR LA PROPAGATION DES FUMÉES D'INCENDIE DANS UN TUNNEL ROUTIER

B. Kalech¹, M. BOUTERRA^{1*}, O. VAUQUELIN², A. EL CAFSI¹,
A. BELGHITH¹, P. BOURNOT²

¹Faculté des Sciences de Tunis Campus Universitaire 2092 ELMANAR, TUNISIE

²IUSTI, UMR CNRS 6595, Technopôle de château Gombert, Marseille.

*(auteur correspondant: mourad.bouterra@fst.rnu.tn)

RESUME : L'étude présentée dans ce papier porte sur la modélisation numérique par le code FDS d'écoulements turbulents instationnaires comme le sont ceux générés par les systèmes de ventilation dans les tunnels routiers en cas d'incendie. L'objectif est de développer et valider des méthodes de calcul pour représenter les phénomènes physiques intervenant lors d'une aspiration par une trappe de désenfumage d'une nappe stratifiée. L'ensemble des résultats donne des informations et indications sur les conditions de modélisation d'aspiration de fumées par trappes de désenfumage de tunnels routiers et sur les performances du code pour prédire ces écoulements. Une étude phénoménologique des écoulements au sein du tunnel est traitée caractérisant la structure des fumées soumises à un courant d'air.

Mots clés : Fluent, polluant, tunnel, trappe.

1. INTRODUCTION

Lors d'un incendie, les objectifs recherchés avec les systèmes de ventilation sont de maintenir le plus possible la stratification naturelle des fumées en partie haute du tunnel de manière à conserver une couche d'air pur au voisinage de la chaussée, et d'extraire les fumées au moyen d'un système d'aspiration situé au niveau du plafond [1]. La vitesse longitudinale de l'air pendant l'incendie joue un rôle prédominant dans la propagation des fumées à l'intérieur du tunnel. La consistance de l'installation et l'utilisation de ventilation résultent donc de la prise en compte de scénarios d'incendie combinant divers facteurs impliquant surtout le courant d'air longitudinal. L'utilisation efficace de ces systèmes de ventilations (ouvertures ou trappes) requiert un contrôle rapide et précis du courant d'air dans le tunnel. Il est nécessaire de réduire cette vitesse au maximum dans la zone proche de l'incendie pour permettre aux fumées de s'écouler au plafond de façon symétrique avec un niveau de stratification optimal. Le concept de système de ventilation totalement contrôlé proposé par Casale & Biollay (2001) [2] a été développé par plusieurs auteurs pour satisfaire ce critère. L'idée de base est de focaliser l'extraction dans une zone proche de l'incendie en s'appuyant sur un contrôle de la vitesse à l'intérieur du tunnel à l'aide d'accélérateurs supplémentaires. On peut parler d'un système de ventilation mixte visant d'abord à symétriser rapidement la propagation des fumées pour ensuite les extraire efficacement sur une courte distance. La plupart des études sur l'incendie en tunnel s'appuient sur l'utilisation d'outils numériques (code Fire Dynamic Simulator (Mcgrattan & Forney (2005)[3]). A noter aussi les simulations expérimentales à échelle réduite qui sont très intéressantes (Vantelon et al. (1991)[4], Atkinson et al. (1995)[5], Saito et al. (1995)[6] et Vauquelin et al. (2007) [7]). Ces auteurs se contentent généralement sur tous ce qui se passe à l'intérieur du tunnel en oubliant la vitesse du vent à l'extérieur.

On s'intéresse dans cette étude à la simulation numérique de l'efficacité d'extraction des polluants en fonction de la vitesse du vent impliquée moyennant un code FDS (Fire Dynamic Simulator) basé sur la méthodologie simulation des grandes échelles LES.

2. CONFIGURATION GEOMETRIQUE ET CONDITIONS AUX LIMITES

Le domaine d'étude et les conditions aux limites sont représentés sur la figure 1.

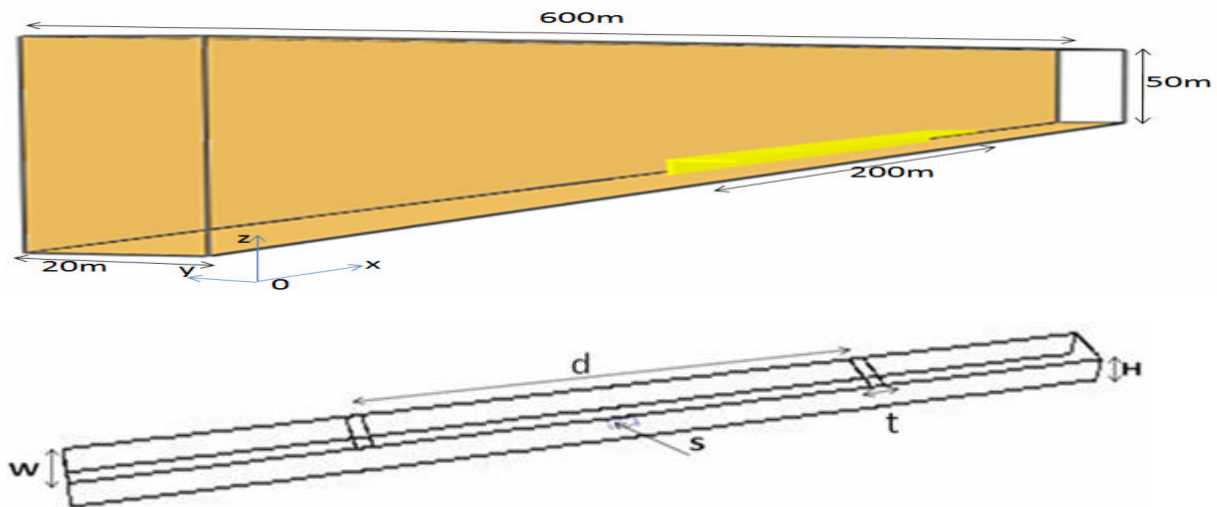


Figure 1 : Configuration géométrique.

$t = 3\text{m}$: la largeur de la trappe, $H = 5\text{m}$: la hauteur du tunnel, $W = 5\text{m}$: la largeur du tunnel, $S = 13.75\text{ m}^2$: la surface de la source, $d = 97\text{ m}$: la distance entre les deux trappes.

Les conditions aux limites qui spécifient l'écoulement et les variables aux frontières de notre modèle physique sont représentés sur la figure 2.

- Entrée : profil de vitesse continu (la vitesse du vent)
- Frontière : vitesse constante selon la longueur (la vitesse du vent)
- Plafond : paroi
- Trappe : vide
- Coté latérale : vide
- Sol : paroi
- Source : injection du fluide (la puissance convectée $V_{inj} = 3.25\text{ m/s}$)
- Sortie : zone de sortie du fluide du domaine.

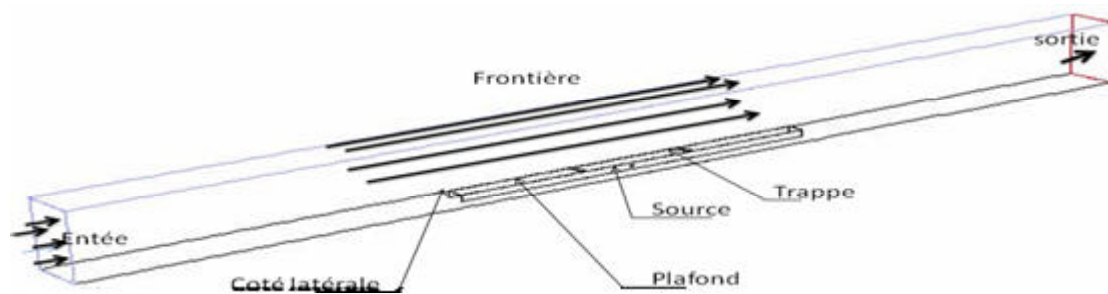


Figure 2: Conditions aux limites

3. RESULTATS ET DISCUSSIONS

Le domaine d'étude étant identique pour toutes les simulations telles qu'il a été précédemment défini, de même pour le maillage, le modèle de turbulence, les conditions aux limites et la puissance convectée (caractérisée par la vitesse d'injection et la température qui sont constantes). D'une simulation à une autre, on ne fera que varier la valeur de la vitesse U du vent appliquée.

La simulation d'incendie se fait par un panache thermique. Ce dernier à un comportement complexe en présence du courant d'air longitudinal. La trajectoire du fluide est déviée vers l'aval de l'incendie. Selon la géométrie du problème et les caractéristiques du panache l'écoulement peut prendre plusieurs formes Jirka et al. (1991)[8]. Les paramètres importants sont l'angle d'inclinaison du panache et l'équilibre entre la flottabilité et la quantité du mouvement dans le panache.

3.1.Effet du vent sur la distribution de la température

L'effet du vent sur la distribution de la température au niveau de la trappe gauche en amont de la source est représenté sur la figure 3. On constate que la température est celle du milieu ambiant, elle est égale à la température du courant d'air appliqué. En se rapprochant de centre du tunnel (la source d'incendie) et pour des faibles vitesses du vent, on constate la présence d'une petite quantité du polluant qui se retourne au coté amont du tunnel pour sortir de la trappe gauche.

La température la plus élevée est enregistrée pour les faibles vitesses du vent appliqué, $U=0.5$ et 1 m/s. Elle est au dessous du plafond et elle se dégrade en fonction de la longueur du tunnel.

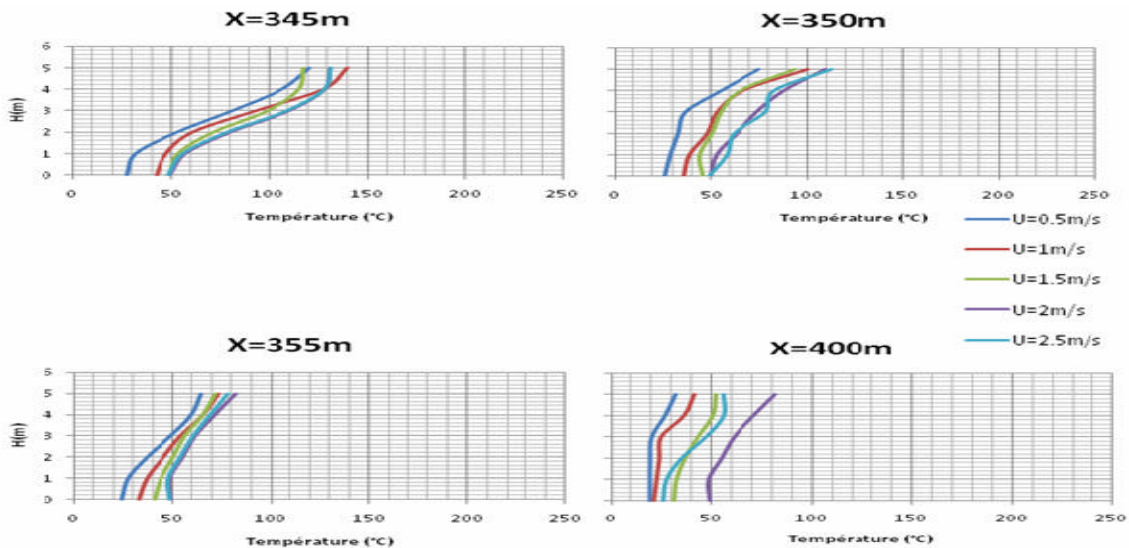


Figure 3 : Profil de la température en amont de la source d'incendie.

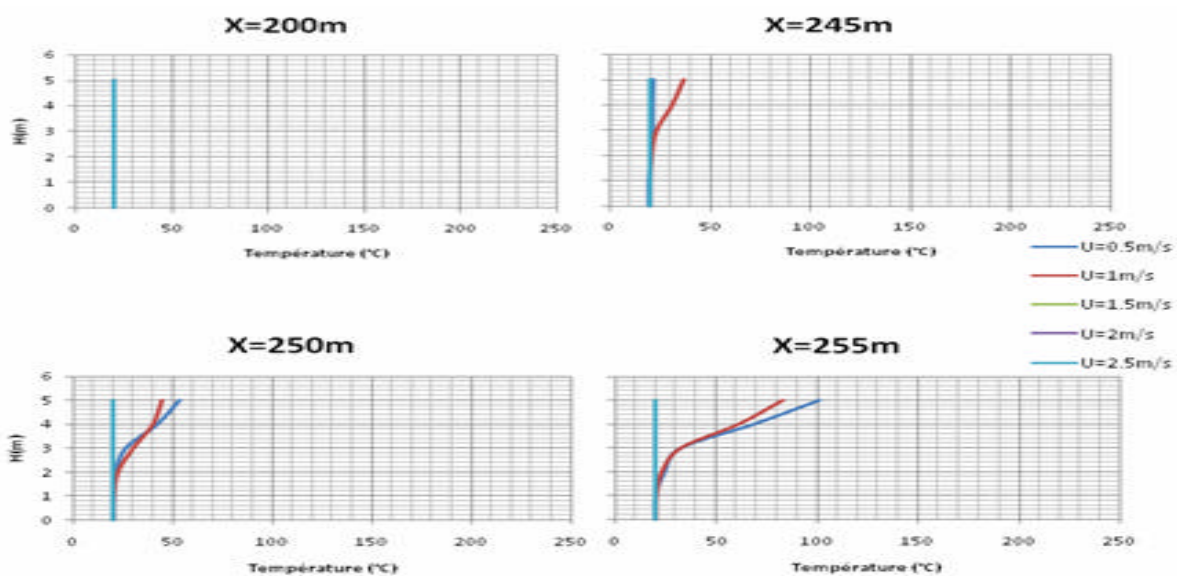


Figure 4 : Profil de la température en aval de la source d'incendie.

Le profil de la température en aval de la source d'incendie est représenté sur la figure 4. Les résultats montrent que la température la plus élevée est enregistrée au dessous du plafond. Elle atteint la valeur de 140°C entre la source d'incendie et la trappe droite, ensuite, elle diminue pour atteindre une valeur de l'ordre de 80°C. On constate, également, que la température au niveau du sol est faible par rapport à celle du plafond. Cette diminution est due au mélange qui s'établit entre le polluant est l'air frais.

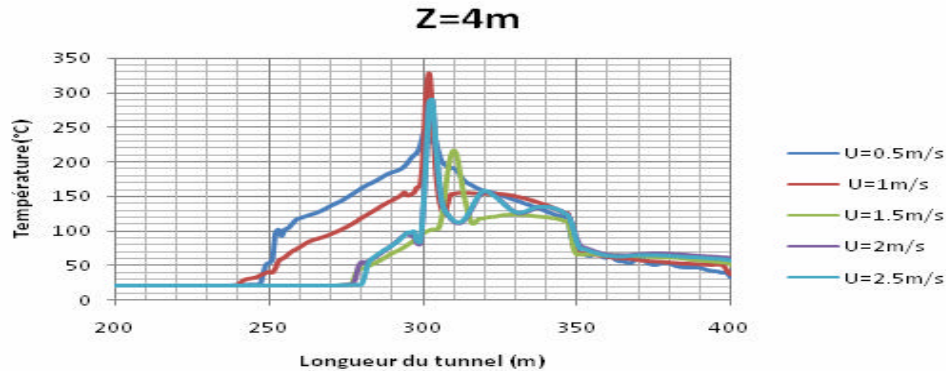


Figure 5 : La température au dessous du plafond du tunnel.

Sur la figure 5 est représentée la température juste au dessous du plafond. En se rapprochant de la source d'incendie, on remarque que la température augmente pour atteindre 320 °C pour des faibles vitesses du vent appliquée. En augmentant la vitesse, la température diminue. On remarque aussi que l'écoulement est perturbé en aval de la source (trappe droite) ce qui explique la désymétrie du panache thermique.

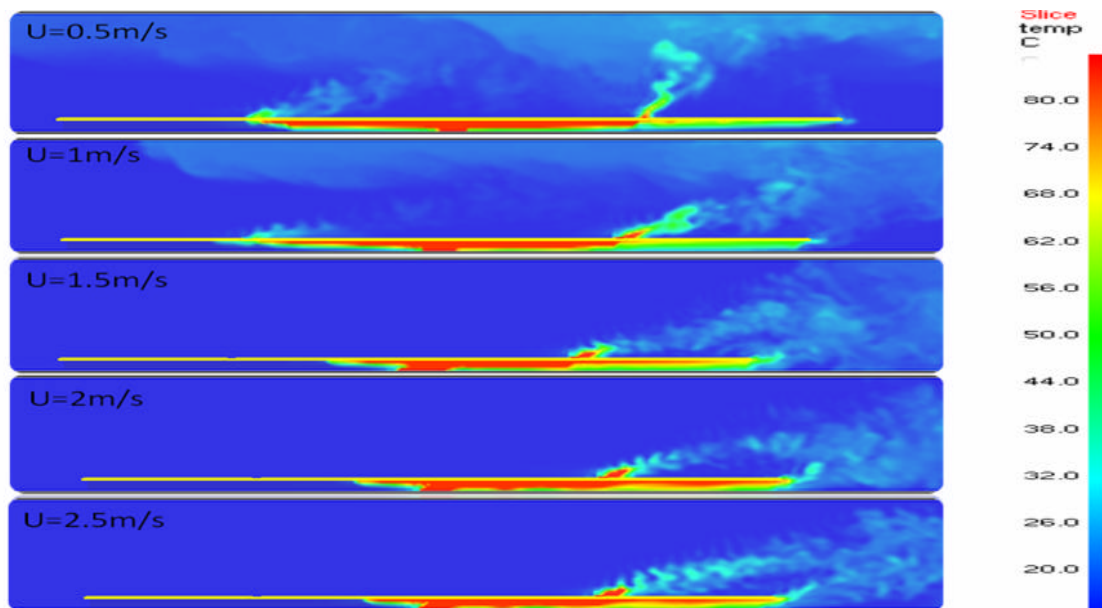


Figure 6 : Les isovaleurs du champ de température pour différentes vitesses appliquées et pour un temps $t = 600$ s

Les isovaleurs du champ de température pour différentes vitesses appliquées et pour un temps $t = 600$ s sont représentées sur la figure 6. Une bonne stratification est observée pour les faibles vitesses en amont de la source d'incendie. En augmentant la vitesse, l'écoulement devient instable et la désertification est visible. A des vitesses fortes du vent, l'écoulement est fortement instable.

3.2. Effet du vent sur l'efficacité d'extraction

L'influence du vent sur l'efficacité d'extraction du polluant est regroupée sur le tableau 1. Le taux d'extraction est le rapport entre la puissance extraire sur la puissance convectée.

$$\Phi = \frac{P_e}{P_c} \quad \text{tel que } \Phi \text{ est le taux d'extraction.}$$

P_e est la puissance extraite.

P_c est la puissance convectée, $P_c = 11.13\text{Mw}$.

U (m/s)	U/V	Taux d'extraction du coté droite (%)	Taux d'extraction du trappe gauche (%)	Taux d'extraction du trappe droite (%)	Taux d'extraction du coté gauche (%)
0.5	0.15	0	30	47	16
1.0	0.30	0	12	61	22
1.5	0.46	0	0	30	69
2.0	0.61	0	0	14	76
2.5	0.77	0	0	13	80

Tableau 1 : Taux d'extraction du polluant pour les différentes ouvertures du tunnel.

L'efficacité d'extraction est la somme des taux d'extraction de la trappe droite et de la trappe gauche. Les résultats sont donnés sur le tableau 2.

U (m/s)	0.5	1	1.5	2	2.5
Efficacité (%)	67.7	76.2	29.2	14.9	14

Tableau 2 : Efficacité d'extraction du polluant.

Pour le désenfumage des tunnels, utilisant la ventilation naturelle, l'air frais pénètre par l'une des entrées du tunnel et il est rejeté par l'autre. Et au-delà, la propagation des fumées dans les tunnels va être influencée par le vent.

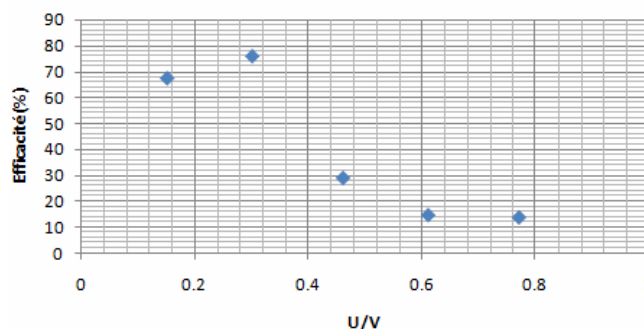


Figure 7 : Variation de l'efficacité en fonction du rapport de vitesse

La courbe de variation de l'efficacité en fonction du rapport de vitesse (figure 7) montre que l'efficacité d'extraction diminue avec l'augmentation de la vitesse du vent. Ce résultat peut s'expliquer par l'inclinaison du panache qui augmente avec la vitesse du vent et la désertification du polluant à l'intérieur du tunnel.

4. CONCLUSION

Un écoulement des fumées soumis à un courant d'air longitudinal subit des changements principalement sur la distribution de la température et l'efficacité d'extraction. La vitesse du courant d'air appliquée, influe principalement sur le panache d'incendie. Si la vitesse est faible, le panache est peu incliné, l'écoulement est bien stratifié et un taux d'extraction élevé avec des valeurs importantes de la température. Par contre pour des vitesses importantes, le panache est fortement incliné et l'écoulement est déstratifié alors que le taux d'extraction reste a priori élevé avec des valeurs faibles de la température. L'étude montre que le système de ventilation naturel adopté devient inefficace après une valeur de la vitesse du vent de l'ordre de 1.25m/s.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

1. **O. Vauquelin**, contribution aux études d'écoulements à faible masse volumique pour des applications sur la propagation et le contrôle des fumées d'incendie, Mémoire d'Habilitation Universitaire, Université de la Méditerranée Aix Marseille 2007.
2. **E. Casale & H. Biollay**, A fully controlled ventilation response in the case of a tunnel fire, 4th International conference on safety in Road and Rail Tunnels (2001).
3. **Mcgrattan & G.Forney**, Fire Dynamic Simulator (version 4) – User's guide. NIST Special Publication 1019, National Institute of Standards and Technology (2005).
4. **O.Vauquelin, D. Telle & E. Casale**, Smoke control in tunnel fires – Should we talk about critical mass flow, 10th International Symposium on Aerodynamics and Ventilation of Vehicle Tunnels, BHR Group (2000)
5. **A.B. Atkinson**, Rainwater L. and Smeeding.M., Income distribution in OECD countries - evidence from the Luxembourg Income Study. Paris: OECD, 1995 (Social policy studies no. 18).
6. **N. Saito, T. Yamada, A. Sekizawa, E. Yanai, Y. Watanabe & S. Miyazaki**, Experimental study on fire behaviour in a wind tunnel with a reduced scale model, 2nd International Conference on Safety in Road and Rail Tunnels, p. 303 - 310 (1995)
7. **G. Michaux & O. Vauquelin**, Solutions for turbulent buoyant plumes rising from area sources, Physics of Fluids, 20 (6), 2008
8. **G.H. Jirka, & P.J. Akar**, Hydrodynamic Classification of Submerged Multiport Diffuser Discharges, J. Hydraulic Engineering, ASCE, (117), 1113-1128, HY9 (1991).