



**HAL**  
open science

# Modèles numériques pour l'évaluation des effets de l'incendie sur l'environnement atmosphérique Application des logiciels: FLUENT, ALOHA

Samia Chettouh, Rachida Hamzi, Djamel Haddad, Nouredine Bourmada

► **To cite this version:**

Samia Chettouh, Rachida Hamzi, Djamel Haddad, Nouredine Bourmada. Modèles numériques pour l'évaluation des effets de l'incendie sur l'environnement atmosphérique Application des logiciels: FLUENT, ALOHA. QUALITA2013, Mar 2013, Compiègne, France. hal-00823123

**HAL Id: hal-00823123**

**<https://hal.science/hal-00823123>**

Submitted on 16 May 2013

**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.

# Modèles numériques pour l'évaluation des effets de l'incendie sur l'environnement atmosphérique

## Application des logiciels: FLUENT, ALOHA

Chettouh Samia, Hamzi Rachida,  
Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle  
Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle  
Université de Batna  
Batna, Algérie  
[samia.chettouh@yahoo.com](mailto:samia.chettouh@yahoo.com)

Bourmada Nouredine, Haddad Djamel  
Laboratoire de Recherche en Prévention Industrielle  
Institut d'Hygiène et Sécurité Industrielle  
Université de Batna  
Batna, Algérie  
[bourmadan@yahoo.fr](mailto:bourmadan@yahoo.fr)

**Résumé**—L'augmentation du risque incendie émane de la confrontation de deux dynamiques spatiales très différentes : la dynamique des espaces combustibles ainsi que les pertes énormes qu'un incendie peut causer, ce qui rend la modélisation de ces phénomènes un véritable défi posé aux analystes. Devant l'arrivée en masse de données il devient important de fournir des modèles permettant d'exploiter ces données afin d'aider à comprendre tous les phénomènes qui rentrent en jeu. Dans ce contexte, Ce travail est consacré à faire une modélisation et simulation des effets de l'incendie sur l'environnement atmosphérique. Deux outils de simulation numérique avancé ont été utilisés pour étudier ces principaux phénomènes. Ce travail propose l'application de deux codes de simulation numérique ; FLUENT et ALOHA pour l'étude des effets de l'accident de Skikda sur l'environnement atmosphérique, suivie d'une étude critique des résultats des deux logiciels.

**Mots clés**— Modélisation numérique, incendie, modèles zone, modèles CFD, modèle intégrale, modèle gaussien, environnement, effets d'incendie.

### I. INTRODUCTION

Pour l'analyse des incendies et l'évaluation de ses conséquences sur la sûreté des installations industrielles et l'environnement voisinage, il existe trois grandes catégories de modèles qui sont classées suivant les données et les connaissances utilisés et les résultats fournis. Les premiers modèles dits probabilistes qui déterminaient le développement d'un incendie à partir d'un ensemble de données statistiques [1], en donnant les probabilités d'occurrence de diverses quantités de dommages[2,3]. Ils utilisent des probabilités de certains événements (succès/échec du cloisonnement, naissance d'un incendie[3,4], ont peu à peu laissé la place à des modèles déterministes basés sur la résolution de lois physiques et chimiques gouvernant un feu[5], pour donner une valeur quantitative a des phénomènes physiques liés à un incendie [6,7,8]. Ensuite il y a ceux qu'il est difficile de les classer dans les deux premiers groupes. On peut dire qu'ils sont semi-probabilistes, car ils cherchent tous à nous indiquer dans quelle mesure un incendie aura lieu.

Chaque modélisation correspond à un degré de finesse différent dans la représentation des phénomènes réels. [9]

Avec l'accroissement de la puissance informatique, il devient désormais possible de modéliser et simuler numériquement, de manière plus ou moins réaliste, de nombreux phénomènes physiques et chimiques se déroulant au cours d'un feu[10].

La modélisation numérique permet de se substituer en première approche à l'investigation expérimentale, en offrant un gain de temps et d'argent considérables par rapport à des essais réels[11]. Elle donne aussi facilement accès à une grande quantité d'informations, contrairement à l'étude expérimentale. Elle apporte donc une aide précieuse à la compréhension et à la prédiction du feu[10]. Les modèles numériques que l'on peut trouver se différencient selon leur méthode de résolution des réponses thermiques associées au feu[12]. Ainsi, pour une approche par objectif, la classification des modèles numériques d'incendie est la suivante : les modèles gaussiens, les modèles intégraux et les modèles de développement de feu avancé ou les modèles thermiques d'incendie qui sont subdivisé en modèle de champs et modèle de zones.

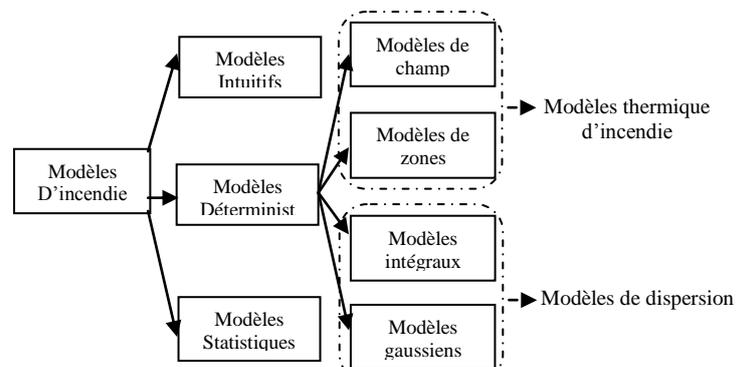


Fig. 1. Modèles d'évaluation d'incendie

L'objectif de cette étude est de modéliser et simuler numériquement les effets thermiques et la dispersion des polluants d'un incendie. Pour ce faire, on a opté pour l'utilisation de deux logiciel ; le code FLUENT du type CFD, destiné à la modélisation de l'effet thermique des incendie en résolvant de façon approchée les équations fondamentales de la mécanique des fluides (équations de Navier-Stokes)[13,14] sur un maillage du domaine physique. Ce type de modélisation

permet de prendre en compte tous les paramètres du problème, et notamment de représenter la stratification. La géométrie du domaine physique a été sélectionnée en utilisant le Gambit qui est un le pré- processeur pour modéliser la géométrie et réaliser le maillage de FLUENT [15]. Le deuxième code est ALOHA (Aerial Locations of Hazardous Atmospher) est un logiciel de modélisation qui modélise la dispersion l'atmosphérique de divers produits chimiques et d'estime leurs concentrations à différentes distances de la source de rejet[16,17].

Pour cela, on a opté pour la modélisation d'un accident qui a eu lieu au terminal de Skikda (RA1K), Algérie en octobre 2005, afin d'évaluer les effets qu'il a généré sur l'environnement du coté de l'effet thermique ainsi que la dispersion atmosphérique des polluants dans l'atmosphère et son impact sur l'homme.

## II. DESCRIPTION DE L'ACCIDENT

Le 4 octobre 2005, à 10 h 00 du matin, un incendie s'est déclaré sur le bac de pétrole brut S106 au terminal de stockage de Skikda, Algérie, celui-ci s'est étendu plus tard au bac voisin S105. Le "Boilover" qui s'est produit aurait éjecté la totalité du contenu du bac[18,19].

La cuve S106 était en cours de remplissage depuis 21 h 40 la veille au soir et le niveau était de 10,72m (pour un maximum de 13m), ce qui correspond à un taux de remplissage d'environ 70% par rapport au volume total de 50 000 m<sup>3</sup> du bac.

La spécification de TVR maximale (Tension de Vapeur Reid) pour un bac à toit flottant est de 0.75 kg/cm<sup>2</sup>. La TVR correspondant aux conditions atmosphériques du 11 octobre et celle du 13 octobre (soit 7 et 9 jours après l'arrêt) étaient respectivement de 0,91 et 0,94 kg/cm<sup>2</sup> et l'estimation du contenu en GPL était de 3 % (mol) à 0.75 kg/cm<sup>2</sup> et 5 % mol à 0.95 kg/cm<sup>2</sup>. Pour un bac, cela équivaut à une masse de 75 tonnes évaporées, le volume occupé par ce gaz à une concentration de 100% est alors de 60 000 m<sup>3</sup>[18] "Fig. 2".

## III. MODÉLISATION PAR LE CODE FLUENT

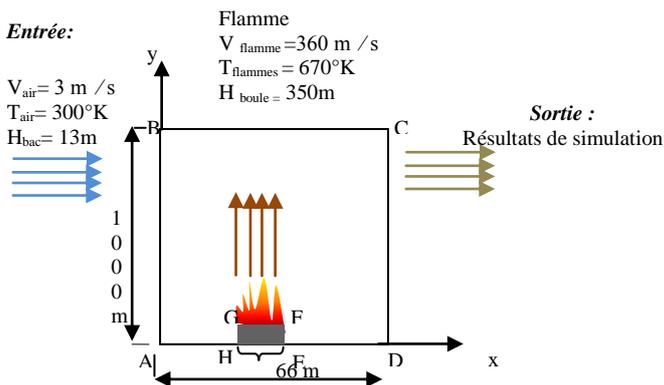


Fig. 2. Représentation schématique du domaine de l'étude.

D'où:

$V_{air}$  : Vitesse de l'air,  $V_{flamme}$  : Vitesse de flamme  
 $T_{air}$  : Température de l'air,  $T_{flammes}$  : Température de flamme

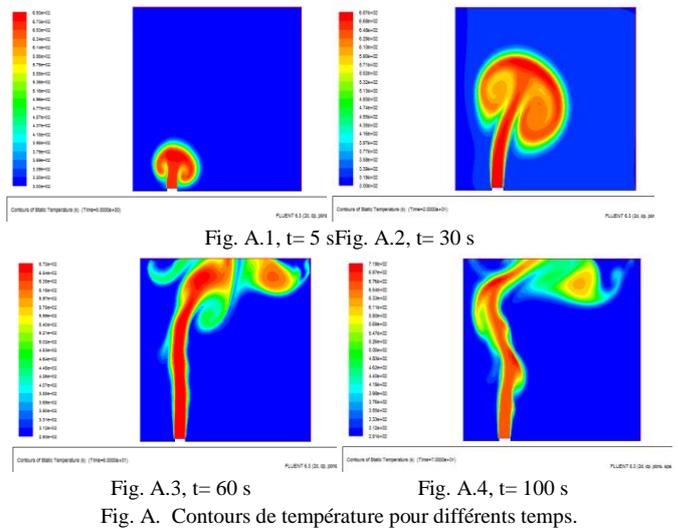
$H_{bac}$  : Hauteur du bac,  $H_{boule}$  : Hauteur de la boule du feu

Les simulations numériques ont été effectuées dans un domaine correspondant au volume de contrôle allant de la position  $x=0 \text{ m}$  jusqu'à la position  $x= 1000 \text{ m}$ . La source de pollution thermique (foyer de l'incendie) est graduellement limitée entre deux points inclus entre les positions 0 et 1000m. Le volume de contrôle représentant le domaine de notre étude est schématisé dans "Fig. 1".

### A. Résultats et discussion

On a choisit quelques illustrations à des différents instants qui permettront de voir au plus près ce qui c'est pupasser dans le cas réel.

#### 1) Profil de température



Les figures A.1-A.4, montrent la variation bidimensionnelle de température en fonction du temps. Ces résultats numériques sont faites avec un maillage fin met en évidence un gradient de température présentant de fortes variations lorsqu'on s'éloigne du foyer de l'incendie.

Ces variations semblent correspondre aux zones de flamme que l'on peut situer à l'aide des dégradations des couleurs. On y remarque la stratification de la température typique du feu avec source localisée (bac). On peut remarquer d'après l'allure du champ de température que la flamme est faiblement perturbée par l'air, puisque l'allure de la courbe est très légèrement inclinée vers la droite.

L'épaisseur de la couche chaude en rouge et orange basée sur le profil de température a légèrement émincée avec le temps pour former une boule de feu ; c'est le moment de la formation du Boilover ( $t= 50$  à  $60 \text{ s}$ ) [20], cette couche s'éclaircis du rouge vif  $T \geq 690 \text{ K}$  du  $t= 5 \text{ s}$  jusqu'à  $t= 50 \text{ s}$  au couleur orangée après les 60s.

Les différentes zones qu'on peut observer sont principalement :

- Une zone chaude (rouge-orangée) correspondant à la base du feu avec une température entre 690°K et 560°K. C'est dans cette zone qu'a eu lieu la combustion du Butane, dont les réactions en phase gazeuse sont très exothermiques. L'écoulement réactif reste ici peu affecté par les effets aérodynamiques de l'air environnant ;
- Une zone intermédiaire (jaune-vert), de plus faibles températures car plus éloignée de la surface de combustion du Butane avec des variations de températures entre 550°K et 460°K. Cette zone est un peu plus affectée par les effets aérodynamiques de l'air environnant ;
- Une zone (bleu clair) de mélange avec l'air ambiant qui correspond au panache du feu. La température chute ici rapidement pour atteindre les 450°K à 370°K et l'image laisse apparaître des structures tourbillonnaires caractéristiques d'un écoulement turbulent.

## 2) Champs de vitesse et de réaction

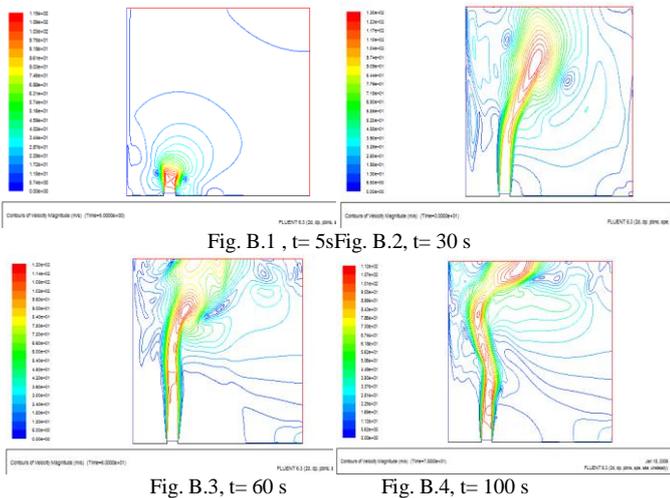


Fig. B.1 , t= 5s Fig. B.2, t= 30 s

Fig. B.3, t= 60 s

Fig. B.4, t= 100 s

Fig. B. Quelques images des contours de vitesse prise de l'animation (à des instants différents).

Les ordres de grandeur de la vitesse axiale sont globalement en bon accord avec les mesures [20]. On peut souligner toutefois que la vitesse ascensionnelle est légèrement sous-estimée lorsque l'on s'éloigne du foyer de l'incendie "Fig. B.3 et Fig. B.4".

L'allure du profil de la vitesse entre  $t=5s$  et  $t=45s$  "Fig. B.1 et fig. B.2" est très peu influencée par le vent, puisque la vitesse de la flamme  $V \approx 360$  m/s. est fortement dominante à ce niveau, mais avec l'évolution de l'incendie et l'éloignement du foyer de l'incendie, la vitesse des réactions et l'énergie dégagée diminue avec le temps, les flammes prennent de l'altitude ainsi que les forces de gravité diminuent et l'atmosphère sera influencé par les vents dominants et cela va influencer l'allure de la flamme d'où son penchement vers la droite "Fig. B.3".

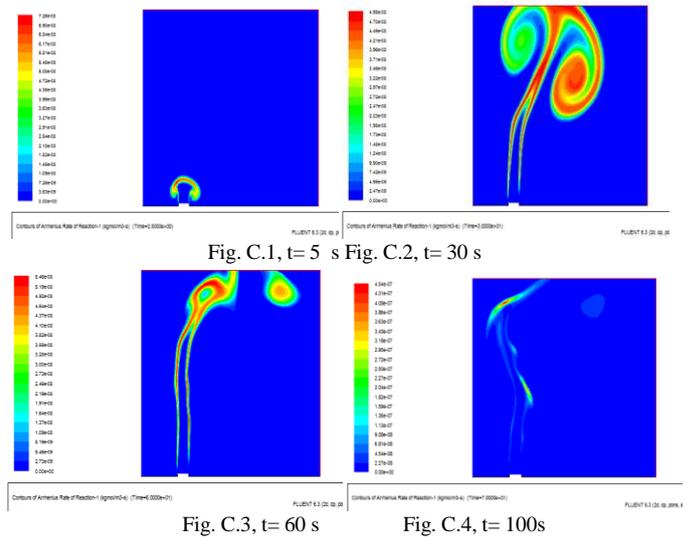


Fig. C.1, t= 5 s Fig. C.2, t= 30 s

Fig. C.3, t= 60 s

Fig. C.4, t= 100s

Fig. C. Champs de réaction prise pour différents temps.

Pour les figures C.1-C.4, on remarque que le taux de réaction augmente sur les extrémités de la flamme ou il y a un mélange équilibré entre combustible et comburant ce qui favorise la combustion qui est une réaction exothermique, ce phénomène atteint son maximum à  $t= 30s$ , après, il y a une dégradation de la vitesse de réaction jusqu'à la consommation totale du combustible et ainsi l'étouffement de l'incendie.

## IV. MODÉLISATION PAR LE CODE ALOHA

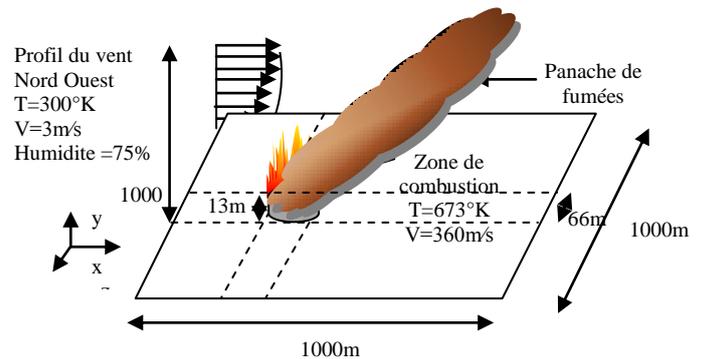


Fig. 3. Représentation schématique du problème, du domaine de calcul et du système des coordonnées utilisées dans la simulation

### A. Résultats et discussion

Les résultats sont principalement des représentations bidimensionnelles, prises suivant les deux axes principaux (un plan YZ passant en  $X = 1000$  m et un autre XZ passant en  $Y = 1000$ m) "Fig.3".

#### 1) Modélisation du gaz évaporé avant l'accident

Le témoignage du gardien du terminal a formellement identifié le bac S106 comme étant la source du nuage de gaz, étant donné qu'il a observé, après l'ignition, un retour de flamme vers le haut du bac. Le bac était en cours de remplissage et plein à environ 70%. Le remplissage avait

commencé la veille à 21h40 et s'effectuait à un débit de 2400 m<sup>3</sup>/h.

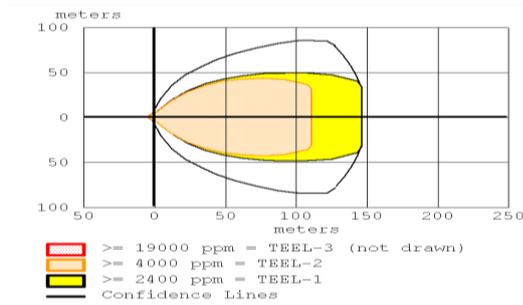


Fig.4. Concentration du polluant en ppm dans les régions touchées par la fuite.

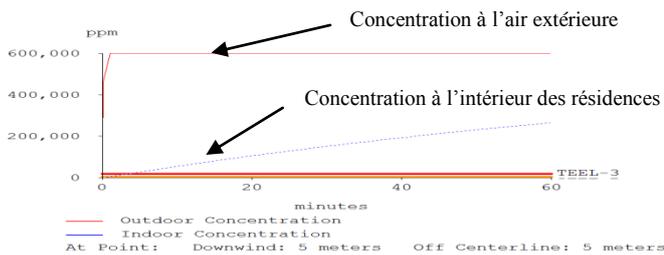


Fig. 5. Concentration du polluant au point (5m, 5m).

Dans la figure 4, ALOHA simule les trois zones menacées par la dispersion du gaz. ALOHA estime que la zone en orange qui occupe environ 110m en aval, les valeurs de cette menace et les distances sont affichée "Fig.5.

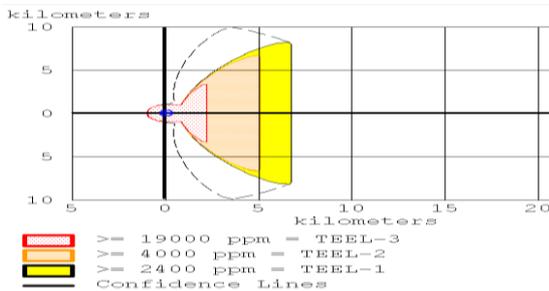


Fig. 6. Concentration du polluant en ppm dans les régions touchées.

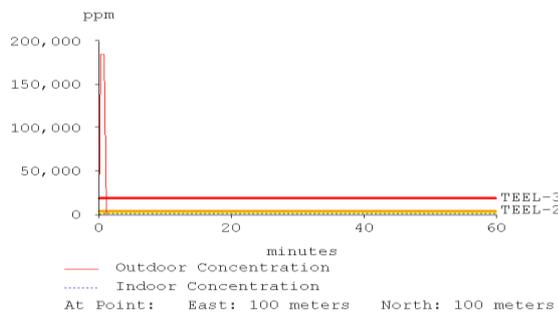


Fig. 7. Concentration du polluant au point (100m, 100m)

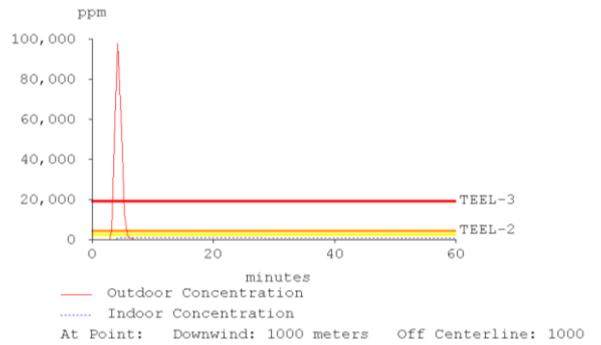


Fig.8. Concentration du polluant au point (5000m, 5000m)

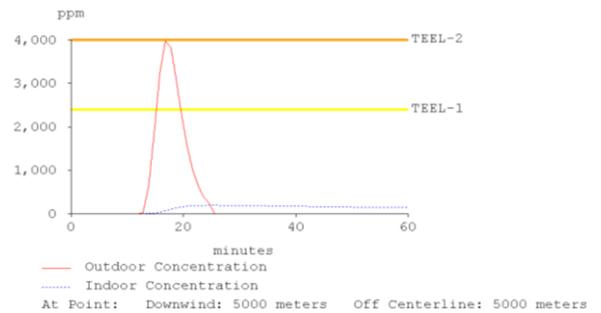


Fig. 9. Concentration des effets thermiques au point (5000m, 5000m)

Les figures 6-9 présentent les zones menacées par la pollution due au butane qui peut atteindre une concentration maximale de 19000ppm sur une distance de 2000 m de la source, puis diminuer à 4000 ppm sur une distance de 5000 m pour atteindre les 2400ppm sur les deux kilomètres qui suivent (Fig.5).

Les figures 6-9 illustrent aussi le déplacement du nuage suite à un relâchement accidentel. Il présente les concentrations estimées de Butane (en ppm) dans l'air extérieur en fonction du temps (de 1 à 60 minutes). Pour cet exemple, le déversement se fait de façon continue pendant une période non déterminé par ALOHA (puisque'elle dépasse les 60 minutes) avec un débit de 300000 kg par minute.

On peut voir qu'après la 5<sup>ème</sup> minute, le butane peut être détecté à une distance de 1000 mètres du point de relâchement, le nuage s'étend jusqu'à une distance de 2000 après 10 minutes, avec un taux de 20000 ppm, pour atteindre une concentration de 4000ppm a une distance de 5000m et cela après 20 minutes.

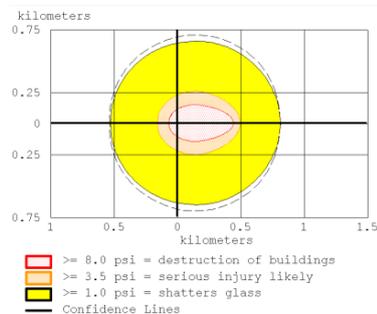


Fig.10. Les zones menacées par les surpressions

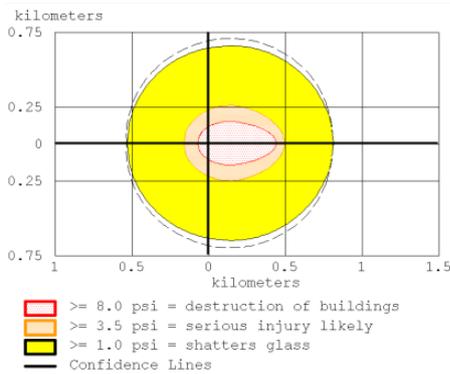


Fig.11. Les zones menacées par les effets thermiques

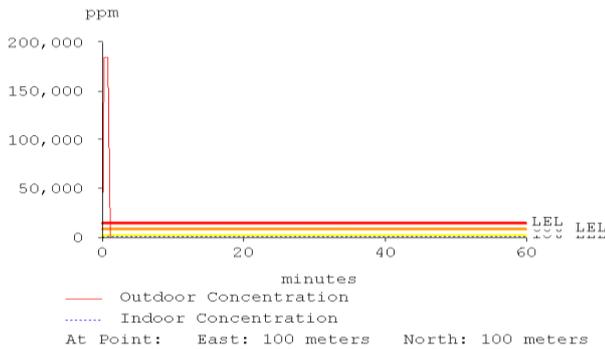


Fig.12. Concentration des effets thermiques au point (100m, 100m)

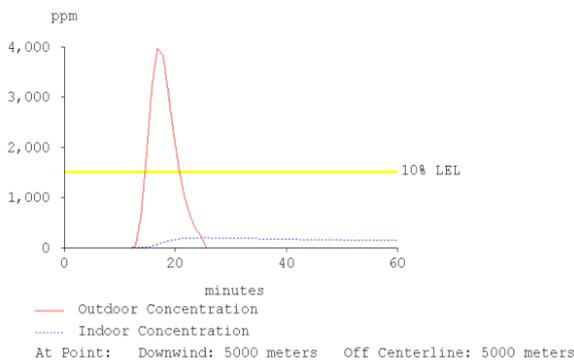


Fig.13. Concentration des effets thermiques au point (5000m, 5000m)

Les figures 10-13 modélisent les menaces thermiques sur les régions avoisinantes, "Fig.10" illustre les différentes régions à des différents niveaux de surpression due à l'onde de pression du phénomène de Boilover, cette surpression a atteint 8psi sur un périmètre de 200 m (zone rouge) ce qui a provoqué la destruction des constructions de cette zone. Une zone orange où la surpression atteint 3.5 psi, cette zone est caractérisée par des atteintes sérieuses au niveau des biens. Alors que la zone jaune avait un taux de surpression égale à 1psi et à ce niveau les atteintes se limitent aux destructions des verres.

Le tableau suivant nous permet de faire une comparaison entre les résultats des simulations de la dispersion du polluant et les effets thermiques (Fig.6 et Fig.10) :

COMPARAISON ENTRE LES RESULTATS DE LA MODELISATION THERMIQUE ET LA DISPERSION DES POLLUANTS.

<i>scenario</i>	<i>Dispersion des polluants</i>	<i>Radiation thermiques</i>
<i>Menace modélisée</i>	<i>Toxicité</i>	<i>Effets thermique</i>
<i>Zone menacée « rouge »</i>	2500m	500 m
<i>Zone menacée « orange »</i>	5000 m	1100 m
<i>Zone menacée « jaune »</i>	6800 m	1800 m

ALOHA estime que la zone toxique en rouge présente le niveau de risque le plus élevé, elle s'étend principalement dans la direction de vent d'environ 2500 m, alors que la zone représentant les effets radiatifs se prolonge d'environ 500 mètres dans toutes les directions (diamètre de la boule de feu qui est à son top après 60 secondes) et un peu plus loin en aval. Cela nous permet de conclure que le vent joue un rôle dans les deux scénarios. La menace toxique se limite principalement à la région en aval de la sortie, et même si la menace rayonnement thermique se produit dans toutes les directions, il est trop décalé en aval du jet.

V. CONCLUSION

Le code FLUENT nous a permis de prédire l'apport thermique du à l'incendie. Ainsi que les vitesses de réaction. Ce type de modélisation nous permet de prendre en compte tous les paramètres du problème, mais en revanche il y a quelques problèmes qu'on a rencontrés lors de son application. Parmi ses problèmes on a :

- La limitation de la quantité de fuel qui rentre en réaction ; à ce niveau FLUENT considère que la source est continue alors qu'en réalité ce n'est pas le cas;
- En outre, malgré les progrès de l'informatique, les temps de calcul nécessaires à la réalisation de telles simulations restent rédhibitoires en raison de la taille des domaines physiques considérés. Simuler quelques minutes d'incendie peut, selon la complexité des modélisations retenues, nécessiter plusieurs jours de calcul, même sur une station de travail puissante;
- En plus on a pu remarquer que les profils de température schématisée sur les figures résultantes montrent que le modèle PDF(Probability Density Function) utilisé dans FLUENT donne des températures supérieures aux températures réelles obtenues, cette anomalie revient principalement aux conditions aux limites choisies ainsi qu'au combustible utilisé dans la simulation (Butane au lieu du brut léger);
- Pour les profils de vitesse au niveau de bac (Fig. B.1-B.4), FLUENT donne une valeur de la vitesse maximale atteinte très proche des valeurs observées.

Pour les simulations effectuées par ALOHA on a :

- Le calcul de la décroissance du débit de rejet au cours du temps (quelque soit le type de source : réservoir, longue conduite, flaque), puis valeur moyenne sur des pas de temps 60 minute;

- Le logiciel permet la visualisation de la décroissance du débit par pas de temps de moyenne d'une minute à une heure;
- Les valeurs de débit maximum du rejet estimées, sur la première minute, par ALOHA est de 300000 kg/mn pour une masse rejetée finale de 17000000kg;
- Ce logiciel estime la concentration du polluant jusqu'à des distances maximales de 10 km de la source du rejet et ce pendant une durée ne dépassant pas 60 minutes. Il est important de mentionner qu'à partir de distances de plus de 10 km ou d'une durée de temps de plus de 60 minutes, les résultats deviennent de plus en plus incertains en raison des conditions qui peuvent varier (ex. : stabilité atmosphérique, vitesse du vent, rugosité des surfaces);
- Ce modèle ne peut être utilisé lors des incidents impliquant des produits radioactifs ou pour modéliser des émissions atmosphériques continues;
- Il ne peut tenir compte des produits de dégradation suite à un incendie ou des réactions chimiques, des particules ou des produits chimiques en solution ou des mélanges de produits chimiques. Le logiciel ALOHA ne donne pas d'informations supplémentaires sur les caractéristiques du débit (fraction liquide,...).

En utilisant ces deux outils on a constaté que les résultats de la simulation sont dépendants d'un très grand nombre de paramètres de modélisation ajustables. L'accès libre à ces paramètres est un des avantages de ce logiciel. Cependant, on constate que les résultats produits peuvent être très sensibles aux valeurs fournies de ces paramètres voire à certains détails du scénario accidentel étudié. Or, même si l'utilisateur est expert, sa connaissance des valeurs et leur impact sur la modélisation du phénomène présente souvent une certaine incertitude. Ne pas maîtriser l'effet de ces incertitudes peut donc décrédibiliser les calculs des rayons de danger issus des études.

Les résultats finaux sont exprimés par l'empreinte au sol du panache des niveaux de concentrations. Le logiciel est peu convivial du point de vue de l'affichage des doses reçues, et de la vérification de la cohérence de celles-ci avec les concentrations. En effet l'utilisateur a accès aux résultats de doses uniquement point par point (en précisant la position du point par rapport à l'axe du vent, ou en pointant le curseur sur la fenêtre d'affichage de la trace au sol), ce qui nécessite d'itérer pour connaître les distances d'effets létaux et irréversibles.

En citant ces quelques points on peut conclure que la simulation numérique des incendies ne peut donc pas encore prétendre reproduire fidèlement toute la complexité d'un incendie réel.

#### REFERENCES

- [1] J. McMahon, F. Dodd, I. Taylor, H. Donegan, «Fire modelling – A postgraduate student's perception», Proceedings of the 6th International Fire Conference Interflam, 1993.
- [2] J. Benouraich, Y. Riviere, « Comparaison de méthodes d'analyse de risque en sécurité incendie », Centre Technique et Industriel de la Construction Métallique, rapport no 1006-4ST-REMY LES CHEVREUSE, 1986.
- [3] J. Bessis, « La probabilité et l'évaluation des risques », Masson, pp 132, Paris 1984.
- [4] M. Curtat, « Point sur les méthodes d'analyse de la sécurité incendie », Centre Scientifique et Technique du Bâtiment, pp225, Champs-sur-Marne, France, 1989.
- [5] M. SUZANNE, « Conditions d'utilisation de modèles numériques pour l'évaluation de scénarios de départ de feu dans un cadre d'investigation post-incendie », thèse de doctorat, Institut National des Sciences Appliquées de Rouen, novembre 2009.
- [6] T. Z. Harmaty, « Fire Severity: Basis of Fire Safety Design. In: Fire Safety of Concrete Structures », American Concrete Institute, SP-80, pp.115-149, 1983.
- [7] T. Z. Harmaty, « Fire Safety: Science and engineering », Philadelphia: ASTM, pp 432, 1985.
- [8] C.F. Baldassara, L.M. Romine, « An analytical approach to fire protection engineering », Building Design & Construction, pp 132-135, 1988.
- [9] G. Cox, S. Kumar, « SFPE Handbook of Fire Protection Engineering », Third edition, chapitre Modeling Enclosure Fires Using CFD, pp 3–194, 3–218, National Fire Protection Association, Quincy, 2002.
- [10] S. Desanghere, « Détermination des conditions d'échauffement de structure extérieure à un bâtiment en situation d'incendie », thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Rouen, septembre 2006.
- [11] C. T. Shaw, « Using Computational Fluids Dynamics » Prentice Hall, 1992.
- [12] S. Charles, « Conception d'un système expert pour l'étude de la sécurité incendie de bâtiments dans un contexte pluridisciplinaire », thèse de doctorat, Institut national des sciences appliquées de Lyon, 1992.
- [13] « Addendum to the FLUENT 5 User's Guide », Fluent, Incorporated, Lebanon, November 2000.
- [14] M. Antoine MOS « modèles phénoménologiques pour la simulation d'incendies en tunnel routier », thèse de doctorat, l'UNIVERSITÉ CLAUDE BERNARD – LYON I, septembre 2005.
- [15] « GAMBIT Command Reference Guide », Fluent, Incorporated, Lebanon, août 2000.
- [16] « ALOHA @ Areal Locations of Hazardous Atmospheres », User's Manual U.S. Environmental Protection Agency, National Oceanic And Atmospheric Administration, 2006.
- [17] [www.ofcm.gov/atd\\_dir/pdf/aloha.pdf](http://www.ofcm.gov/atd_dir/pdf/aloha.pdf)
- [18] R. Whitehead, S. Cochet, R. Bouda, R. Haddadji, M.S. Boussoualem, "Accident du 04 Octobre 2005 RTE "Bacs S106 & S105" ", Report, direction centrale HSE, SONATRACH. 2005.
- [19] [http://www.mem-algeria.org/actu/comn/pubt/HSE\\_info-2.pdf](http://www.mem-algeria.org/actu/comn/pubt/HSE_info-2.pdf)
- [20] K. Medrharhet, L. Benlatrech, « Evaluation des accidents industriels majeurs; cas de l'accident du Skikda 4 octobre 2005 », mémoire d'ingénieur, d'hygiène et sécurité industrielle, 2008.