

P0011/05A

République Algérienne démocratique et populaire
Ministre de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique
Ecole Nationale Polytechnique d'Alger
Département de Génie Mécanique



Mémoire de fin d'étude

Pour l'obtention du diplôme
d'ingénieur d'état en Mécanique

THEME

**Etude sur maquette de la propagation des fumées
d'incendie d'un local « source » vers un local « cible »
ventilé mécaniquement**

Encadré par :

Mr. Ph. BOURNOT
Mr. A. BOUHDJAR
Mr. B. BENKOUSSAS

Présenté par :

A. OUAREM

Réalisé sous la direction de Mr Philippe BOURNOT, au Centre inter universitaire de Mécanique et de technologie Mécanique UNIMECA – Université de la Méditerranée – Aix-Marseille II, Marseille.

Promotion septembre – 2005

هذا العمل دراسة تجريبية لانتشار دخان حريق من غرفة مصدر الى غرفة هدف تحتوي على تهوية ميكانيكية على نمونجين، حراري و لا حراري بقياس السرعة بطرق بصرية و بقياس درجة الحرارة من اجل وصف و فهم جريان الدخان بين الغرفتين.

كلمات مفتاحية: دخان, نار , انتشار, حريق

Abstract

This work presents an experimental study of the propagation of the fume of fire of a room source towards a target room ventilated mechanically on two models, thermic and adiabatic in reduced scale, by velocity measurements with an optical methods and temperature measurements, in order to describe and to understand the movement of the fume between these two buildings.

Key words: fume, flame, propagation, fire

Résumé

Ce travail présente une étude expérimentale de la propagation des fumées d'incendie d'un local source vers un local cible ventilé mécaniquement sur deux maquettes, thermique et adiabatique à échelle réduits par des mesures de vitesse par des méthodes optiques et des mesures de températures, afin de décrire et de comprendre le mouvement des fumées entre ces deux locaux.

Mots clés : fumée, flamme, propagation, incendie

Remerciements

Je remercie en premier lieu dieu qui m'a aidé à terminer ce travail, et d'avoir plus de connaissances

J'adresse mes sincères remerciements à Monsieur Ph.Bournot pour m'avoir accueillis au sein de l'UNIMECA, et pour m'avoir permis de réaliser ce stage dans de si bonnes conditions. Je le remercie pour ses conseils, l'encadrement dont j'ai bénéficié et la confiance qu'il m'a accordée. Je remercie également Monsieur A.Bouhdjar et Monsieur B. Benkoussas pour m'avoir sélectionné pour ce stage.

Je remercie Monsieur O. Vauquelin pour son aide et son expérience dont il m'a fait profiter lors des simulations d'incendie et pour ses conseils avisés.

Enfin, je remercie tous les enseignants de membre de jury, et tous mes enseignants et toutes les personnes qui m'ont aidés à mener à bien ce travail.

Résumé

Ce travail présente une étude expérimentale de la propagation des flammes d'un liquide source vers un local cible ventilé mécaniquement. Les mesures de température à échelle réduite par des sondes de vitesse font des méthodes optiques et des mesures de températures, afin de décrire et de comprendre le mouvement des flammes dans les deux locaux.

Mots clés : flammes, flamme, propagation, incendie.

6 Nomenclature

7 1. Introduction

DEDICACES

8 2. Propagation du feu

9 2.1 Les trois phases d'incendie

10 2.2 Les feux confinés

10 2.3 Les feux de bas



11 3. La flamme

12 4. Modes de propagation des fumées

Je dédie ce travail

13 4.1 La diffusion de masse

13 4.2 Le mélange

13 4.3 La dispersion

A:

14 5. Description du dispositif réel

16 6. Similitude entre maquette réelle et maquette expérimentale

Ma chère maman, mon père et mes frères

16 6.1 Simulation des fumées par l'injection d'un mélange gazeux

16 6.2 Stratégie

A toute ma famille, et à tous ceux qui m'aiment

17 6.3 Règles de similitude

20 7. Mesures et instrumentation

20 7.1 Mesure de vitesse par les méthodes optiques

20 7.2 Mesure de concentration

Abdelouahab

28 7.3 Mesure de température : les thermocouples

29 8. Etude du feu dans un local confiné et ventilé

29 8.1 Description de la maquette thermique

30 8.2 Expérimentation

31 8.2.1 Essai sur un local semi confiné

32 8.2.2 Essai sur un local avec et sans toit et sans ventilation

34 8.2.3 Essai sur un local totalement fermé sans ventilation

36 8.2.4 Essai sur un local totalement fermé avec ventilation

43 8.2.5 Essai sur un local totalement fermé avec ventilation déviée

47 8.3 La température au plafond pour différentes puissances de feu

50 8.4 Simulation numérique sur FDS (Fire Dynamics Simulator)

57 8.5 Récapitulatif

59 9. La propagation des fumées sur la maquette adiabatique

59 9.1 Description de la maquette adiabatique

60 9.2 Vérification par tomographie

63 9.3 Mesure LDV réalisée sur la probe

Nomenclature	6
1. Introduction	7
2. Propagation du feu	9
2.1 Les trois phases d'incendie	9
2.2 Les feux confinés	10
2.3 Les feux de bac	10
3. La flamme	11
4. Modes de propagation des fumées	13
4.1 La diffusion de matière	13
4.2 Le mélange	13
4.3 La dispersion	13
5. Description du dispositif réel	14
6. Similitude entre maquette réelle et maquette expérimentale	16
6.1 Simulation des fumées par l'injection d'un mélange gazeux	16
6.2 Système d'ensemencement du mélange gazeux	16
6.3 Règles de similitude	17
7. Mesures et instrumentation	20
7.1 Mesure de vitesse par les méthodes optiques	20
7.2 Mesure e concentration	28
7.3 Mesure de température : les thermocouples	28
8. Etude du feu dans un local confiné et ventilé	29
8.1 Description de la maquette thermique	29
8.2 Expérimentation	30
8.2.1 Essai sur un local semi confiné	31
8.2.2 Essai sur un local avec et sans toit et sans ventilation	32
8.2.3 Essai sur un local totalement fermé sans ventilation	34
8.2.4 Essai sur un local totalement fermé avec ventilation	36
8.2.5 Essai sur un local totalement fermé avec ventilation déviée	43
8.3 La température au plafond pour différentes puissances du feu	47
8.4 Simulation numérique sur FDS (Fire Dynamics Simulator)	52
8.5 Récapitulatif	57
9. La propagation des fumées sur la maquette adiabatique	59
9.1 Description de la maquette adiabatique	59
9.2 Visualisation par tomographie	60
9.3 Mesure LDV réalisés sur la prote	63

9.4 Mesures de vitesse au niveau de la porte par PIV..... 64

9.5 Mesure de concentration 68

9.6 Simulation numérique sur FDS..... 71

9.7 Comparaison entre les résultats de PIV, LDV et FDS 74

10. Conclusion..... 75

11. Perspectives 76

12. Références bibliographiques 77

13. Annexes 78

Nomenclature

- C_p : est la chaleur spécifique de l'air : $C_p = 1 \text{ KJ/Kg.K}$;
 D : Diamètre du faisceau Laser incident
 D_s : Distance entre les deux faisceaux sortant du front de la lentille.
 D_i : coefficient de diffusion de l'élément 'i' ;
 H : est la hauteur du plafond (m)
 K : énergie cinétique du mouvement turbulent [m^2/s^2]
 N : Nombre des franges
 P : Puissance de l'incendie [W]
 \dot{Q}_c : est la puissance du feu en KW
 Q_v : est le débit volumique d'hélium en m^3/s pour avoir la puissance \dot{Q}_c
 T : température ;
 T_e : Température équivalente du mélange ($^{\circ}\text{C}$).
 T_0 : Température ambiante de l'air (25°C)
 Y_1 : la fraction massique de l'élément 'i' ;
- d : Longueur de référence
 f : le vecteur des forces extérieures ;
 \bar{f} : est la fréquence du faisceau incident couplé avec la fréquence de l'onde acoustique.
 f_i : distance focale de la lentille convergente.
 g : La gravité
 h : l'enthalpie par unité de masse
 h_p : l'enthalpie par unité de masse de l'élément 'i'
 k : la conductivité thermique
 m''_1 : le débit massique par unité de volume ;
 n : Indice de réfraction du milieu
 q_r : le flux radiatif ;
 u : Vitesse de référence
- θ : Angle entre les deux faisceaux
 ν : La viscosité cinématique
 μ : La viscosité dynamique
 λ : Conductivité thermique.
 ρ : est la masse volumique de l'air est égale à $1,2 \text{ Kg/m}^3$;
 τ : le tenseur de contrainte visqueuses
- ρ : la masse volumique ;
 ρ_0 : Densité de l'air (1.225 kg/m^3)
 ρ_M : Densité du mélange (Kg/m^3)

المدرسة الوطنية المتعددة التقنيات
المكتبة — BIBLIOTHEQUE
Ecole Nationale Polytechnique

INTRODUCTION GENERALE

1. Introduction générale

S'inscrivant dans le cadre du programme de recherche PRISME-SOURCE de l'IRSN : (Institut de Radioprotection et de Sécurité Nucléaire) de Cadarache, notre projet de fin d'étude réalisé à l'institut UNIMECA de l'université de la méditerranée de Marseille a pour objet de modéliser expérimentalement la propagation des fumées d'incendie d'un local « Source » vers un local « Cible » ventilé. Le programme PRISME a pour objectif d'une part, de comprendre les mécanismes de propagation d'un incendie pour des scénarios multi-locaux élémentaires, et d'autre part, de décrire et de quantifier les mécanismes de propagation des fumées et de la chaleur d'un local source vers un ou des locaux adjacents.

L'objectif général de notre étude est donc de comprendre, de décrire et de quantifier les fluides et les mécanismes de propagation de fumées dans un local CIBLE ventilé mécaniquement lorsqu'un incendie se déclare dans un local SOURCE voisin. Cette étude sera faite sur une maquette réduite par rapport au dispositif opérationnel qui se trouve à l'IRSN à Cadarache. Pour bien mettre en évidence le problème, cette étude est réalisée sur deux maquettes, une maquette thermique (avec présence d'un feu généré par la combustion de Tétrahydrofur : TPH) à échelle 1/5, et une autre adiabatique à échelle 1/20.

Dans une première partie de l'étude réalisée sur la maquette thermique, on détermine les profils de températures et de vitesses sur la flamme, ainsi que des contrôles de pression à l'intérieur du local considéré, analyser la perte de masse du combustible utilisé (TPH) ainsi que d'effectuer des visualisations par Tomographie Laser. Dans une seconde partie, on caractérise le mouvement du panache de fumée simulé par un mélange isotherme d'air et d'hélium réalisé sur la maquette adiabatique, par des mesures de vitesses à l'aide des techniques de vélocimétrie optique (LDV et PIV), et de mesures de concentrations ainsi que des visualisations Laser.

Différents scénarios d'incendie sont à étudier selon la puissance du feu, le mode de transfert, la position de la bouche d'injection et le temps de renouvellement d'air dans le local cible.

Le rapport de cette étude se compose des éléments suivants :

- Généralités sur les incendies et les feux confinés.
- Présentation et description du dispositif réel.
- Etude du comportement du feu dans le local source, qui regroupe :
 - Une description de la maquette
 - Les configurations d'essais
 - Une présentation des résultats expérimentaux
 - Simulation numérique sur FDS

- Etude de la propagation de fumées d'incendie d'un local source vers un local cible ventilé où sont regroupés les thèmes suivants :

- Description de la maquette
- Les configurations d'essais
- Présentation des résultats expérimentaux
- Simulation numérique sur FDS (le mode porte)
- Conclusion

L'objectif général de notre étude est donc de comprendre le lien entre les conditions de l'essai et les résultats de propagation de fumées dans un local cible ventilé. Les études et les expérimentations de propagation de fumées dans un local cible ventilé sont effectuées dans un local source ventilé. Les résultats de ces études sont présentés dans le rapport de l'essai. Les résultats de ces études sont présentés dans le rapport de l'essai. Les résultats de ces études sont présentés dans le rapport de l'essai.

Dans une première partie de l'étude réalisée sur la maquette simplifiée, on déterminera les profils de températures et de vitesses sur la flamme, ainsi que les conditions de l'essai. L'objectif de cette étude est de déterminer la perte de masse du combustible ainsi que la puissance de la flamme. Les résultats de ces études sont présentés dans le rapport de l'essai. Les résultats de ces études sont présentés dans le rapport de l'essai.

Différents scénarios d'essai sont à étudier selon la puissance de la flamme. On étudiera la position de la bouche d'aspiration et le temps de retour à la normale du local cible.

Le rapport de cette étude se compose des éléments suivants :

- * Conclusions sur les incendies et les tests réalisés.
- * Présentation et description du dispositif réel.
- * Étude du comportement du feu dans le local source, pour différents :
- Une description de la maquette
- Les configurations d'essais
- La présentation des résultats expérimentaux
- Simulation numérique sur FDS

LA PROPAGATION DU FEU

2. Propagation du feu

2.1 Les trois phases de l'incendie

D'une manière générale, un feu passe par les phases suivantes : allumage suivi soit d'une combustion lente ou directement d'une combustion vive, émission de flammes, développement du foyer d'incendie, embrasement et extinction ou épuisement du combustible. Le passage par ces états plus ou moins successifs est lié à la quantité et au type de combustible ainsi qu'à l'apport d'oxygène.

On peut diviser en trois phases le déroulement d'un incendie dans un milieu clos. Toutefois, en situation réelle le caractère aléatoire de l'incendie ne fait pas intervenir nécessairement ces trois phases, explicitées ci-dessous :

Phase 1 : Le feu est dit naissant ou couvant, et la teneur en oxygène dans l'atmosphère ambiante reste voisine de 21%. Cette phase s'applique aux combustibles solides dont l'ignition est amorcée par une source de chaleur. Le feu peut couvrir pendant quelques minutes, voire plusieurs heures avant l'émission de flamme. Le combustible se consume lentement et la production de chaleur est faible contrairement au dégagement de fumée qui peut être considérable. Les gaz chauds s'élèvent dans le milieu environnant et une grande quantité de chaleur est perdue par transfert avec l'air frais et les matériaux froids (parois, obstacles). La consommation d'oxygène reste limitée. Seuls les matériaux situés du foyer sont altérés et les organes les plus importants à la fumée.

Phase 2 : C'est l'apparition de flammes qui caractérise ce changement, accompagnée d'une consommation accrue du combustible et d'un dégagement important de chaleur. La teneur en oxygène dans l'atmosphère varie alors entre 15 et 21 %. L'augmentation du volume des flammes entraîne la formation d'un fort courant de convection dans le milieu ambiant, accélérés par l'apport d'air frais et de l'oxygène provenant de tout l'espace environnant. Durant cette période, l'atmosphère se réchauffe. En milieu clos ou faiblement aéré, le taux d'expansion du volume interne à l'ouvrage pourrait devenir supérieur à son taux de fuite (peu ou pas de courant d'air, ouverture trop éloignées du foyer) et l'augmentation de la pression interne pourrait générer des phénomènes explosifs.

Phase 3 : Le feu est 'incandescent' et la teneur en oxygène est alors inférieure à 15 %. Dans cette phase, critique pour les usagers, le taux de production de chaleur décroît, causant la diminution de la température au plafond. La chaleur est absorbée par les parois de l'ouvrage et les matériaux solides environnants. Néanmoins, l'efficacité de cette déperdition est limitée par les caractéristiques isolantes des parois de l'ouvrage et peut entraîner une dépression interne par rapport à l'extérieur. En fait, les matériaux incandescents dégagent de la fumée et des vapeurs de décomposition sous l'action de la chaleur. Le mélange, ainsi formé dans l'atmosphère, est tel qu'un apport brutal d'oxygène suffirait à provoquer une explosion de fumée (flash-over) très dommageable à la structure de l'ouvrage.

2.2 Les feux confinés

Le feu se transmet sous l'action des échanges par transfert de chaleur qui agissent séparément ou simultanément: rayonnement, convection, conduction.

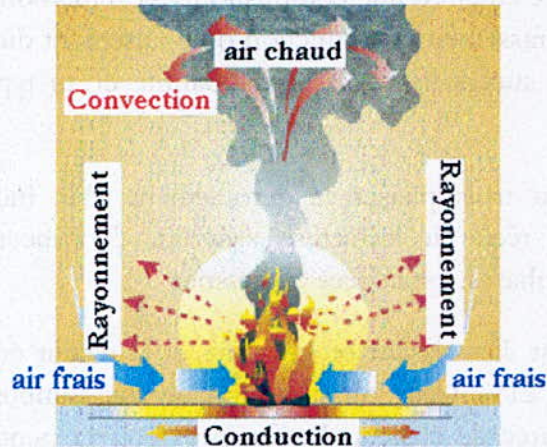


Figure 2.1 : Les effets thermiques présent autour d'une flamme

Un feu confiné se produit généralement sans production de flammes. Dans les scénarios d'incendie généralisé (scénarios enveloppes), la surface au sol couverte par les flammes est généralement assimilée, dans les modélisations des études de danger, à la surface totale de la cellule affectée par un incendie. Certes, cette hypothèse est intuitivement majorante dans certains cas de feux de solides mais elle permet de prendre en compte l'éventuelle chute d'objets et de produits depuis les zones dédiées au stockage. Par ailleurs, il n'est pas exclu que les racks éventuels s'effondrent sous l'effet de la chaleur de l'incendie et qu'ainsi, la totalité des produits brûlent au sol. Dans une telle hypothèse, le feu peut alors être assimilé à un feu de nappe d'une surface égale à la surface totale de l'entrepôt. Ceci est encore plus vrai lorsque le stockage contient des liquides combustibles ou des solides liquéfiables combustibles.

2.3 Les feux de bac

Profils de concentration, de vitesse et de température dans le panache :

Morton (1965) a développé un modèle théorique pour la distribution de température [8], le profil de vitesse et le profil du panache (concentration). Ces relations ont été améliorées par Heskestad (1984) grâce à des travaux expérimentaux. Les mesures de Heskestad effectuées sur des panaches de feux en laboratoire, lui ont permis de calculer les coefficients numériques pour les relations de Morton. Il obtint ainsi :

$$b_{\Delta T} = 0.12(T_0 / T_a)^{1/2} (z - z_v) \quad (1)$$

$$\Delta T_0 = 9.1 \left[T_a / (g C_p^2 \rho_a^2) \right]^{1/3} Q_c^{2/3} (z - z_v)^{-5/3} \quad (2)$$

$$u_0 = 3.4 \left[g / (C_p \rho_a T_a) \right]^{1/3} Q_c^{1/3} (z - z_v)^{-1/3} \quad (3)$$

Ici, l'indice « 0 » indique le centre du panache (supposé axisymétrique), et les symboles affectés de l'indice « a » désignent une propriété du fluide ambiant. $b\Delta T$ est le rayon du panache où l'augmentation de la température vaut $1/2\Delta T_0$. ΔT_0 et T_0 sont respectivement l'élévation de température et la température au centre du panache. u_0 est la vitesse centrale du fluide. z_v est la hauteur virtuelle de la source.

Ces dernières relations ne sont valides qu'à partir de la hauteur de flamme. *George et al.* (1977) ont calculé les coefficients précédents, à partir de mesures expérimentales sur un panache thermique (non réactif et dominé par les effets de flottabilité) émis par une buse. Il ont obtenu les coefficients : 0.104 pour $b\Delta T$, 9.1 pour ΔT_0 et 3.4 pour u_0 . Plus récemment, *Papanicolaou & List* (1988), *Shabbir & George* (1994), *Dai et al.* (1994) ont obtenu des résultats similaires. Ainsi, nous pouvons en déduire que le comportement d'un panache thermique émis par un feu et émis par une buse peut être décrit par le même modèle, à la condition que le panache soit dominé par les forces de flottabilité.

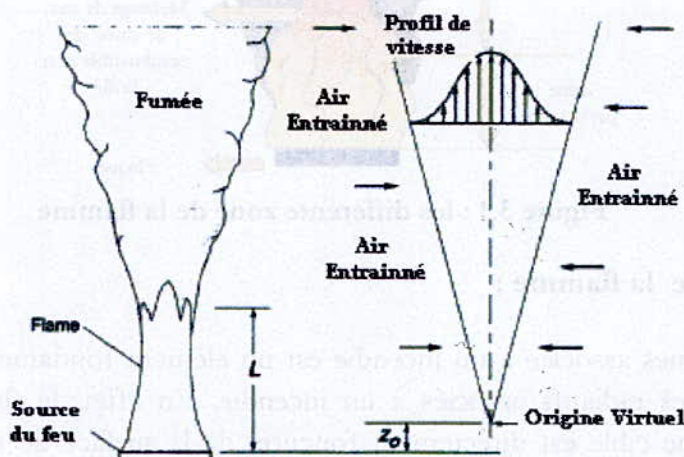


Figure 2.2 : panache de fumées [8]

3. La flamme :

Les flammes sont définies comme la zone où la combustion a eu lieu. Pour les combustibles liquides, les vapeurs inflammables sont émises par évaporation de la phase liquide. Pour les combustibles solides, un processus plus complexe mettant en jeu notamment des réactions de décomposition, fusion ou pyrolyse est indispensable à l'émission de gaz ou distillats inflammables. La combustion a ainsi lieu en phase gazeuse dans la zone qualifiée de « flamme ». Une partie de l'énergie libérée par l'exothermicité de la réaction de combustion est cédée (rétrocession d'énergie) au combustible, entretenant ainsi l'émission de gaz inflammables.

La flamme est définie comme la zone où a lieu la combustion en phase gazeuse. La flamme peut ainsi être assimilée à un volume de gaz (CO_2 , H_2O , O_2 ...), de combustible non brûlé et de suies résultant d'une combustion incomplète. Elle correspond sensiblement à la partie lumineuse de la zone de combustion. De manière simple, une flamme est composée essentiellement de trois parties :

- En partie basse, une zone dite « persistante » de géométrie quasi constante dans le temps et l'espace. Cette zone se distingue par des températures particulièrement élevées et en conséquence, un pouvoir émissif important.
- Dans le reste de la partie lumineuse, une zone qualifiée « d'intermittente » pour laquelle la position et la géométrie de la flamme varient fortement au cours du temps. Les températures associées sont sensiblement inférieures aux températures de la zone persistante,
- En partie haute, la zone des fumées constituées des produits issus de la combustion.

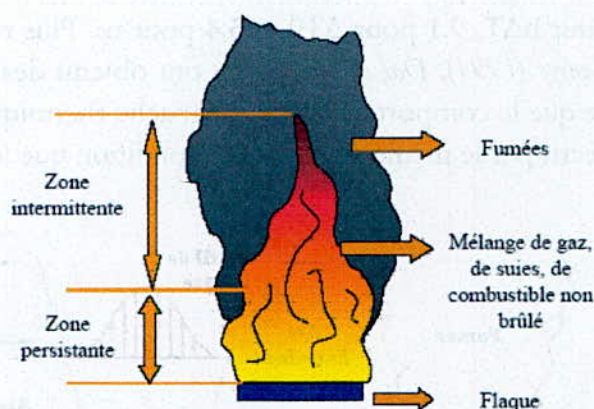


Figure 3.1 : les différentes zones de la flamme

La Hauteur de la flamme :

La hauteur de flammes associée à un incendie est un élément fondamental de la modélisation des effets thermiques radiatifs associés à un incendie. En effet, le flux thermique reçu par rayonnement par une cible est directement fonction de la surface de flamme à laquelle cette cible est exposée. C'est également l'un des paramètres les plus difficiles à évaluer.

Pour ce faire, il existe quelques corrélations empiriques qui ont été développées à partir d'essais. La plupart de ces corrélations possèdent un domaine de validité réduit, que ce soit en terme de taille du feu ou de nature des produits combustibles (l'état de l'art ne dit rien ou presque sur les feux de solides autres que le bois). Quelle que soit la corrélation choisie, la hauteur de flamme est fonction notamment du débit de masse surfacique ou taux de combustion. Ce paramètre, s'il est facile à appréhender pour un feu de nappe type hydrocarbures, est d'une signification beaucoup plus délicate pour des stockages fragmentés. Pour un certain nombre de produits des valeurs de taux de combustion peuvent se trouver dans la littérature.

Par ailleurs, dans le cas où ce taux de combustion est totalement inconnu ou si l'hypothèse selon laquelle les produits se retrouvent éparpillés au sol n'est pas justifiée, il peut être nécessaire de fixer a priori les hauteurs de flammes à partir d'observations, d'essais ou par retour d'expérience. La hauteur de flamme est définie comme la hauteur à laquelle le mélange de gaz n'est plus réactif. Heskestad (1983) [8] a corrélé plusieurs données relatives à la hauteur de

flamme pour différents combustibles et pour différents diamètres de source et a obtenu la relation suivante:

$$\frac{L}{D} = -1.02 + 0.235 \cdot \frac{\dot{Q}^{2/5}}{D} \quad (4)$$

3. Modes de propagation des fumées

Le mouvement de propagation des fumées est un mouvement purement turbulent, caractérisé par l'in stationnarité et l'instabilité, généré par l'intervention de plusieurs phénomènes tel que la diffusion, la dispersion où bien le mélange.

4.1 La diffusion de matière

Le phénomène de diffusion correspond à un transport irréversible de matière : Il y a un courant de matière. Elle existe dans les milieux où il existe des inhomogénéités de concentration des particules, c'est à dire la présence d'un gradient de concentration. Ces inhomogénéités qui rendent le système hors d'équilibre, peuvent être transitoires, et ne durent que le temps nécessaire pour le système pour retrouver l'équilibre. Le phénomène de diffusion est associé au transport d'une propriété, par des écarts de vitesses entre la valeur locale instantanée et une certaine valeur moyenne.

La théorie cinétique des gaz, permet de donner une approximation du coefficient de diffusion par :

$$D = \frac{\alpha}{2} \sqrt{\frac{4 k^3}{m \pi^3}} \frac{T \sqrt{T}}{P}$$

avec $\alpha = 0.499$

4.2 Le mélange

Le mélange, d'une vue qualitative, représente la diffusion turbulente, qui est un activateur de la diffusion moléculaire. Cette dernière, est remarquée par exemple dans un liquide, contenant un marqueur, où après un certain temps l'interface séparant les deux phases va s'étendre.

La présence d'une agitation turbulente permet l'apparition de digitation sur l'interface, qui caractérise la distorsion de la surface. Cette extension de l'aire d'échange qui à travers les gradients locaux multiplie l'action de la diffusion par agitation moléculaire. Quantitativement, l'intensification du mélange par la turbulence peut être mesurée par sa répercussion sur le profil de vitesse.

4.3 La dispersion

La dispersion est caractérisée par la diversité du mouvement, elle peut être vue comme la variation de la position de N particules marquées, émises à différents instants. D'autre part, si un couple de particules, distant de 'y' à un instant initial, alors le caractère turbulent se manifeste par l'accroissement en moyenne de cet écart avec le temps.

5. Description du dispositif réel

Le dispositif est constitué de deux locaux semblables de forme parallélépipédique : le local SOURCE (dans lequel l'incendie se déclare) et le local CIBLE. Ces deux locaux peuvent échanger masse et /ou chaleur par une porte de communication ouverte entre les deux locaux (mode PORTE) ou par une gaine de ventilation (mode GAINE) débouchant en partie haute dans le local CIBLE, après que l'air qui y circule ait été réchauffé dans le local SOURCE.

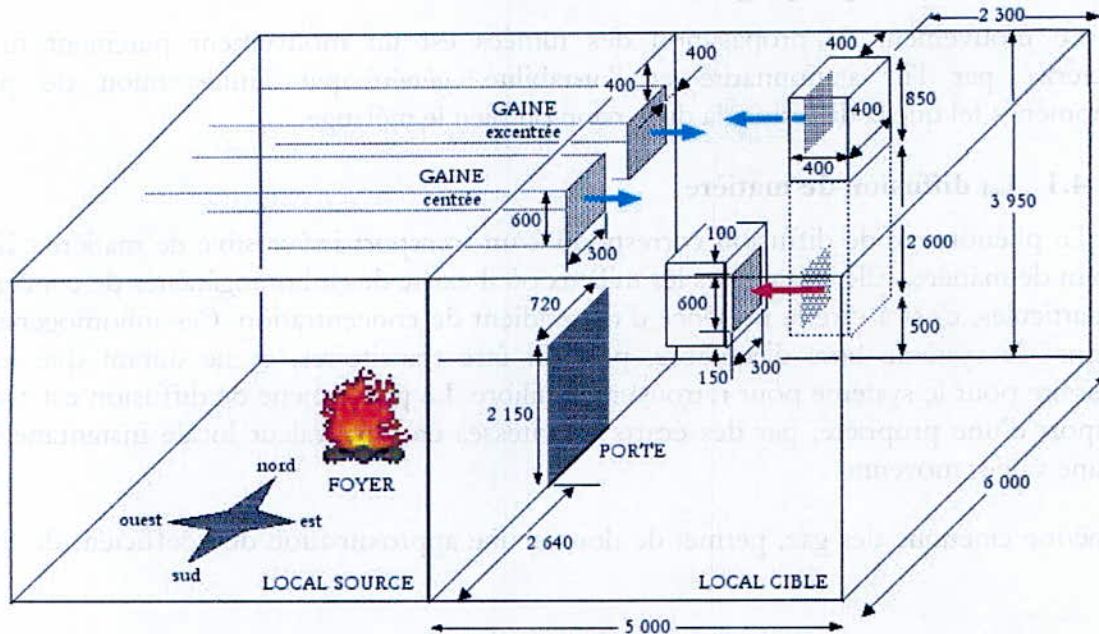


Figure 2.1 : Vue en perspective du dispositif opérationnel à Cadarache

Quelque soit le mode de transfert (PORTE ou GAINE) et qu'il y ait présence ou non d'un feu dans le local SOURCE, le local CIBLE est ventilé en continu par une extraction et une injection équivalente de façon à assurer un renouvellement d'air. L'extraction est réalisée par une bouche située au sud en partie haute alors que l'injection peut être assurée par une gaine (centrée ou excentrée sur la paroi ouest du local CIBLE) et/ou par une bouche située au nord en partie haute ou en partie basse. On définit le taux de renouvellement TR du local (exprimé en h⁻¹) par la relation suivante :

$$TR = 3600 \frac{\text{débit extrait}}{\text{volume du local}} = 3600 \frac{\text{débit injecté}}{\text{volume de local}} \quad (6)$$

Le volume du local étant de 120 m³ environ, les débits volumiques d'extraction et d'injection dans le local seront donc donnés, en fonction du temps de renouvellement TR par :

$$q_{ext} = q_{inj} = \frac{TR}{30} \quad (7)$$

La section des gaines et des bouches sont identiques, rectangulaire et de surface de 0,18 m² avec un taux d'encombrement (grillage) estimé à 20%, soit donc une section de à 0,144 m². Les gaines débouchent directement sur la paroi ouest du local CIBLE alors que les

bouches sont découpées sur des colonnes dont les dimensions et la position sont précisées sur la figure.

Pour les différents modes de transfert, les régimes de ventilation envisagés sont les suivants :

	Débit extrait par la bouche q_{ext}	Débit injecté par la bouche q_{inj}	Débit injecté par la gaine q_{gaine}
Mode PORTE	TR/30	TR/30	0
Mode GAINÉ centrée	TR/30	TR/60	$\beta \cdot TR/30$
Mode GAINÉ excentrée	TR/30	0	$\beta \cdot TR/30$

Remarque :

Le coefficient β apparaissant dans ce tableau est égal à 1 en régime de fonctionnement normal, c'est-à-dire sans incendie. En régime incendie, l'air est chauffé et dilaté dans la gaine. La conservation du débit massique montre alors que le coefficient β correspond simplement au rapport $\rho_{air} / \rho_{gaine}$ entre la masse volumique de l'air à la température ambiante et la masse volumique de l'air chauffé en sortie de la gaine. La valeur de ρ_{gaine} (ou T_{gaine}) dépend de la puissance Q du feu dans le local SOURCE. Cette puissance est directement liée à la taille du bac de carburant.

En récapitulatif, les principaux paramètres du problème sont :

- Le mode de transfert : P (PORTE), GC (GAINÉ centrée) et GE (GAINÉ excentrée) ;
- La position de la bouche d'injection : haute () ou basse (*) ;
- Le taux de renouvellement TR du local CIBLE (compris entre 1 et 10) ;
- La puissance du feu Q (comprise entre 0 et 500 KW).

Les configurations d'essais seront référencées par le mode de transfert (étoilé ou non suivant la position de la bouche d'injection), la valeur du taux de renouvellement et la valeur de la puissance du feu (Kw). Par exemple, en mode porte avec une bouche d'injection en partie basse, un taux de renouvellement de 3 et une puissance de 10 KW, on notera : **P*/TR3/Q10**.

Les simulations expérimentales seront réalisées sur des maquettes à l'échelle réduites (1/20 et 1/5). Les fumées produites par l'incendie ou les gaz chauds issus de la gaine seront représentés par une injection d'air et d'hélium dont la masse volumique et le débit seront ajustés en fonction de la puissance à reproduire.

6. Similitude entre maquette réelle et maquette expérimentale

On fait souvent appel dans les simulations d'incendie aux appellations maquette thermique et maquette adiabatique, du fait qu'on reproduit ou non les effets thermiques existant lors de la présence d'un foyer.

La production d'incendie sur maquette nécessite de grands moyens de réalisation, les limitations du coût des procédés nous laisse chercher les moyens les plus simples qui mettent en œuvre le phénomène. Pour cela, on se base sur des analogies permettant de reproduire efficacement le phénomène mais dans d'autres conditions d'environnement, et qui reproduisent les mêmes effets.

Ces analogies sont liées au modèle réel par les notions de similitudes, qui introduisent les nombres adimensionnels gouvernants dans le phénomène.

Plusieurs techniques de simulations d'incendie existent, parmi elle celle qui utilisent un mélange de saumure (eau salé) pour représenter les produits dégagés par le foyer, où bien par le rejet d'eau chaude. D'autres techniques se basent sur l'utilisation de résistance thermique qui permet de générer un panache thermique. Ces techniques sont limitées par la puissance de l'incendie simulé. En plus, elles nécessitent des installations spéciales, comme l'installation de retraitement d'eau, et qui représente des coûts élevés.

6.1 Simulation des fumées par l'injection d'un mélange gazeux :

La reproduction des fumées d'un incendie par le rejet d'un fluide de faible masse volumique dans un espace où règne un autre fluide de masse volumique plus élevée constitue ce qu'on appelle une analogie hydraulique.

Les écarts de température entre les fumées chaudes et l'air ambiant peuvent être représenté par le rejet d'un mélange de gaz léger dans l'ambiance, afin de reproduire l'écart des densités.

L'hélium caractérisé par une faible masse volumique correspond à la masse volumique de l'air à une température approximative de 1500 °C, ce qui offre l'avantage de balayer une grande plage de puissance de feu. L'hélium est facilement stockable et largement distribué, de plus, il permet de réaliser des expériences relativement longues. Les effets de transfert de chaleur par rayonnement ne sont pas représentés par l'utilisation d'un tel mélange. De plus la mise en œuvre d'une telle technique ne nécessite pas d'introduire d'isolation ou des matériaux ayant une bonne réaction à la chaleur.

Cependant, il est possible de prendre en compte les pertes de chaleur radiatives au foyer sous forme d'un coefficient empirique.

6.2 Système d'ensemencement du mélange gazeux :

La reproduction des fumées sur la maquette adiabatique à partir du mélange incolore d'air et d'hélium nécessite un ensemencement qui se fait par l'introduction de particules fines visibles comme traceurs dans l'écoulement.

Le choix de la technique d'ensemencement repose sur le fait qu'on doit conserver les caractéristiques initiales du jet seul, en d'autres termes, pour éviter d'engendrer des débits supplémentaires. L'ensemencement du mélange gazeux dans notre cas se fait par l'injection de fumées blanches, composées de sels d'ammonium obtenus par une réaction acide-base (HCl et ammoniac).

6.3 Règles de similitude

La simulation d'incendie en milieu confiné à grande échelle n'est pas idéale, pouvant générer des dégradations importantes sur l'ouvrage en raison des fortes températures et posant des problèmes de toxicité des produits de combustion pour les participants. De plus, l'instrumentation n'est pas aisée. Pour ces raisons, l'usage est d'employer des modèles physiques intrinsèquement liés à la notion de similitude. Le modèle physique peut être soit une réduction à échelle réduite du problème d'intérêt, soit une analogie physique et bien souvent les deux à la fois.

L'analogie physique concerne la reproduction du phénomène sur un autre modèle, tout en respectant qu'il soit gouverné par les mêmes équations. L'étude de la propagation de la fumée fait intervenir une analogie aérodynamique : le panache thermique produit par les fumées chaudes générées par un incendie est reproduit à partir d'un mélange léger d'air et d'hélium à la température ambiante (Panache massique).

Le modèle physique qui a été retenu dans cette étude, fait intervenir à la fois une réduction d'échelle (au 1 :20^{ème} et 1 :5^{ème}) et une analogie aérodynamique.

Pour garantir la transposition des résultats à la réalité, les principes de similitude conduisent à respecter certains nombres adimensionnels. Le choix du modèle physique décrit précédemment nécessite de distinguer deux types de similitude : la similitude géométrique (1) traduisant la réduction d'échelle, et la similitude thermique-massique (2) relative à la modélisation des fumées chaudes par un mélange de gaz légers à la température ambiante.

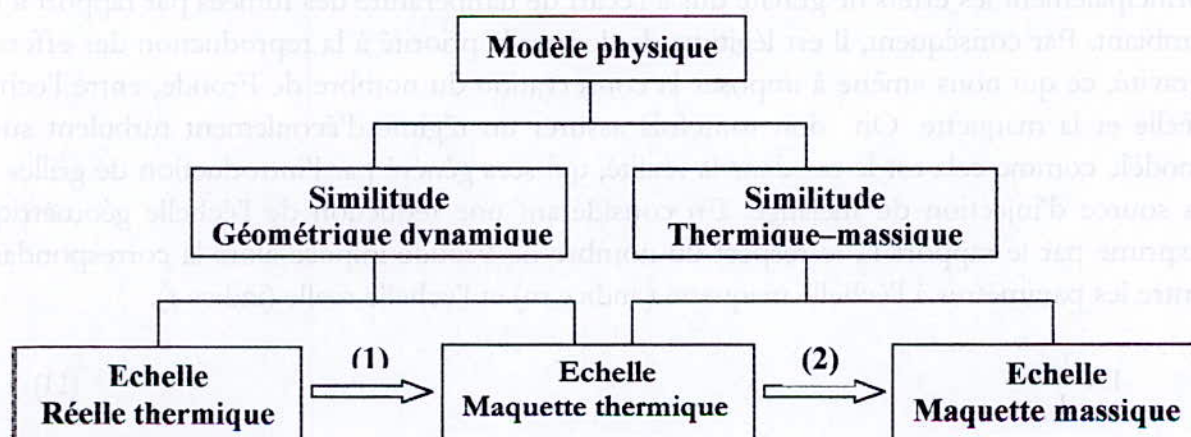


Figure 6.1 : Règles de similitude

6.3.1 La similitude géométrique dynamique :

La simulation du phénomène physique est fonction de l'échelle de la maquette du fait que la maquette expérimentale et le dispositif réel sont à échelles différentes : l'échelle 1/5 est adapté pour la maquette thermique et 1/20 pour la maquette adiabatique, ce qui nous amène à introduire les règles de similitude géométrique.

L'adimensionnement des équations générales amène à la conservation de trois groupements sans dimension :

- **Le nombre de Reynolds :**

Il caractérise le régime de l'écoulement, il représente le apport des forces d'inertie sur les forces de viscosités.

$$Re = \frac{ud}{\nu} \quad (8)$$

- **Le nombre de Froude :**

Il représente le rapport des forces d'inertie sur les forces de gravité. (il caractérise aussi le rapport de l'énergie cinétique sur l'énergie potentielle).

$$Fr = \frac{u^2}{gd} \quad (9)$$

- **Le nombre de Prandtl :**

Il représente le rapport de la diffusion thermique par rapport à la diffusion de la quantité de mouvement.

$$Pr = \frac{\mu C_p}{\lambda} \quad (10)$$

Dans le problème d'incendie dans des locaux, l'objectif est de contrôler la propagation et la stratification des fumées. Les forces qui gouvernent ces phénomènes sont principalement les effets de gravité dus à l'écart de température des fumées par rapport à l'air ambiant. Par conséquent, il est légitime de donner la priorité à la reproduction des effets de gravité, ce qui nous amène à imposer la conservation du nombre de Froude, entre l'échelle réelle et la maquette. On doit toutefois assurer un régime d'écoulement turbulent sur le modèle comme cela est le cas dans la réalité, qui sera généré par l'introduction de grilles sur la source d'injection du mélange. En considérant une réduction de l'échelle géométrique, exprimé par le rapport L, le respect du nombre de Froude impose alors la correspondance entre les paramètres à l'échelle maquette (indice m) et l'échelle réelle (indice r).

$$L = \frac{L_m}{L_r} \quad (11)$$

$$u_m = L^{1/2} \cdot u_r \quad (12)$$

$$q_m = L^{5/2} \cdot q_r \quad (13)$$

Où L_i , u_i et q_i , sont respectivement la longueur, la vitesse et le débit volumique. Le nombre de Prandtl est évidemment conservé puisque il est indépendant de la géométrie. Pour la maquette thermique on adapte $L=1/5$ et $L=1/20$ pour la maquette adiabatique.

Au cours de nos expériences, l'écart de température variera, permettant de simuler diverses puissances d'incendie. En conséquence, le facteur d'échelle massique est fixé à 1 et les règles de similitudes sont les suivantes :

$$u_m = L^{1/2} \cdot u_r \quad (14)$$

$$q_m = L^{5/2} \cdot q_r \quad (15)$$

$$\frac{\Delta\rho}{\rho} = \frac{\Delta T}{T_0} \quad (16)$$

Avec L , est le facteur d'échelle géométrique.

Pour le calcul de la puissance du feu, ou la puissance simulée par l'injection d'hélium on utilise la relation suivante qui définit le débit nécessaire pour une puissance donnée :

$$Q_v = 3.3 \dot{Q}_c \quad (17)$$

6.3.2 Détermination de a température des gaz d'incendie

L'écart de température simulé correspond à l'écart de densité par la relation :

$$\frac{\Delta\rho}{\rho_s} = \frac{\Delta T}{T_0} \quad (18)$$

Avec :

$\Delta T = T_s - T_0$ Est l'écart de température entre le mélange gazeux T_s et l'air ambiant T_0

$\Delta\rho = \rho_0 - \rho_s$ Est l'écart de densité entre le mélange ρ_s et l'air ambiant ρ_0

par conséquent, on obtient :

$$T_s = \frac{\rho_0}{\rho_s} \cdot T_0 \quad (19)$$

La masse volumique du mélange gazeux ρ_s est fonction des masses volumiques des deux constituants, ainsi que leurs fractions massiques tel que :

$$\rho_s = X_{\text{air}} \rho_{\text{air}} + X_{\text{Helium}} \rho_{\text{Helium}} \quad (20)$$

D'après la loi des mélange gazeux : $X_{\text{air}} + X_{\text{Helium}} = 1$

Donc la fraction massique de l'hélium est : $X_{\text{Helium}} = 1 - X_{\text{air}}$

Ce qui permet d'évaluer une expression pour la température du mélange gazeux dans le local comme suit :

$$T_s = \frac{\rho_0}{X_{\text{air}} (\rho_{\text{air}} - \rho_{\text{Helium}}) + \rho_{\text{Helium}}} \cdot T_0 \quad (21)$$

7. Mesures et instrumentation

Actuellement, la mesure des propriétés d'un écoulement se faisait qu'avec des méthodes simples (Pitot), mais ceci ne permettait pas d'accéder à toutes les grandeurs de l'écoulement tel que la vorticité, intensité de turbulence.

D'autre part, la mesure dans les zones de re-circulation et dans un sillage par exemple était autre fois impossible. Cependant, l'introduction des méthodes optiques permet de lever ce problème. Ces méthodes sont généralement basé sur l'injection de petites particules dans le fluide, et de suivre leurs déplacements. Elles sont chères, mais elles assurent une modeste précision.

L'utilisation de ces méthodes est limitée, dans le cas de fluides non transparents (opaques), tandis qu'elles peuvent être utilisés dans des conditions extrêmes.

7.1 Mesure de vitesse par les méthodes optiques

L'aptitude du faisceau à se focaliser sur de faibles surfaces, et son intensité, ont permit le développement de méthodes optiques de mesures de vitesses d'écoulement.

Les technique optiques présentant plusieurs avantages fondamentaux, sur d'autre procédés, leur principaux points forts consistent en :

- L'écoulement n'est pas perturbé.
- La mesure est très localisé, elle se fait dans un volume pouvant être $< \text{mm}^3$.
- Une réponse intrinsèque (pas de nécessité d'étalonnage), et aussi linéaire, elle est aussi indépendante de la fluctuation de température où de composition du fluide.
- La mesure peut être faite dans des conditions extrêmes de température, comme le cas des flammes.
- Très grande précision pouvant être inférieur à 1%

7.1.1 La vélocimétrie laser doppler LDV

La vélocimétrie Laser Doppler est une technique idéale pour les mesure en une, deux où trois dimensions, de la vitesse et de la distribution de la turbulence dans les écoulement internes, ainsi que les écoulement libres.

La science et l'industrie utilisent cette technique pour avoir une meilleure compréhension de la mécanique des fluides. Les résultats de mesures sont améliorés du coté efficacité, qualité et sécurité.

7.1.1.1 L'effet Doppler

Soit une particule se déplaçant, avec une vitesse \vec{V} , elle diffuse l'onde incidente dont la fréquence passe de f à f' par effet Doppler.

Ce décalage de fréquence est fonction de l'angle entre la direction de l'onde incidente et la vitesse, ainsi que de son module.

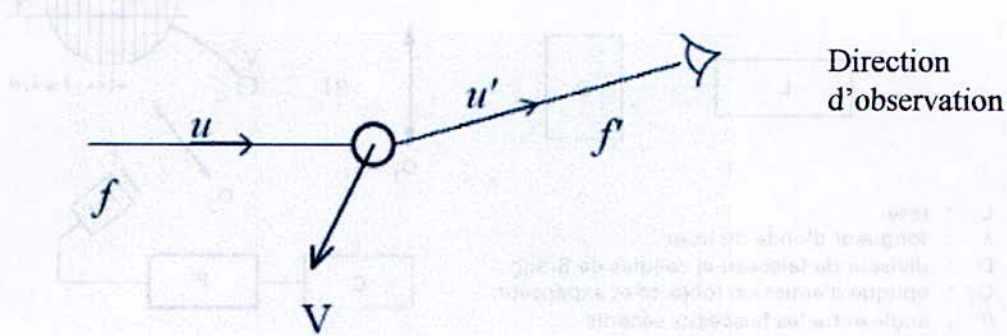


Figure 7.1 : Principe de l'effet Doppler

Cette différence de fréquence est tel que :

$$f' - f = \frac{1}{\lambda} (\vec{u}' - \vec{u}) \cdot \vec{V} \quad (22)$$

Avec $\lambda = c/f$ longueur d'onde du rayonnement.

La fréquence de l'onde diffusée est de l'ordre de 10^3 Hz, qui est difficilement mesurable devant la fréquence du faisceau incident qui est de l'ordre de 10^{14} Hz.

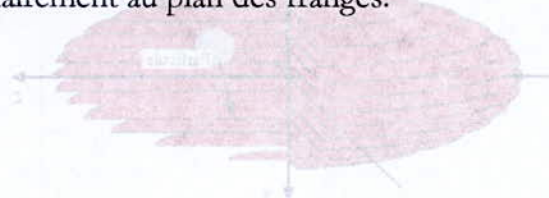
Pour remédier à cette difficulté, on utilise deux faisceaux qui se croisent dans un volume de l'espace, où se forme un réseau d'interférence.

Lors de son passage dans la zone d'interférence, la particule diffuse les deux faisceaux incidents, de fréquence f , en une lumière de fréquence f_1 et f_2 , correspondantes au deux faisceaux incidents :

7.1.1.2 Principe de la Vélocimétrie Laser Doppler

La méthode présentée ici, et présentant plusieurs variantes, consiste à dédoubler un faisceau issu d'un laser continu en deux faisceaux parallèles qui sont focalisés par la lentille O_1 . Dans la région de l'espace qui leur est commune, ces deux faisceaux interfèrent et forment des franges d'interférence.

En passant par ce volume, la particule diffuse beaucoup de lumière lorsqu'elle est centrée sur une frange brillante, et peu de lumière lorsqu'elle est centrée sur une frange sombre. Cette lumière, collectée en un point quelconque de l'espace, est modulée à une fréquence qui dépend uniquement de l'interfrange et de la composante de vitesse de la particule perpendiculairement au plan des franges.



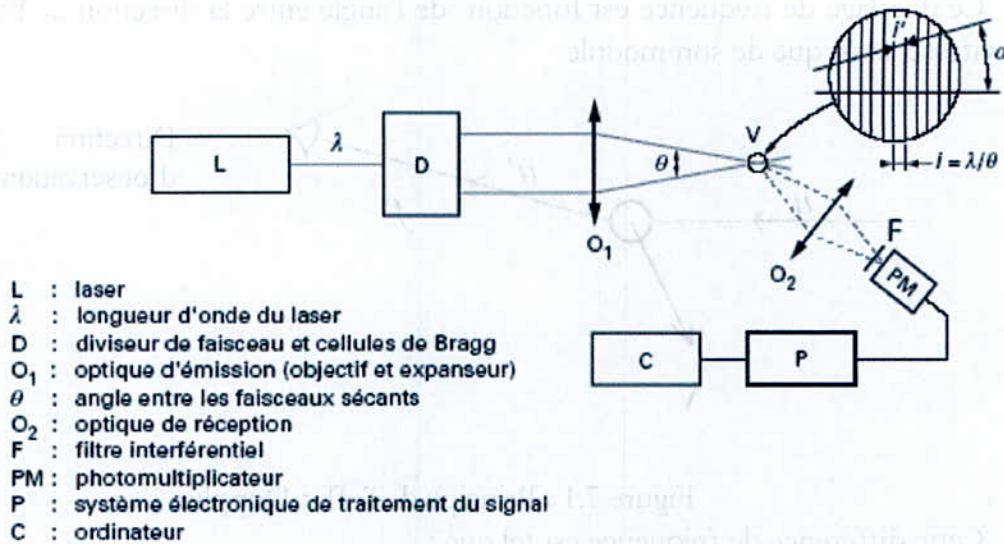


Figure 7.2 Dispositif de la LDV

Pour aller d'une frange brillante à la suivante, une particule de vitesse \vec{V} parcourt une distance i' pendant un temps '1'; la fréquence détectée est :

$$v = \frac{1}{T} = \frac{|V|}{i'} = \frac{|V| \cos \alpha}{i} = \frac{u}{i} \quad \text{avec} \quad u = v i \quad (23)$$

u étant la composante de vitesse perpendiculaire aux franges.

La fréquence v est la fréquence de la fluctuation de l'intensité causé par le passage de la particule dans le volume de mesure, elle est détectée par le photomultiplicateur, et elle correspond à la fréquence décalée par effet Doppler.

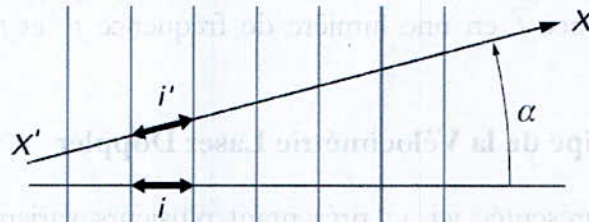


Figure 7.3 : Déplacement de la particule entre les franges

7.1.1.3 Le volume de mesure

Le volume de mesure est constitué par la partie commune aux deux faisceaux qui se croisent et au cône engendré par l'image du diaphragme situé devant le photodétecteur formée par l'optique de réception collectant le flux diffusé.

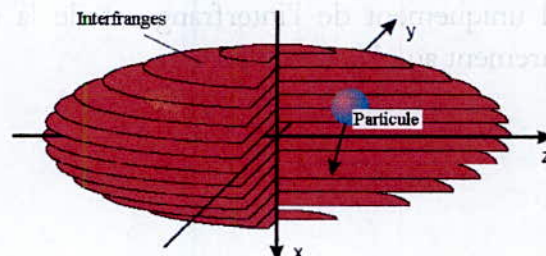


Figure 7.4 : Volume de mesures

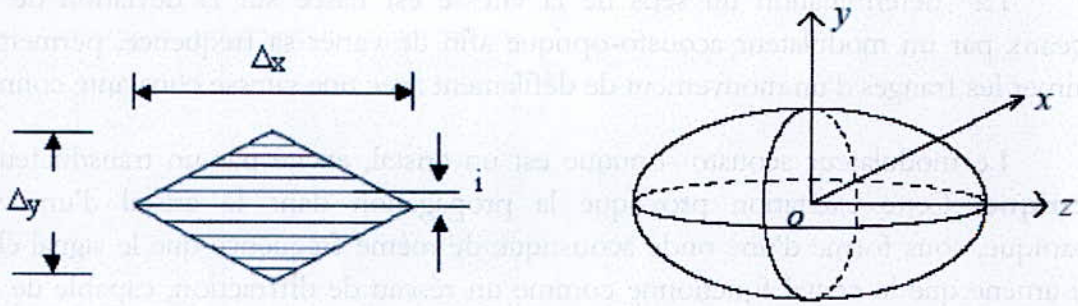


Figure 7.5 : Dimension du volume de mesure

Dans sa section droite, le faisceau LASER présente une répartition gaussienne de l'intensité lumineuse et sa dimension latérale est définie comme la distance à l'axe où l'intensité est réduite dans le rapport $1/e^2$.

$$\Delta x = \frac{d_{e^{-2}}}{\sin(\theta)} = \frac{4 \cdot f_i \cdot \lambda}{\pi \cdot D_{e^{-2}}} \frac{1}{\sin(\theta)} \quad (24)$$

$$\Delta y = \frac{d_{e^{-2}}}{\cos(\theta)} = \frac{4 \cdot f_i \cdot \lambda}{\pi \cdot D_{e^{-2}}} \frac{1}{\cos(\theta)} \quad (25)$$

L'interfrange est déterminé à partir des paramètres optiques d'émission :

$$i = \frac{\lambda \cdot f_i}{D_s} = \frac{1}{2n \cdot \sin(\theta)} \lambda \quad (26)$$

Les dimensions du volume de mesure sont d'autant plus petites que l'angle entre les deux faisceaux tend vers 90° , c'est à dire la distance entre les deux faisceaux est grande, où bien, la distance de la focale convergente est courte.

Le nombre de franges est donné par :

$$n = \frac{2 \cdot f_i \cdot \sin(\theta)}{\pi \cdot D \cdot \cos(\theta)} \quad (27)$$

7.1.1.4 Détermination du sens de la vitesse

Si l'on considère un réseau de franges fixe, deux particules traversant le volume de mesure à la même vitesse, selon la même trajectoire, mais dans des directions diamétralement opposées, produiront le même signal à la même fréquence. Enfin, si une particule traverse le réseau de franges selon une trajectoire strictement parallèle aux franges, il n'y aura aucune modulation dans la lumière diffusée : une telle particule de vitesse \vec{V} , mais qui a une composante de vitesse nulle, n'est pas mesurée. C'est une source de biais dans les mesures. En partant de ces situations extrêmes, le problème qui se pose d'une manière plus générale dans les écoulements turbulents est le suivant : localement, dans un écoulement, le vecteur vitesse instantanée peut avoir n'importe quelle direction dans l'espace.

La détermination du sens de la vitesse est basée sur la déviation de l'un des faisceaux par un modulateur acousto-optique afin de varier sa fréquence, permettant ainsi d'animer les franges d'un mouvement de défilement avec une vitesse constante connue.

Le modulateur acousto-optique est un cristal, excité par un transducteur **piézo-électrique**. Cette excitation provoque la propagation dans le cristal d'une vibration mécanique, sous forme d'une onde acoustique de même fréquence que le signal électrique. Ceci amène que le cristal fonctionne comme un réseau de diffraction, capable de dévier le faisceau vers un ordre supérieur (l'ordre 1).

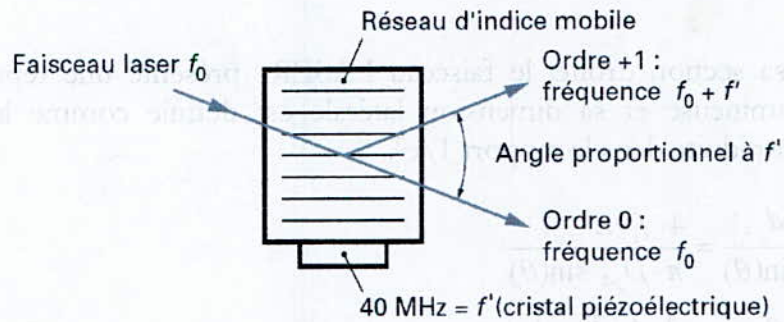


Figure 7.6 : Cellule de Bragg

Le passage de la particule dans le réseau diffuse une lumière de fréquence :

$$f = \bar{f} \pm \frac{|vitesse|}{i} \quad (28)$$

Si la fréquence détectée est négative, alors le mouvement de la particule est opposé au mouvement de défilement des franges, et positif dans le cas contraire. La fréquence de l'onde acoustique est connue, généralement elle est de l'ordre de 40 MHz.

7.1.1.5 Les intérêts de la LDV dans notre étude, sont donc :

- L'écoulement n'est pas perturbé ;
- La mesure est très localisée, elle se fait dans un volume pouvant être $< 1\text{mm}^3$;
- Une réponse intrinsèque (pas de nécessité d'étalonnage), et aussi linéaire. Elle est aussi indépendante de la fluctuation de température ou de composition du fluide ;
- Mesure de la vitesse en fonction du temps ;
- Une bonne précision avec un pourcentage d'erreur pouvant être inférieur à 1%.

7.1.1.6 Limites d'utilisation de la vélocimétrie laser

Les limitations principales sont donc les suivantes :

- c'est la vitesse de fines particules supposées suivre avec précision l'écoulement, qui est mesurée, pas du fluide lui-même ;

- comme la cadence d'arrivée des particules dans le volume de mesure est aléatoire, il peut en résulter des biais sur les statistiques et l'analyse spectrale des fluctuations de vitesse constitue un problème délicat ;
- Lors des mesures LDV, le nombre de particules validées par seconde ne dépassait pas les 300. Ce qui signifie que ces mesures ne donnent pas accès aux fluctuations turbulentes les plus rapides (dizaines de kilo hertz) ;
- l'approche des parois lors de l'exploration de couches limites reste difficile en raison des problèmes de lumière parasite ; quand les faisceaux laser sont parallèles à la paroi, le volume de mesure peut être mis tangent à la paroi (permettant des mesures jusqu'à quelques centaine de micromètres de la paroi) mais, quand ils sont perpendiculaires à la paroi, la distance minimale pour acquérir des mesures est de l'ordre de quelques millimètres ;
- Le coût d'un appareillage opérationnel est relativement élevé car il faut rassembler des composants de qualité.

7.1.1.7 Précision de la LDV

La gamme de mesure pour du matériel commercialisé s'étend couramment de 10^{-3} m/s, comme dans le cas des écoulements sanguins ou autre écoulements biologiques, à 500 m/s, avec une précision meilleure que 1%. Il est nécessaire d'avoir une optique de bonne qualité, et un fluide peu diffusant, afin de ne pas déformer le système de franges. Les projets actuels consistent à remplacer les Lasers par des diodes Laser, et pour s'approfondir dans la recherche fondamentale en mécanique des fluides.

7.1.2 Vélocimétrie par images des particules PIV

Cette technique est devenue ces dernières années un outil métrologique standard. Elle est basé sur l'éclairement de particules sensés suivre l'écoulement. Elle permet d'accéder à des quantités inconnues autres fois, tel que la vorticité instantanée. La PIV permet la détermination globale d'un champ de vitesse instantanée. La vitesse est déduite du déplacement D , subit par les particules, pendant un court intervalle de temps Δt . On peut accéder aux composantes du vecteur vitesse dans plusieurs endroits au même instant.

7.1.2.1 Dispositif de mesure

Une tranche d'un écoulementensemencé est éclairée par un plan de lumière. Le mouvement des particules éclairées par ce plan est enregistré entre deux instants successifs très courts. Il suffit alors de déterminer la distance parcourue par les particules.

La condition essentielle est qu'entre les instants de prise de vue, la particule doit rester dans l'épaisseur du plan d'éclairage. Généralement la source laser utilisée est un laser impulsionnel Nd-YAG délivrant deux impulsions espacées d'un intervalle de temps dt (réglable en fonction des vitesses à mesurer), chacune ayant une énergie de plusieurs centaines de millijoules.

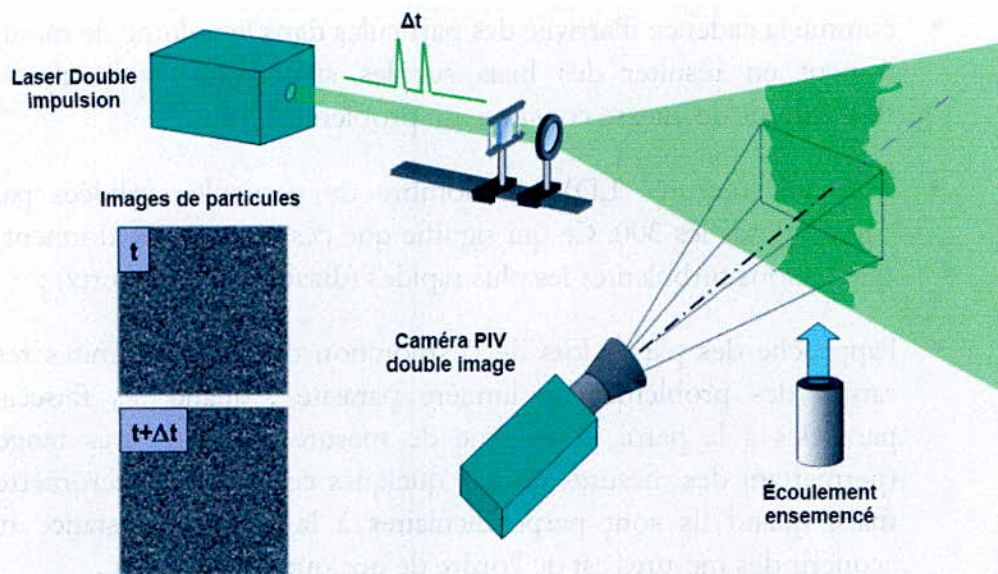


Figure 7.7 : Principe de la PIV

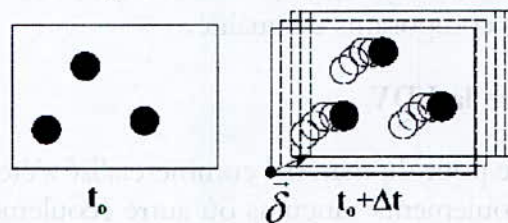


Figure 7.8 : Déplacement des particules entre l'instant Δt

Les images sont enregistrées par caméra vidéo CCD. Les transformées de Fourier sont alors réalisées numériquement, ce qui permet une grande flexibilité dans le choix de la zone d'analyse. Chaque image est décomposée en plusieurs zones d'analyse carrées appelées fenêtres d'interrogations dont la dimension est de puissance 2 bits (de 32 ou 64 pixels de côté).

Le résultat obtenu est une cartographie instantanée du champ de la projection du vecteur vitesse dans le plan d'éclairage.

Le traitement de l'image se fait de deux façons distinctes, que l'on fait l'enregistrement du déplacement des particules sur une cartographie, où bien sur deux cartographies différentes.

Dans le cas d'une cartographie, le traitement se fait par auto corrélation, et il se fait par inter corrélation dans le cas de deux cartographies distinctes.

La fonction d'inter corrélation présente un pic centrale, intense, dont la position par rapport au centre de la fenêtre d'interrogation donne la direction, et la longueur du déplacement des particules dans la fenêtre d'analyse. Le pic central de la fonction d'inter corrélation représente le déplacement le plus probable de la particule.

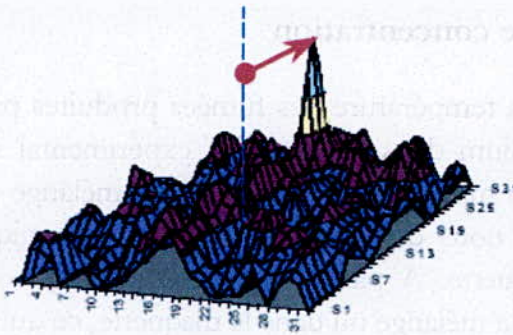


Figure 7.9 : Fonction d'inter corrélation

Les conditions à respecter sont les suivantes : la fenêtre d'interrogation doit être suffisamment petite pour considérer que la vitesse de l'écoulement dans son image réelle est uniforme, mais elle doit être assez grande pour que le déplacement enregistré au niveau du cliché soit significatif.

7.1.2.2 Limitation du procédé :

La PIV est appliquées dans pas mal de types d'écoulements, tel que :

- Ecoulements diphasiques
- Combustion
- Ecoulements complexes
- Moteurs à combustion interne
- Turbomachines Ecoulements biologiques
- Aérodynamique
- Sillages, Tourbillons, mélangeurs
- Ecoulements décollés

La principale source d'erreurs est relative au suivi des particules qui ont une composante de vitesse importante dans la direction perpendiculaire au plan laser de sorte qu'elles n'apparaissent que sur un seul cliché.

Les erreurs de calibration : avant toute mesure PIV il faut effectuer une calibration qui consiste à donner au logiciel de traitement l'échelle des images enregistrées, en d'autres termes, la conversion pixel distance.

L'axe de la camera doit être parfaitement normal au plan du laser, autrement, la mise au point de l'objectif de la camera ne peut se faire sur l'ensemble du plan de mesure entraînant ainsi l'apparition de faux vecteurs sur une partie du champs, là où la mise au point est incorrecte, les vitesses mesurées sur l'autre partie seront également erronées car les déplacements observés par la camera ne correspondront pas aux déplacements réels.

Une autre source d'erreur qui est induite par la mesure près des parois, une telle situation est générée par l'encombrement des particules, et leur adhérence à la paroi.

7.2 Mesure de concentration

L'obtention de la température des fumées produites par l'injection de l'hélium pur ou d'un mélange air –hélium dans le dispositif expérimental se fait à partir des mesures de concentration (fraction massique) d'hélium dans le mélange air –hélium à l'aide d'une sonde de concentration, qui nous donne le pourcentage volumique de l'oxygène présent dans l'ambiance de la maquette. A partir de ce pourcentage, on peut obtenir le pourcentage d'hélium et d'air dans le mélange ou dans la maquette, ce qui permet d'aboutir au calcul de la densité de celle-ci ρ_m . Et finalement, la température ou la température équivalente de mélange (des fumées) est obtenu par la relation donnée par la similitude de Froude (voir paragraphe 6).

7.3 Mesure de température : les thermocouples

Un thermocouple est constitué de deux fils métalliques de natures différentes, soudés à l'une de leurs extrémités - appelée "soudure de mesure" ou souvent même "soudure" - et comportant à l'autre extrémité deux "bornes" de raccordement (ou "fils de raccordement"). Ces fils de raccordement sont à la même température (θ_a) qui est généralement la température ambiante ou celle des bornes de l'appareil de mesure.

Lorsque θ est différent de θ_a , il apparaît entre les bornes de raccordement une f.e.m. qui dépend du couple métallique A/B et des températures θ et θ_a , sans être pour autant proportionnelle à $(\theta - \theta_a)$.

La nature des fils A et B définit la valeur et la polarité de e . Lorsque l'appareil de mesure de e est notablement éloigné de la soudure de mesure, on remplace une partie du thermocouple par un "câble de compensation", de coût moins élevé, mais qui fournit cependant, aux bornes de raccordement avec l'appareil de mesure, la même f.e.m. que le thermocouple lui même ; la seule condition est que la température de ses connexions avec le thermocouple soit comprise dans un intervalle déterminé, fixé par le constructeur.

Un thermocouple gainé est constitué de différents éléments :

- Les matériaux thermoélectriques ;
- La gaine et l'isolant ;
- La soudure chaude ;

Le câble d'extension et le type de raccord ou de connecteur qui permet de relier le thermocouple à l'appareil de mesure.

La famille des thermocouples divisée en divers types bien différents, couvre une étendue de mesure allant de -250 °C à environ 3000 °C. Les thermocouples sont connus pour leur robustesse et leur souplesse d'utilisation.

La relation liant la tension de sortie d'un thermocouple à la température n'est pas linéaire. La méthode d'interpolation qui tient compte de ces variations fait appel à des polynômes d'approximation complexes.

**ETUDE DU FEU DANS UN
LOCAL CONFINE ET VENTILE**

8. Etude du feu dans un local confiné et ventilé

Le renforcement de la sécurité au feu d'installations industrielles passe par une compréhension de l'ensemble des phénomènes impliqués lors de l'incendie et exige le développement d'outils numériques spécifiques d'analyse de sûreté. De plus, une meilleure connaissance des premiers instants de l'incendie permet une détection du feu plus précoce en évitant son grossissement rapide, et la création des conditions nécessaires favorisant l'apparition du phénomène de retour de flamme «*backdraft*».

De nombreux scénarios prévoient le développement de l'incendie au sein d'enceintes à ventilation contrôlée. Après la période de consommation du comburant disponible avec la charge combustible du local, la combustion se poursuit dans des conditions d'atmosphère sous ventilées qui conduisent soit à l'extinction, soit à la stabilisation de régimes de combustion encore mal connus. Enfin, l'analyse de sûreté d'une installation nécessite la modélisation de la combustion à partir d'hypothèses physiques fiables sur la structure de la flamme et de l'écoulement.

Le développement d'un feu est fortement lié aux paramètres de combustion, en particulier l'aération de la zone réactive (ventilation naturelle ou contrôlée), la structure de la flamme, la richesse locale, les propriétés thermochimiques de l'environnement, etc., ainsi qu'à la position de la charge de combustible dans l'enceinte. Des schémas de ce type se rencontrent lors d'incendie de câbles ou de ruptures de canalisation véhiculant des combustibles liquides.

L'objectif de cette partie d'étude sera de caractériser les phénomènes d'écoulement de fumées produites par la combustion du TPH dans un local confiné et ventilé mécaniquement. L'accent portera principalement sur la détermination des paramètres physiques tel que la température régnant dans le local, la hauteur de flamme, la perte de masse, et cela pour différentes puissances du feu.

8.1 Description de la maquette thermique

La maquette dite thermique de forme parallélépipédique réalisée à l'échelle 1/5 avec un volume de $116 \times 96 \times 120 \text{ cm}^3$, a deux parois en plexiglas et deux en bois ainsi qu'un plafond métallique démontable (Figure 8.1). Elle contient deux ventilateurs identiques mis en face l'un à l'autre, afin d'assurer un mouvement d'injection d'air frais et d'extraction de fumées (voir annexe 2 figure 1). Le ventilateur d'injection fonctionne en deux configurations selon que le refoulement se fait de façon normale ou déviée. Le choix de ces deux configurations sert à comprendre l'effet de la ventilation sur le comportement du feu. Il faut noter que seul le local source est repris pour la maquette thermique, pour étudier le comportement du feu dans un local confiné avec ventilation interne.

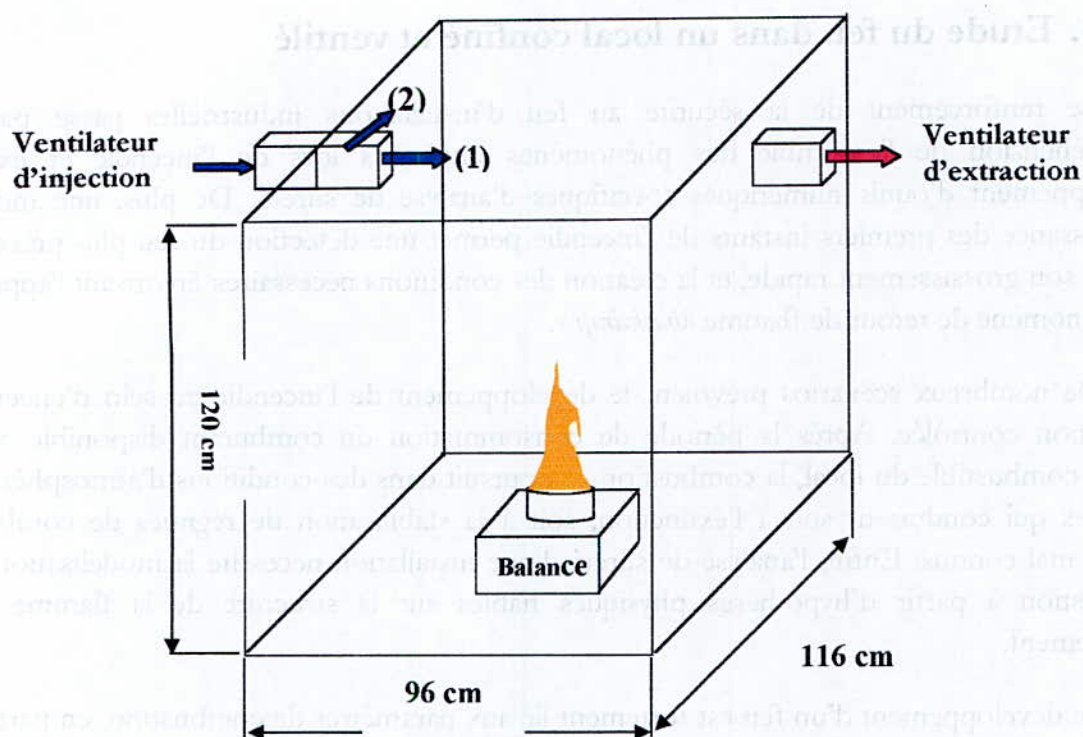


Figure 8.1: La maquette thermique

- (1) : Injection non déviée
- (2) : Injection déviée à 90°

Un dispositif de changement du débit d'injection et d'extraction est mis en place et qui consiste à varier la section de refoulement du ventilateur à l'aide d'une petite plaque qu'on fait glisser devant la section de passage du fluide, du fait que le réglage automatique des débits avec des potentiomètres s'avère difficile.

Un foyer d'incendie présent au centre de la maquette qui est un bac d'un diamètre $D = 85$ mm, disposé sur une balance électronique afin d'analyser la perte de masse du combustible au cours des essais. Des thermocouples de type **K** (diamètre de la tige de 2 mm, voir l'annexe 1) sont installés dans différents endroits de la maquette pour pouvoir mesurer les profils de température, notamment au niveau de la flamme. Le foyer d'incendie est généré par la combustion du tétra propylène hydrogéné (TPH), vu qu'il présente un bon marché et n'est pas trop polluant.

8.2 Expérimentation :

Dans cette partie on va présenter les résultats expérimentaux obtenus sur les mesures de perte de masse et de températures, afin de déterminer les facteurs primordiaux agissant sur le comportement du feu dans le local. Différentes configurations d'essais ont été effectuées de sorte que le local soit totalement confiné, ou que la ventilation soit normale ou inclinée avec variation du taux de renouvellement. On peut répartir les essais réalisés en cinq types :

- Essai sur local semi confiné (avec 3 parois et sans toit) et sans ventilation
- Essai sur local avec et sans toit (par intermittence) et sans ventilation
- Essai sur local fermé sans ventilation
- Essai sur local fermé et ventilée
- Essai sur local fermé avec ventilation déviée d'un angle de 90°

Durant toutes ces configurations d'essais, un extracteur placé au dessus de la maquette est en fonctionnement permanent.

8.2.1 Essai sur local semi confiné :

Dans cet essai le local est disposé sans toit, et avec 3 parois seulement, pour la mesure des températures au voisinage de la flamme, des thermocouples (8 thermocouples) sont disposés au bord et au centre du bac comme représenté sur la figure 8.2.

Il faut noter que plusieurs essais ont été réalisés pour la même configuration, afin de balayer tous les paramètres qui peuvent influencer sur le comportement de la flamme. On représente seulement un résultat vu qu'il est impossible de présenter tout les résultats d'essais.

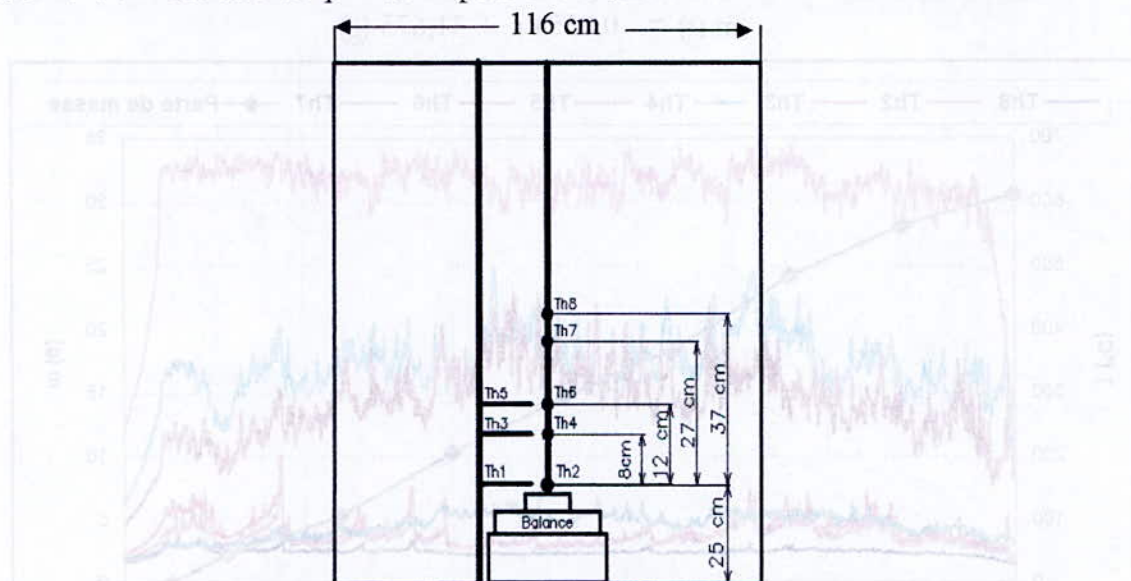


Figure 8.2: La disposition des thermocouples dans l'enceint

Pour tous ces essais la flamme est turbulente (figure 8.3), de ce fait, on remarque des forts écarts de températures entre les thermocouples situés sur l'axe et le bord du bac pour la même hauteur (l'écart de température atteint une valeur maximale de 450°C entre 8 et 10 minutes d'essai pour les thermocouples TH3, TH4 et TH5, TH6). La hauteur de flamme fluctue rapidement entre 15 et 30 cm, ainsi que son épaisseur.

Pour la température à la base de la flamme, elle présente de petites fluctuations mais en gros elle est constante et a une valeur moyenne de 650°C. Le front de flamme présente quand à lui des fluctuations qui semble être petite puis augmente à la fin de l'expérience.

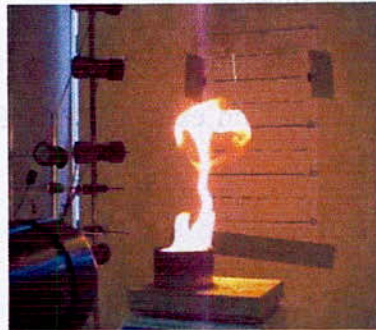
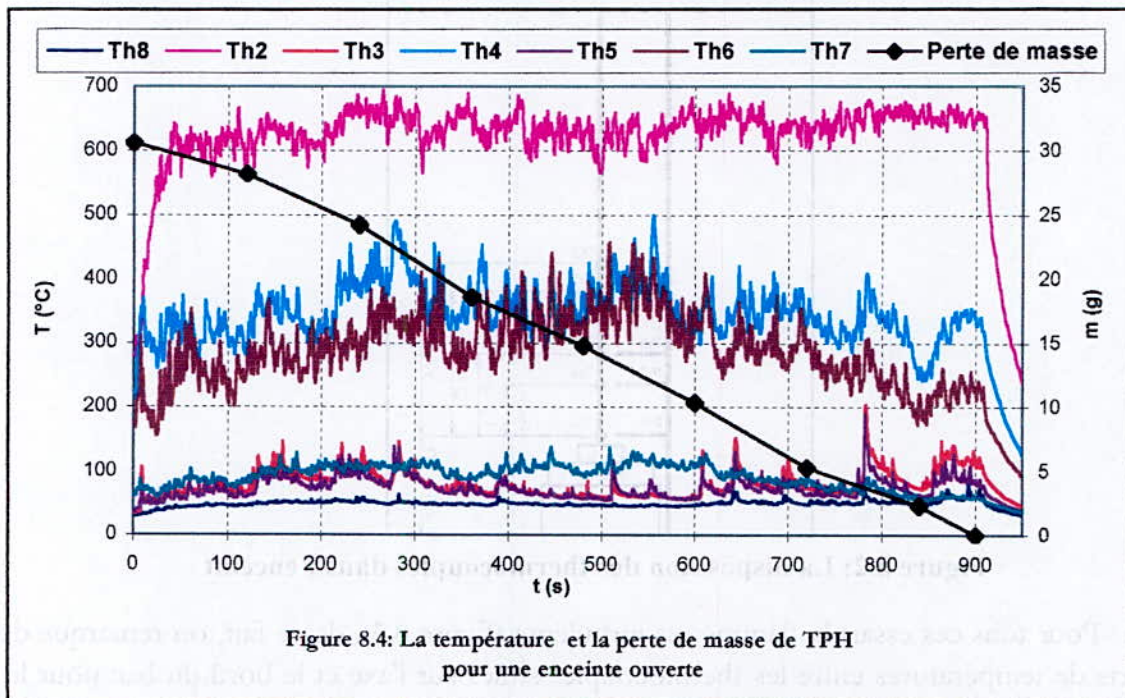


Figure 8.3 : Flamme perturbée

Pour la perte de masse, toutes les configurations présentent une évolution linéaire décroissante, avec une pente constante. Pour cet essai elle suit une loi de la forme (obtenue par interpolation linéaire) :

$$m(t) = -0,0354 t + 31,675 \text{ (g)}$$



8.2.2 Essai sur local avec et sans toit et sans ventilation

Durant cet essai, l'expérience commence sans toit (pendant 8 min), puis on le remet afin de savoir l'influence du confinement soudain sur le comportement de la flamme, sur les températures ainsi que sur la perte de masse. Le positionnement des thermocouples se fait de

façon à ce qu'ils soient sur l'axe du bac. Les profils de températures prélevés par les thermocouples sont représentés sur la figure 8.7, ainsi que la perte de masse.

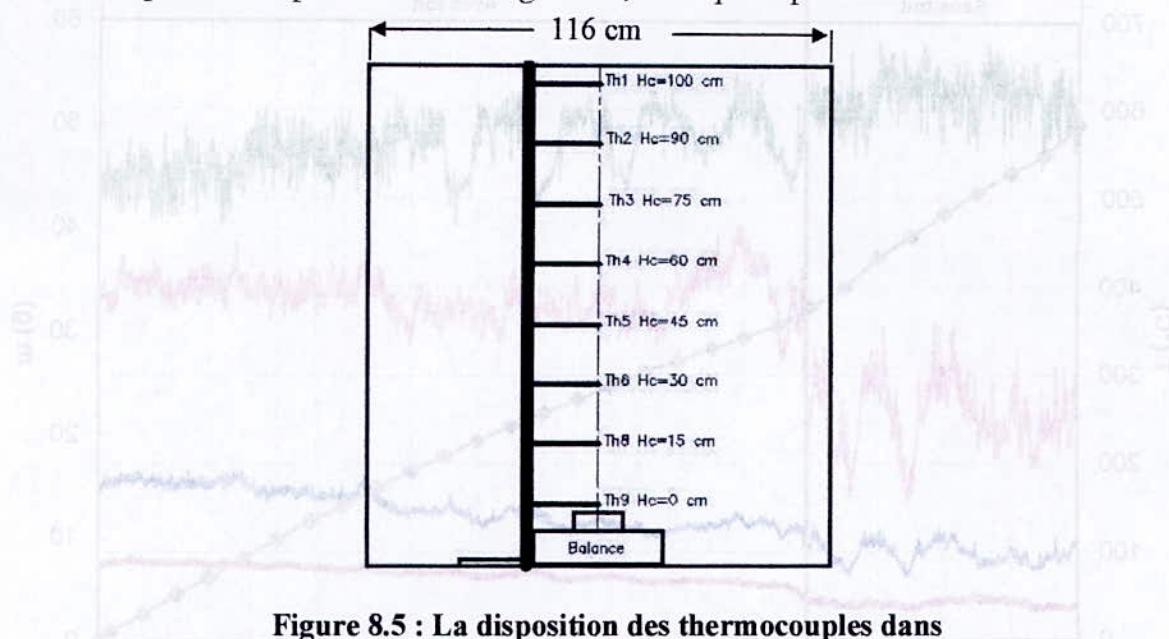


Figure 8.5 : La disposition des thermocouples dans L'enceinte sans et avec toit

Lors de l'expérience sans toit, on remarque une température avec des fluctuations modestes au niveau de la base de la flamme (TH9) et au front de flamme (fumées TH6, TH3) (figure 8.7). Pour le thermocouple TH8, les fluctuations sont importantes. La température au niveau de ce dernier thermocouple augmente brusquement dès la remise du plafond et atteint une valeur moyenne de 400°C, mais les fluctuations sont moindres. Les fluctuations de température sont conformes à la turbulence de la flamme (figure 8.6), c'est-à-dire qu'avant la remise du plafond, elle était très turbulente. Cette augmentation s'explique par l'apport brusque d'air lors de la fermeture qui influe sur la flamme.

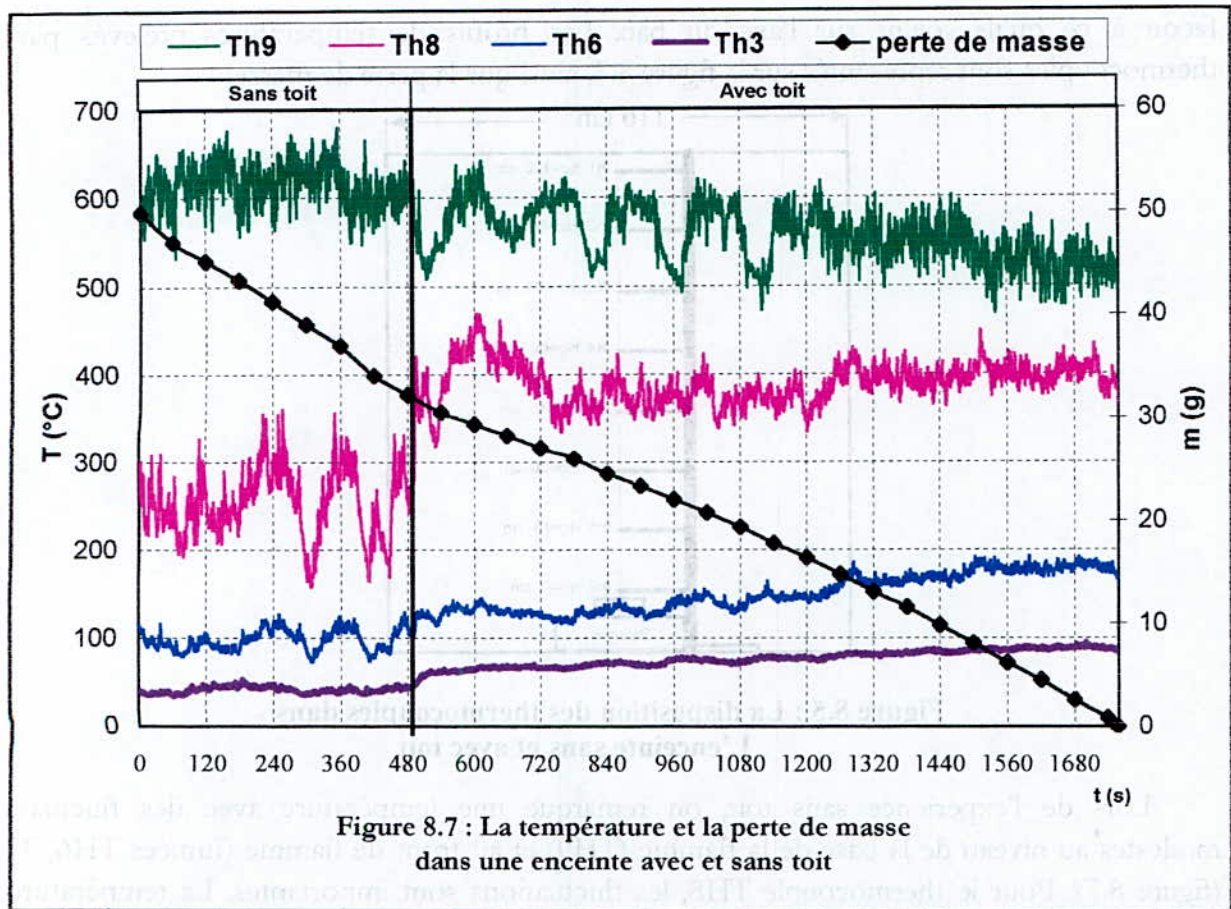


Flamme sans toit



Flamme avec toit

Figure 8.6 : La forme de la flamme dans une enceinte sans et avec toit



Pour les thermocouples TH6 et TH3, la remise du plafond influe légèrement car on remarque une augmentation moins rapide que pour TH8. Par contre, on remarque une diminution de la température au niveau de la base de la flamme (TH9), ceci s'explique par l'effet du confinement puisque l'apport en air est brusque mais il sera limité jusqu'à la fin de l'expérience.

Pour la perte de masse, elle est comme déjà dit dans la configuration précédente, constante et elle suit une évolution linéaire décroissante de la forme suivante (par interpolation linéaire) :

$$m(t) = -0,0364.t + 49,871 \quad \text{sans toit}$$

$$m(t) = -0,0249.t + 45,306 \quad \text{avec toit}$$

8.2.3 Essai sur un local fermé sans ventilation

Dans cet essai le local est totalement confiné, et on garde la même disposition des thermocouples (Figure 8.5), les ventilateurs sont à l'arrêt (pas de ventilation), et les thermocouples sont disposés de la même manière que la configuration précédente. La caractéristique principale de cet essai est que le temps d'essai s'étale jusqu'à 3000 s (Environ 1 heure), c'est-à-dire jusqu'à l'extinction de la flamme.

Les profils de température obtenus sur la figure 8.8 montrent des fluctuations ordinairement modestes. La température à la base de la flamme présente un profil relativement constant avec des fluctuations importantes dans les 10 premières minutes, et qui diminuent après.

A 15 cm au dessus de la flamme (TH8), le profil moyen de température atteint une valeur maximale de 430°C et une valeur minimale de 300°C. Pour le front de flamme, la température suit une évolution constante, qui présente des fluctuations de quelques degrés.

La perte de masse présente une allure décroissante (pratiquement linéaire dans les 20 premières minutes). En effet cette décroissance n'est plus conséquente puisque sa linéarité diminue légèrement. Cette diminution est causée par le manque d'apport en air frais dans le local, par rapport à l'augmentation du taux de production des fumées, ce qui diminue la consommation du combustible. L'évolution de la perte de masse peut être interprétée par interpolation linéaire de la forme :

$$m(t) = -0,023.t + 63,774 \quad (g)$$

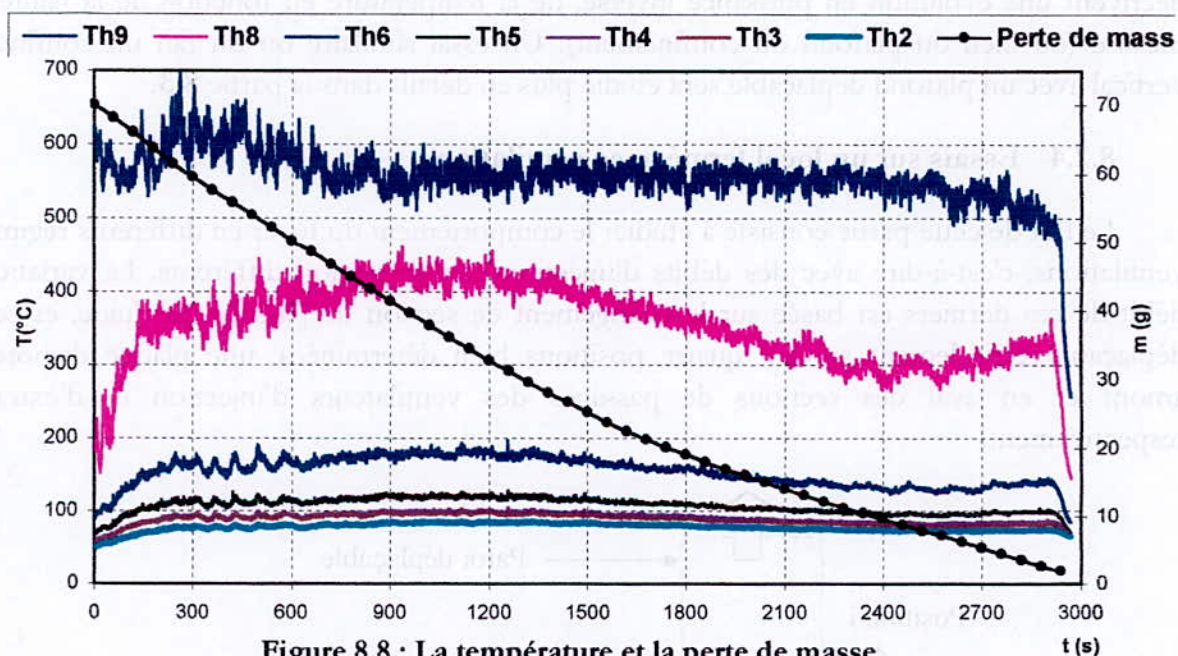


Figure 8.8 : La température et la perte de masse dans une enceinte FERMEE

Maintenant on s'intéresse au profil de température moyen suivant l'axe du bac, c'est-à-dire le profil obtenu pour chaque thermocouple. Le résultat est représenté sur la figure 8.9 :

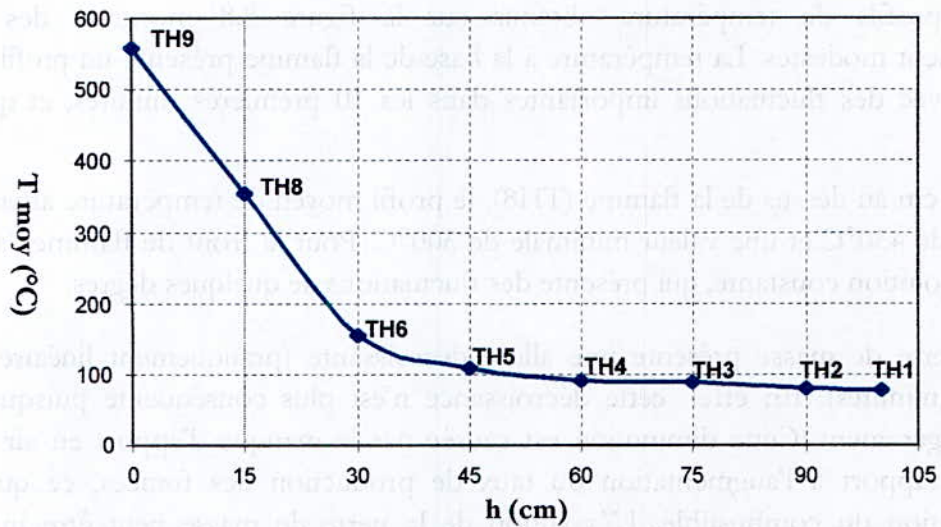


Figure 8.9 : Température moyenne obtenue pour chaque thermocouple

Ce résultat correspond à la réalité, puisque la température diminue en s'éloignant de la flamme. De plus l'allure suit les corrélations théoriques trouvées par HESKESTAD [8], qui décrivent une évolution en puissance inverse, de la température en fonction de la hauteur de mesure (où bien du plafond du confinement). Un essai similaire où on fait un confinement vertical avec un plafond déplaçable sera étudié plus en détails dans la partie 8.3.

8.2.4 Essais sur un local fermé avec ventilation

Le but de cette partie consiste à étudier le comportement du foyer en différents régimes de ventilations, c'est-à-dire avec des débits d'injection et d'extraction différents. La variation du débit de ces derniers est basée sur le changement de section de passage du fluide, et cela en déplaçant verticalement suivant quatre positions bien déterminées, une plaque disposée en amont et en aval des sections de passages des ventilateurs d'injection et d'extraction respectivement.

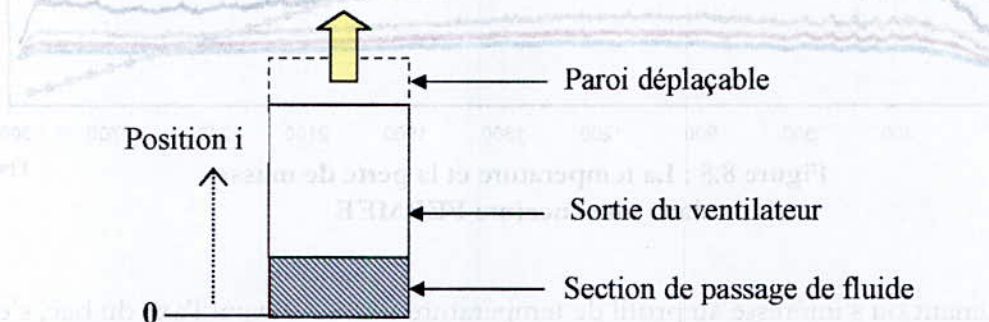


Figure 8.10 : Système de changement de débit d'injection et d'extraction

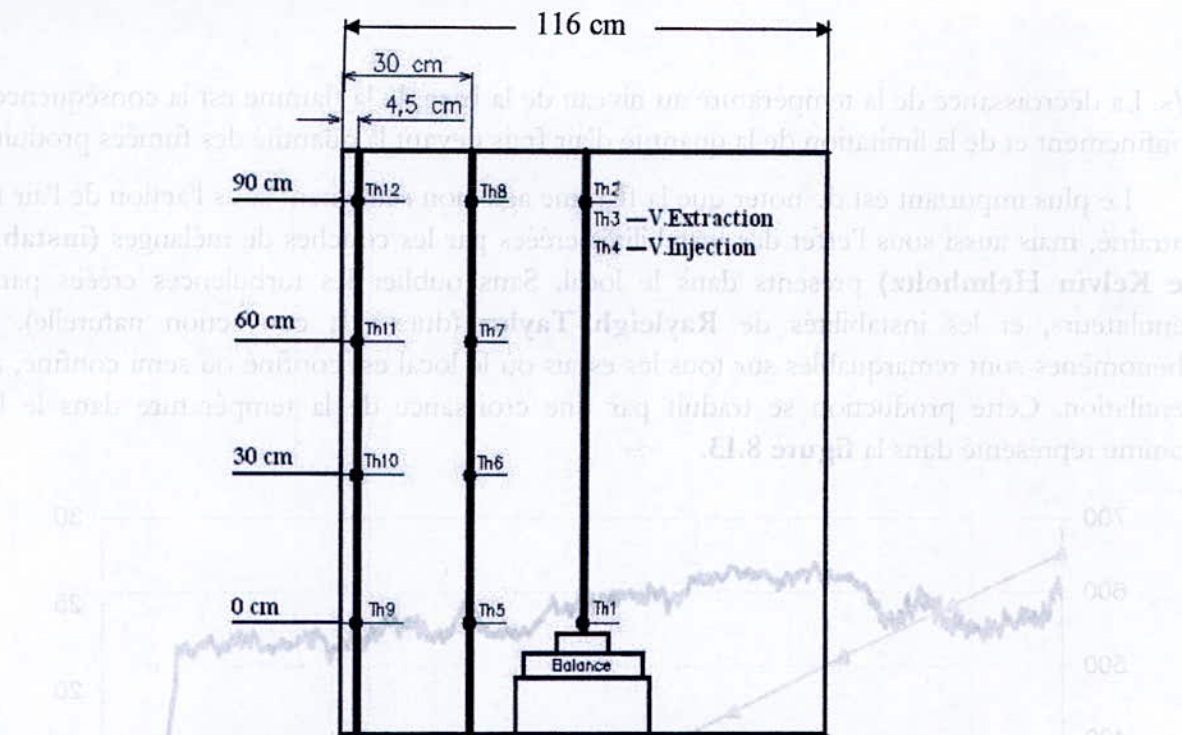


Figure 8.11 : La disposition des thermocouples dans le local par rapport au bac

Le tableau 8.1 représente ces différents régimes en fonction des positions de la plaque déplaçable.

Position	Débit (m ³ /h)
0	3,5
1	6,4
2	8,9
3	11,5

Dans cette partie on va s'intéresser au cas où le ventilateur d'injection et d'extraction ont le même débit, puis l'un supérieur à l'autre et inversement.

- **Cas où le débit d'injection et d'extraction sont égaux :**

La **figure 8.12** présente le profil de température instantanée donné par le thermocouple situé dans la base de la flamme, dans le cas où les débits d'injection et d'extraction sont égaux. Dans ce cas le taux de renouvellement est de 5. Les fluctuations sont en gros modestes, avec un profil moyen relativement décroissant. On prélève une valeur moyenne de l'ordre de 570°C, et toujours avec une perte de masse linéairement décroissante, d'une pente moyenne de 0.0276

g/s. La décroissance de la température au niveau de la base de la flamme est la conséquence du confinement et de la limitation de la quantité d'air frais devant la quantité des fumées produites.

Le plus important est de noter que la flamme agit non seulement sous l'action de l'air frais entraîné, mais aussi sous l'effet des instabilités créées par les couches de mélanges (**instabilité de Kelvin Helmholtz**) présents dans le local. Sans oublier les turbulences créées par les ventilateurs, et les instabilités de **Rayleigh Taylor** (due à la convection naturelle). Ces phénomènes sont remarquables sur tous les essais où le local est confiné ou semi confiné, avec ventilation. Cette production se traduit par une croissance de la température dans le local comme représenté dans la **figure 8.13**.

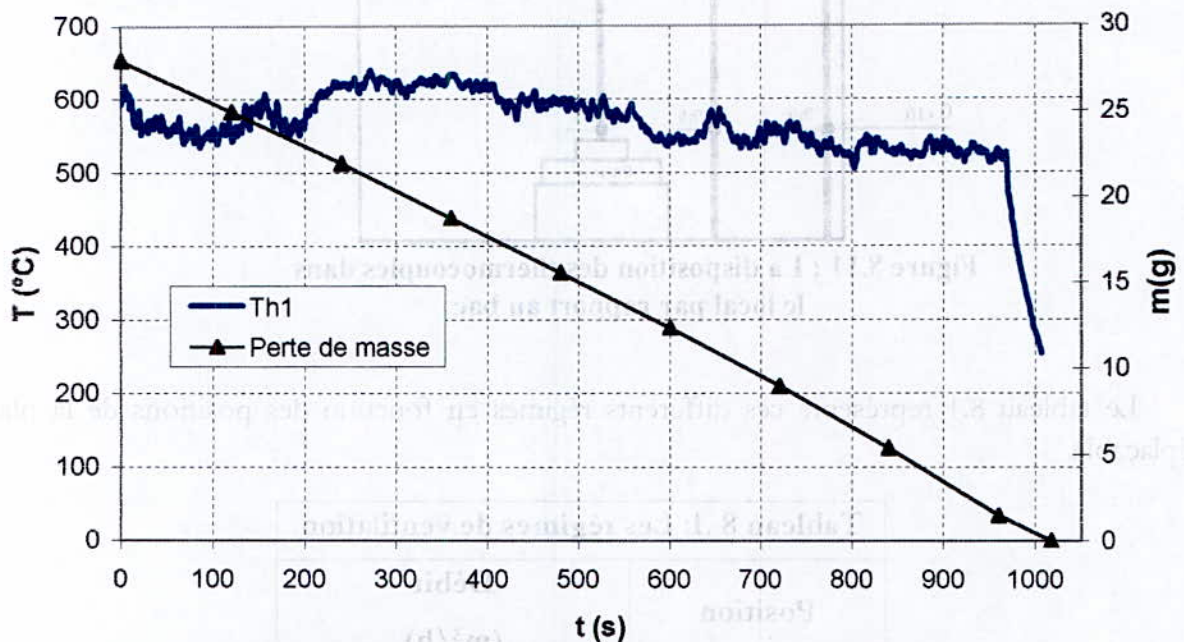


Figure 8.12: Profil de température à la base de la flamme
 $Q(\text{injection}) = Q(\text{extraction}) = 6.4 \text{ m}^3/\text{h} \longrightarrow \text{TR5}$

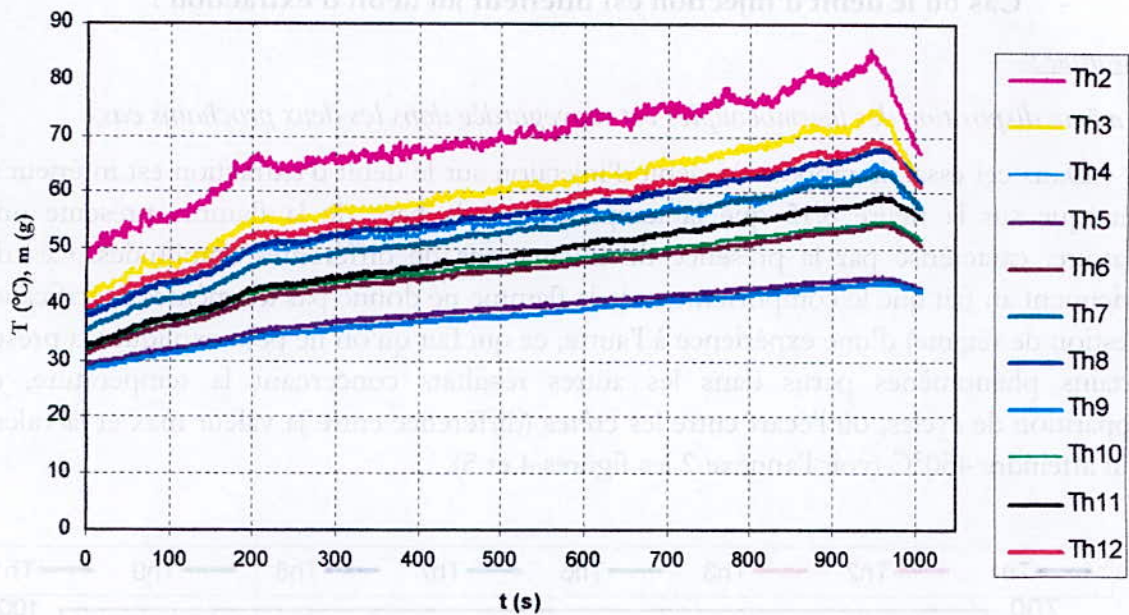


Figure 8.13 : Les profils de température dans les local pour TR5

L'essai avec les autres taux de renouvellement (pour TR7 et TR9 voir l'annexe 2 figure 2 et figure 3) donne qualitativement les mêmes résultats. Sur la **figure 8.14** on représente la variation de la température moyenne en fonction de la hauteur (position de thermocouple), pour les différents taux de renouvellement. On note une augmentation de la température tout au long de l'axe du bac, ceci s'explique par la différence de densité créée par les fumées chaudes, qui se déplacent sous l'effet des forces de flottabilité vers le haut, ce qui fait que les températures en haut du local sont plus grandes que celles du bas.

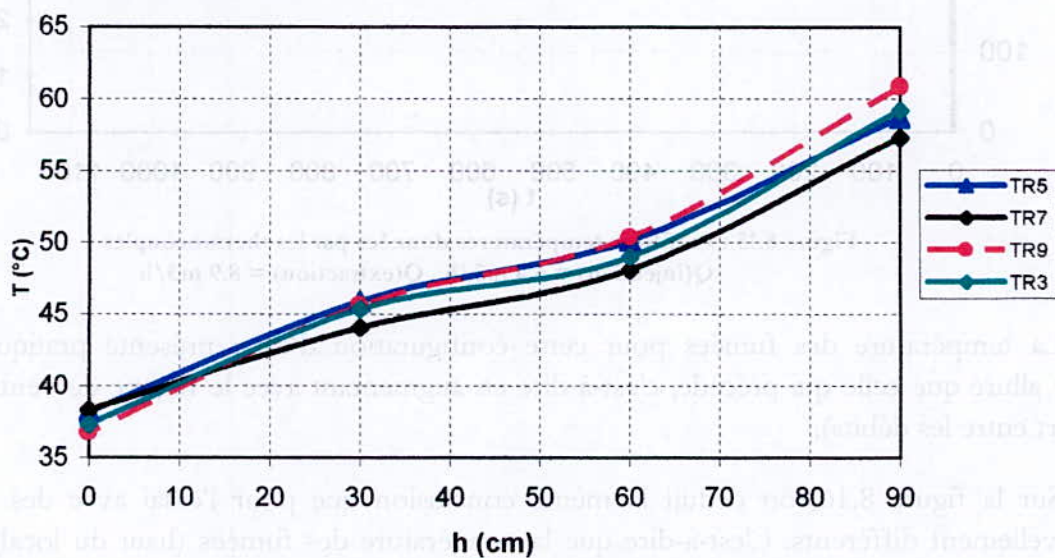


Figure 8.14: Température moyenne dans le local pour différents TR

- Cas où le débit d'injection est inférieur au débit d'extraction :

Remarque :

La même disposition des thermocouples est sauvegardée dans les deux prochains cas.

Dans cet essai, le rapport du débit d'injection sur le débit d'extraction est inférieur à 1. On remarque sur la figure 8.15 que la température à la base de la flamme présente un profil aléatoire, caractérisé par la présence de fluctuations de différentes amplitudes. Ces derniers reviennent au fait que le comportement de la flamme ne donne pas les mêmes spécifications (en question de régime) d'une expérience à l'autre, ce qui fait qu'on ne peut expliquer la présence de certains phénomènes parus dans les autres résultats concernant la température, comme l'apparition de cycles, où l'écart entre les crêtes (différence entre la valeur max et la valeur min) peut atteindre 450°C (voir l'annexe 2 les figures 4 et 5).

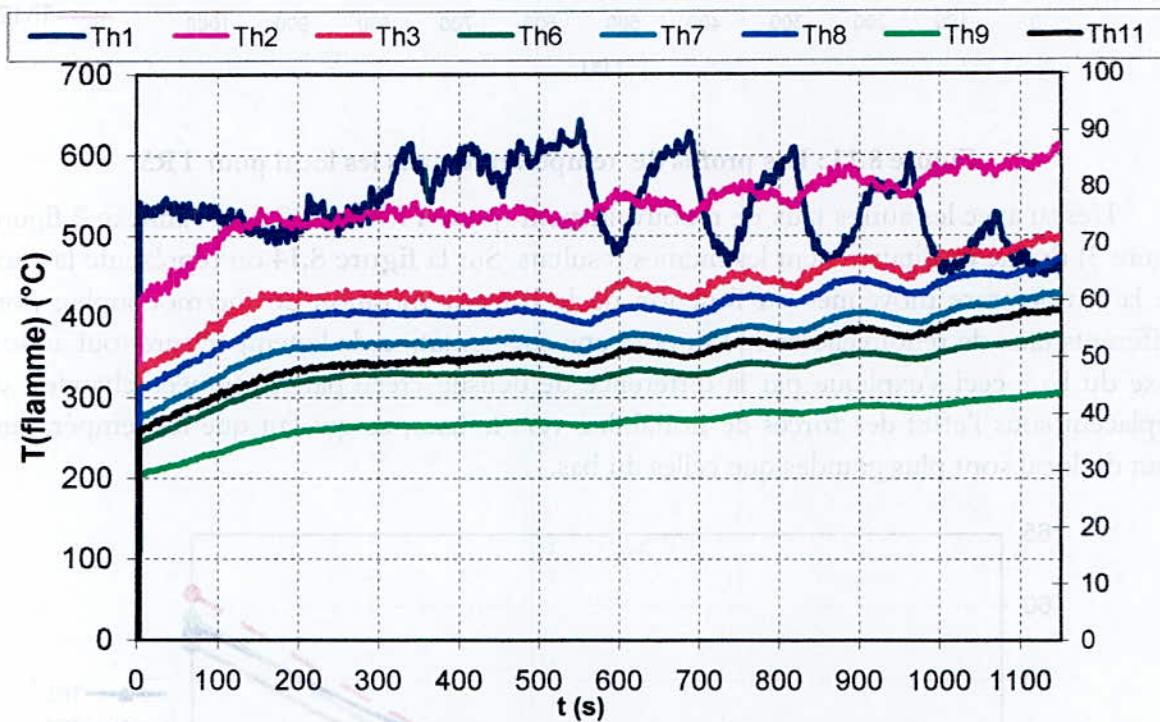


Figure 8.15 : Profils de températures données par les thermocouples
 $Q(\text{injection}) = 6.4 \text{ m}^3/\text{h}$, $Q(\text{extraction}) = 8.9 \text{ m}^3/\text{h}$

La température des fumées pour cette configuration d'essai présente pratiquement la même allure que celle qui précède, c'est-à-dire en augmentant avec le régime de ventilation (le rapport entre les débits).

Sur la figure 8.16, on déduit la même conclusion que pour l'essai avec des taux de renouvellement différents. C'est-à-dire que la température des fumées (haut du local) est plus importante que celle de l'air frais (bas du local)

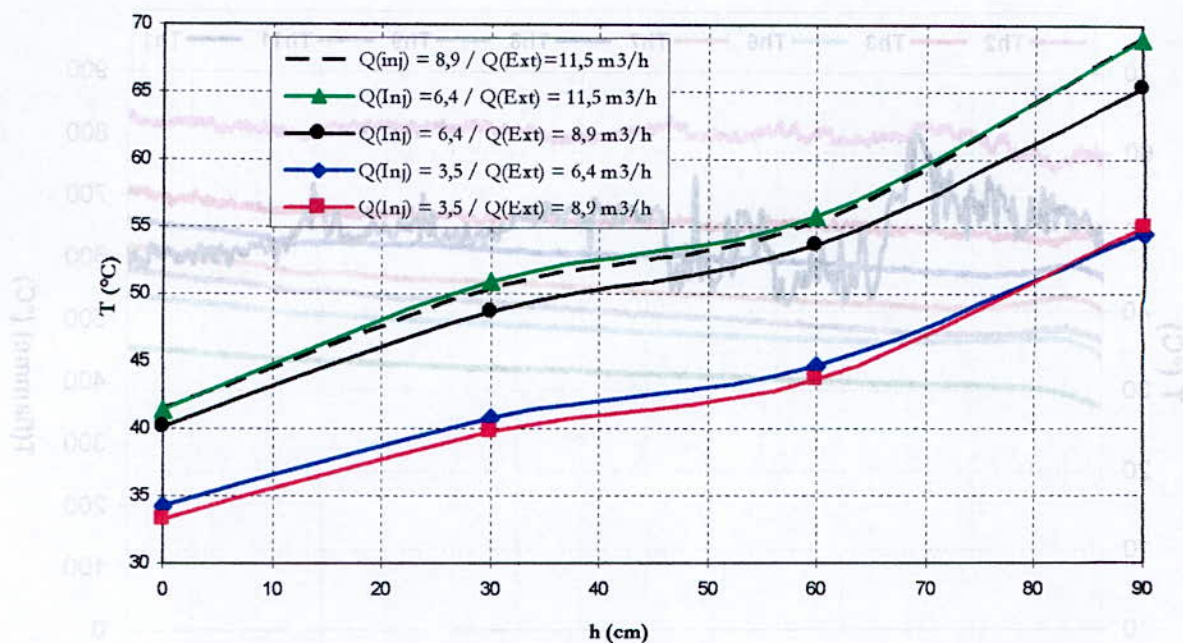
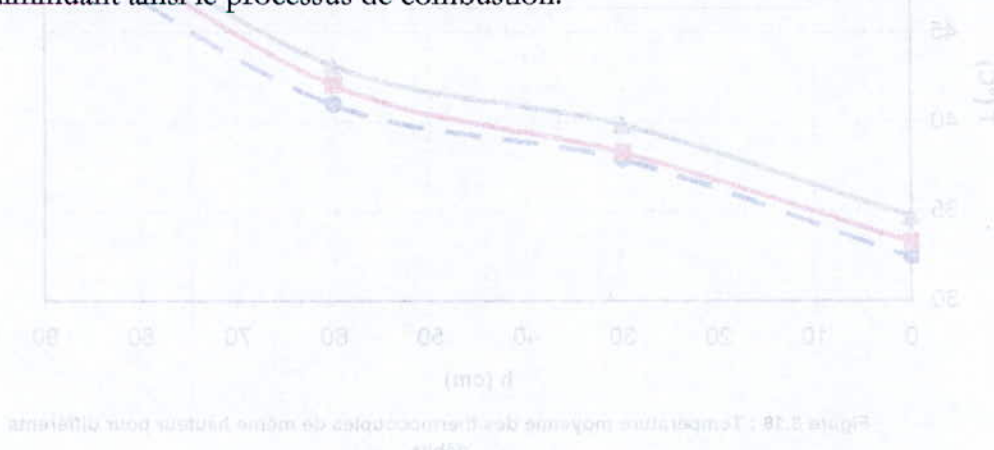


Figure 8.16 : la température moyenne des thermocouples de même hauteur : $Q(\text{inj}) < Q(\text{ext})$

- Cas où le débit d'injection est supérieur au débit d'extraction :

Durant cet essai, on inverse le rapport du débit d'injection sur le rapport d'extraction (rapport supérieur à 1). Concernant la température de la flamme, on remarque qu'elle présente des turbulences importantes entre 3 et 4 minutes (figure 8.17), et qui diminuent jusqu'à la fin de l'expérience. De plus d'autres essais réalisés sur cette même configuration (voir l'annexe 2 les figures 6 et 7) font apparaître des cycles périodiques sur le profil de température qu'on ne connaît pas l'origine. Ce phénomène ne nous est pas inconnue puisqu'il apparaît plusieurs fois.

Le taux de perte de masse est faible comparativement à la configuration précédente, parce que les fumées occupent pratiquement tout le local ce qui fait que l'apport d'air frais sera moindre, diminuant ainsi le processus de combustion.



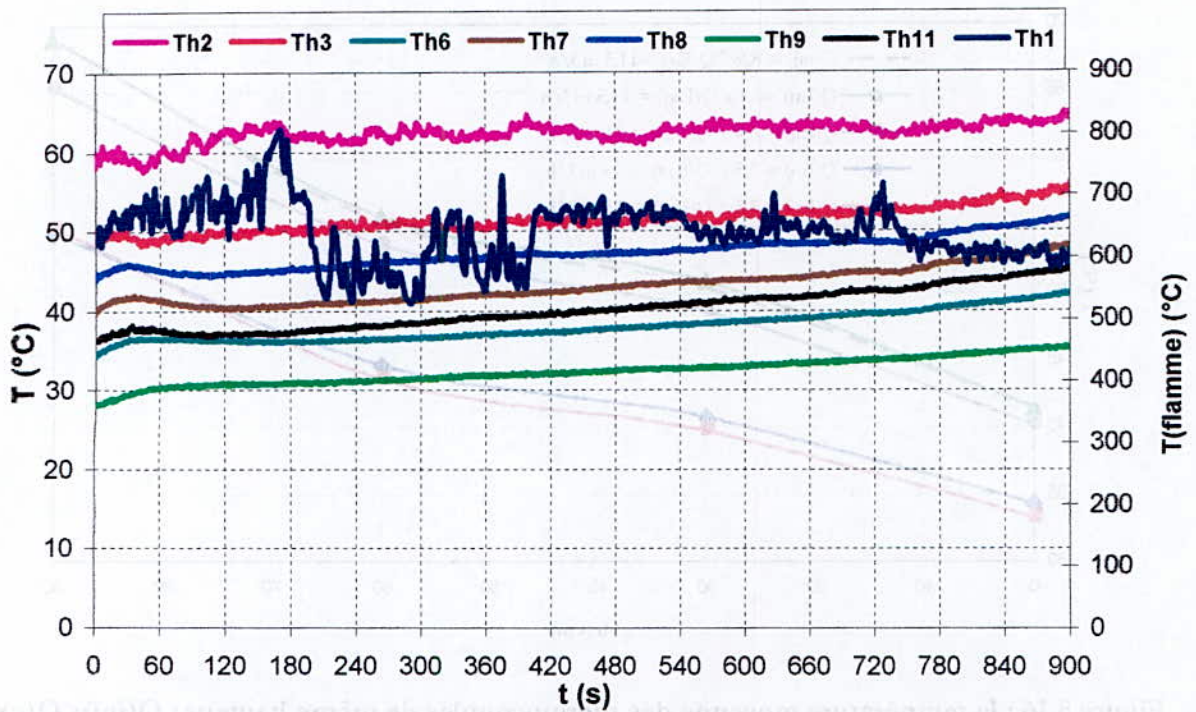


Figure 8.17 : Profils de températures prélevés par les thermocouples

Ce résultat est semblable à celui qui précède, seule diminution est constaté au niveau de la température de gaz chauds. La température maximale atteinte au niveau des thermocouples de position haute est de 53°C alors qu'elle a atteint les 70°C selon que le débit d'injection est inférieur au débit d'extraction. Cette diminution revient au fait que l'apport d'air frais est majoritaire par rapport à l'extraction des fumées, c'est-à-dire qu'il joue le rôle de refroidisseur.

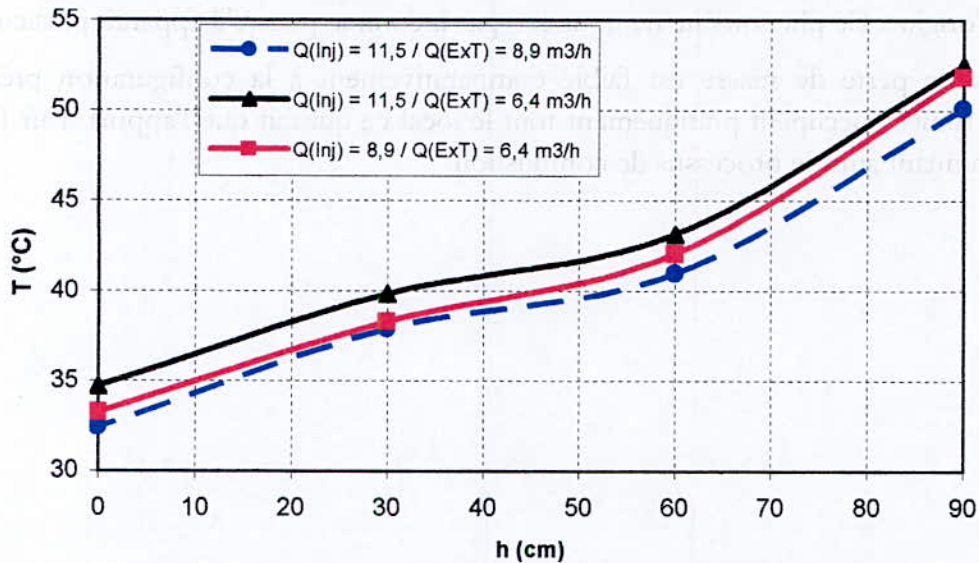


Figure 8.18 : Température moyenne des thermocouples de même hauteur pour différents débits

8.2.5 Essais dans un local fermé avec ventilation déviée

Le but de cet essai consiste à déterminer les effets de variation du mouvement de brassage sur les caractéristiques. Pour cela, on ajoute une conduite de déviation du flux refoulé par le ventilateur, de sorte que le jet sortant sera perpendiculaire à l'axe du ventilateur d'extraction. (figure 8.19).

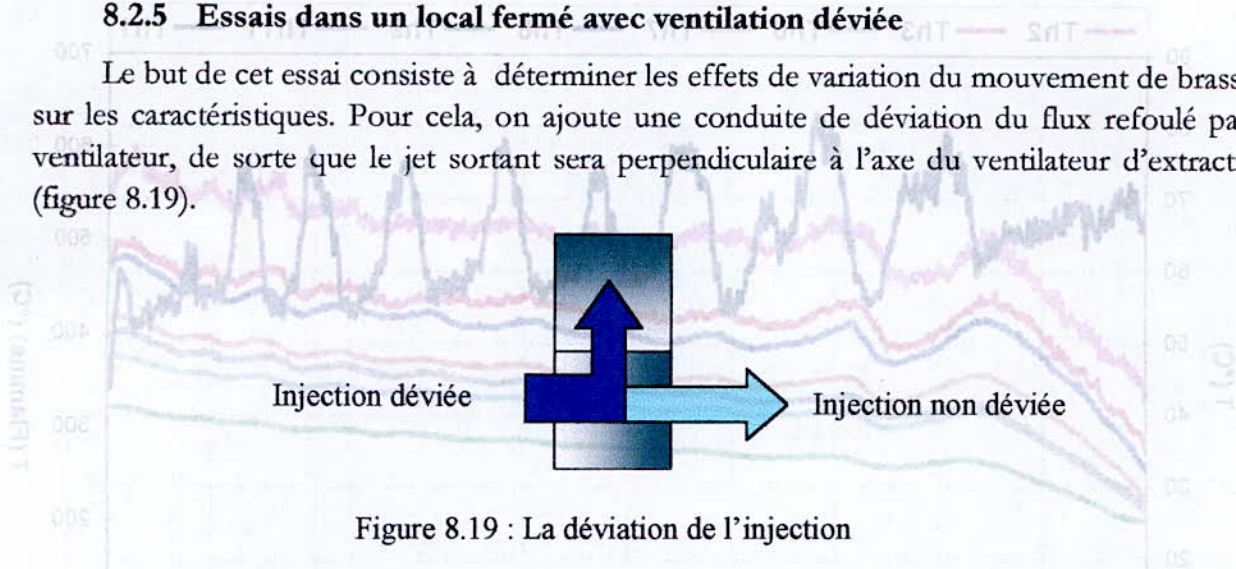


Figure 8.19 : La déviation de l'injection

On présente seulement les résultats du cas où le débit d'injection est égal au débit d'extraction. La figure 8.20 présente le profil de températures au niveau de la flamme, ainsi qu'au voisinage du bac pour TR9 (voir l'annexe 2 les figures 6 et 7 pour TR5 et TR7). Tenter d'expliquer les cycles parus dans le profil de température de la flamme serait profané, mais ce qu'on peut dire est qu'elle présente en gros un profil constant (une bande de 150°C d'écart). Les autres températures prélevées par les autres thermocouples sont pratiquement constantes, avec des fluctuations très faibles.

Et enfin pour la perte de masse, on enregistre toujours une évolution linéaire décroissante, mais avec un taux plus faible par rapport à la configuration de ventilation non déviée. Pour les autres configurations de cet essai, on a obtenu les mêmes phénomènes.

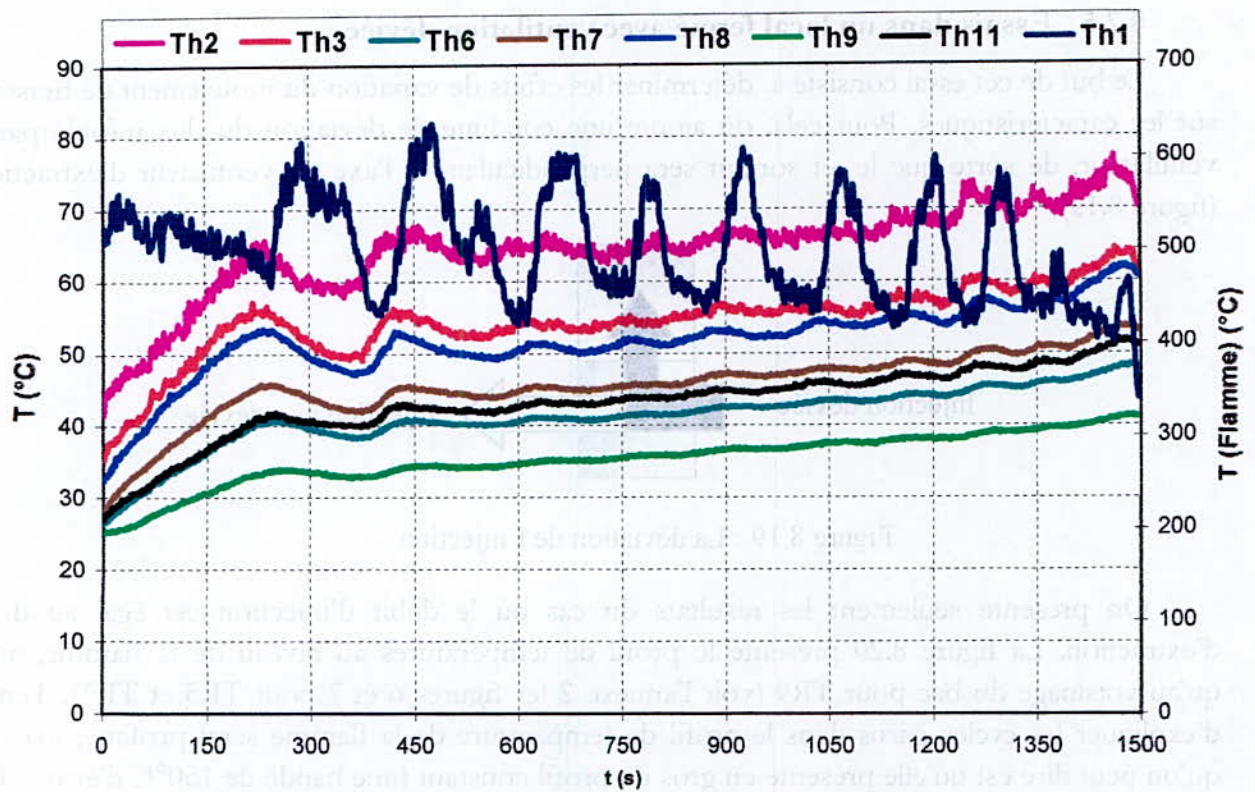


Figure 8.20 : Profils de températures données par les thermocouples pour TR9 et une injection déviée $m(t) = -0,0217.t + 32,312$

En comparant les résultats obtenus pour les deux types de ventilation, on constate une diminution des propriétés du feu dans le cas de ventilation déviée (température de la flamme, température des gaz chauds, perte de masse (constante)), par rapport à la ventilation non déviée, ce qui est bien représenté sur la figure 8.21, qui donne la superposition des températures de la ventilation déviée et non déviée.

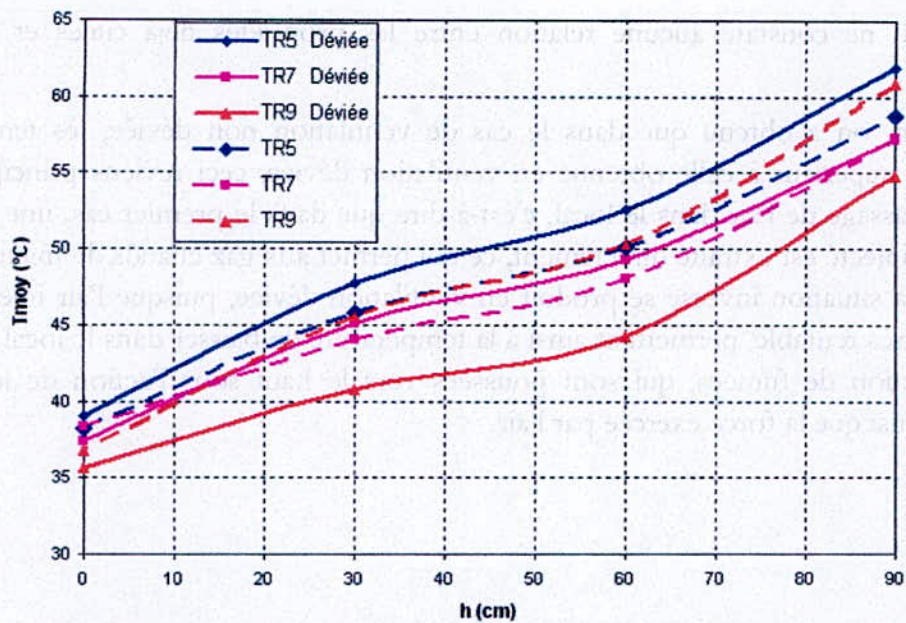


Figure 8.21 : Température moyenne pour une injection déviée et non déviée

Tableau 8.2 : Résultats obtenues pour ventilation déviée et non déviée

Régime de ventilation (Q en m ³ /h)	Température moyenne de la flamme (°C)		Taux de perte de masse (g/s)		Température moyenne dans le local (°C)	
	Injection non déviée	Injection déviée	Injection non déviée	Injection déviée	Injection non déviée	Injection déviée
TR5	562,7	510,7	0,0276	0,0265	48,2	50,3
TR7	531,1	503,7	0,0196	0,0260	47,0	47,3
TR9	587,6	501,8	0,035	0,0217	54,1	43,9
Q(Inj) = 6,4 Q(Ext) = 11,5	581,2	526,0	0,0366	0,0273	54,2	47,1
Q(Inj) = 6,4 Q(Ext) = 8,9	523,3	484,5	0,0304	0,0295	52,0	46,8
Q(Inj) = 8,9 Q(Ext) = 11,5	532,0	516,2	0,0382	0,0265	54,1	45,8

Cependant, pour différents taux de renouvellement en ventilation déviée on remarque toujours une proportionnalité entre certaines propriétés et le régime de ventilation (Augmentation de TR entraîne une diminution de la température de la flamme), ce qui n'est pas remarquable en ventilation non déviée. Par contre, pour des débits d'injection et d'extraction

différents, on ne constate aucune relation entre les propriétés déjà citées et le régime de ventilation.

Et enfin, on a obtenu que dans le cas de ventilation non déviée, les températures au plafond sont supérieures à celle obtenue en ventilation déviée, ceci revient principalement à la qualité du brassage de l'air dans le local, c'est-à-dire que dans le premier cas, une grande partie du flux d'air injecté est extraite directement, ce qui permet aux gaz chauds de mieux se propager dans le local. La situation inverse se produit en ventilation déviée, puisque l'air injecté se diffuse d'une façon très rentable, permettant ainsi à la température de baisser dans le local, au détriment de la production de fumées, qui sont poussées vers le haut sous l'action de leur forces de flottabilité, ainsi que la force exercée par l'air.

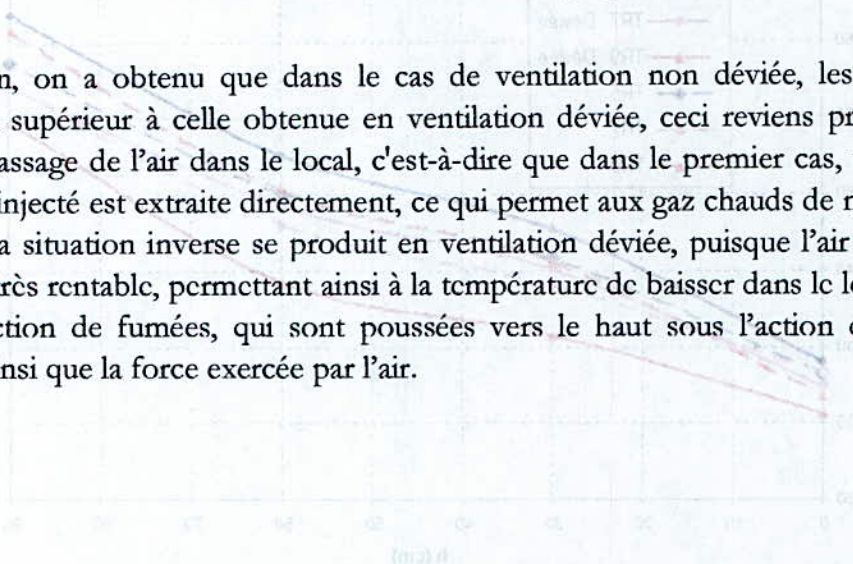


Figure 8.21 : Température moyennes pour une injection déviée et non déviée.

Tableau 8.2 : Résultats obtenus pour ventilation déviée et non déviée

Régime de ventilation (Q en m^3/h)	Température moyenne de la flamme ($^{\circ}C$)		Taux de perte de masse (g/s)		Température moyenne dans le local ($^{\circ}C$)	
	Injection non déviée	Injection déviée	Injection non déviée	Injection déviée	Injection non déviée	Injection déviée
$Q_{total} = 17.5$ $Q_{inj} = 6.4$	287.6	280.7	0.035	0.0276	24.2	24.7
$Q_{total} = 8.9$ $Q_{inj} = 6.4$	287.2	280.7	0.0304	0.0196	25.0	24.0
$Q_{total} = 8.9$ $Q_{inj} = 1.7$	272.0	280.2	0.0282	0.0262	24.1	25.2

Cependant, pour différents taux de renouvellement en ventilation déviée ou non déviée, on constate une proportionnalité entre certaines propriétés et le régime de ventilation. L'augmentation de l'entrée ou l'augmentation de la température de la flamme, ce qui n'est pas compatible en ventilation non déviée. Par contre, pour des débits d'injection et d'extraction

8.3 La température au plafond pour différentes puissances du feu

8.3.1 Procédure expérimentale

Dans cette partie, on veut trouver la relation entre la température au plafond, la puissance du feu et la hauteur du plafond, et aussi la hauteur de la flamme en fonction de ces paramètres, et faire une comparaison avec les corrélations trouvées par les auteurs ou les chercheurs du domaine (voir paragraphe 2). Afin de répondre à ces questions, on a réalisé un dispositif expérimental (Voir la figure 8.22) qui permet de varier la hauteur du plafond de 15 à 85 cm dans la maquette thermique sans toit, et on a placé un thermocouple juste au dessus de ce plafond (Th 2). Afin d'avoir une information sur la température de la flamme, un thermocouple est placé à la base de la flamme.

Les différentes puissances du feu qui sont produites toujours avec la combustion de TPH, sont obtenus par changement du diamètre du bac (3 bac : D74H25, D85H44 et D100H55). Le choix de la masse du TPH se fait de manière à conserver le même rapport de la hauteur h_c du combustible dans le bac (n'est pas remplis) et le rapport de la masse pour les trois diamètres du bac.

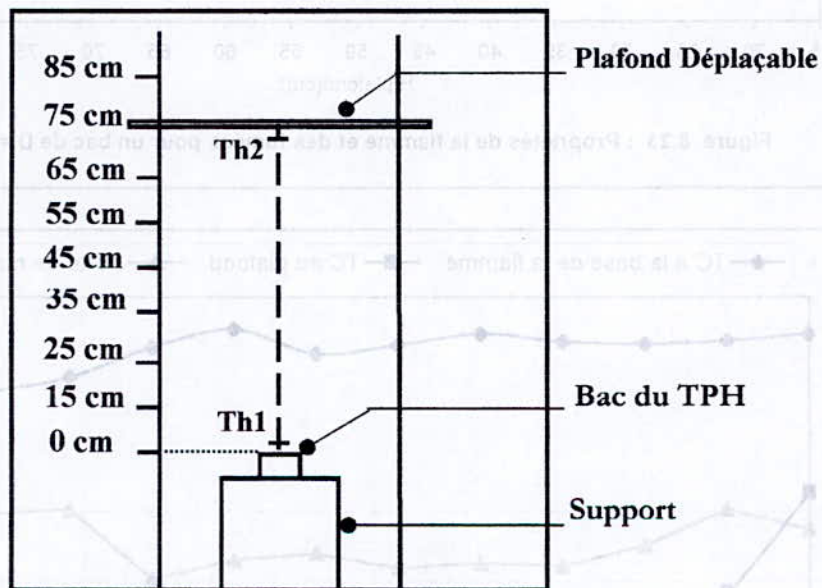


Figure 8.22 : Dispositif expérimental de changement de la hauteur du plafond

Durant les essais et pour le même diamètre du bac, on garde toujours la même masse du TPH, et la durée de l'essai est toujours 5 minutes au cours de laquelle des mesures de températures au niveau de la base de la flamme par des thermocouples de type K, des températures au plafond et les pertes de masse de TPH avec des séquences vidéo pour extraire la hauteur moyenne de la flamme.

8.3.2 Résultats et interprétations

La température au plafond en fonction de la puissance du feu pour différentes hauteurs

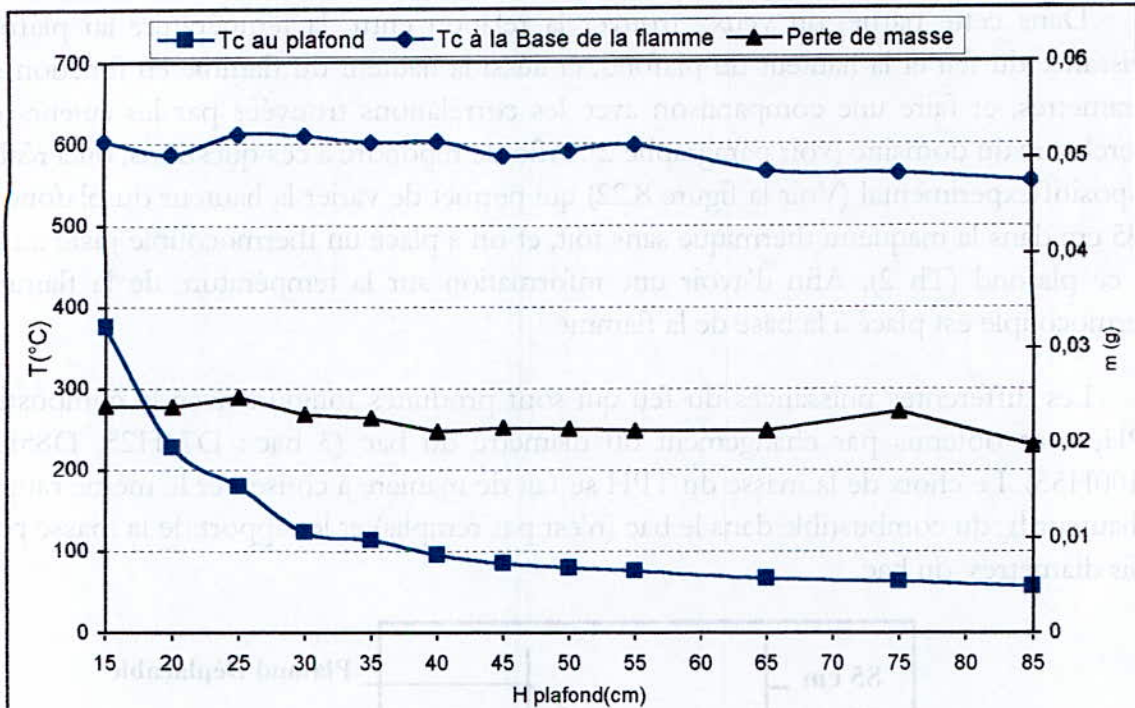


Figure 8.23 : Propriétés de la flamme et des fumées pour un bac de D = 74 mm

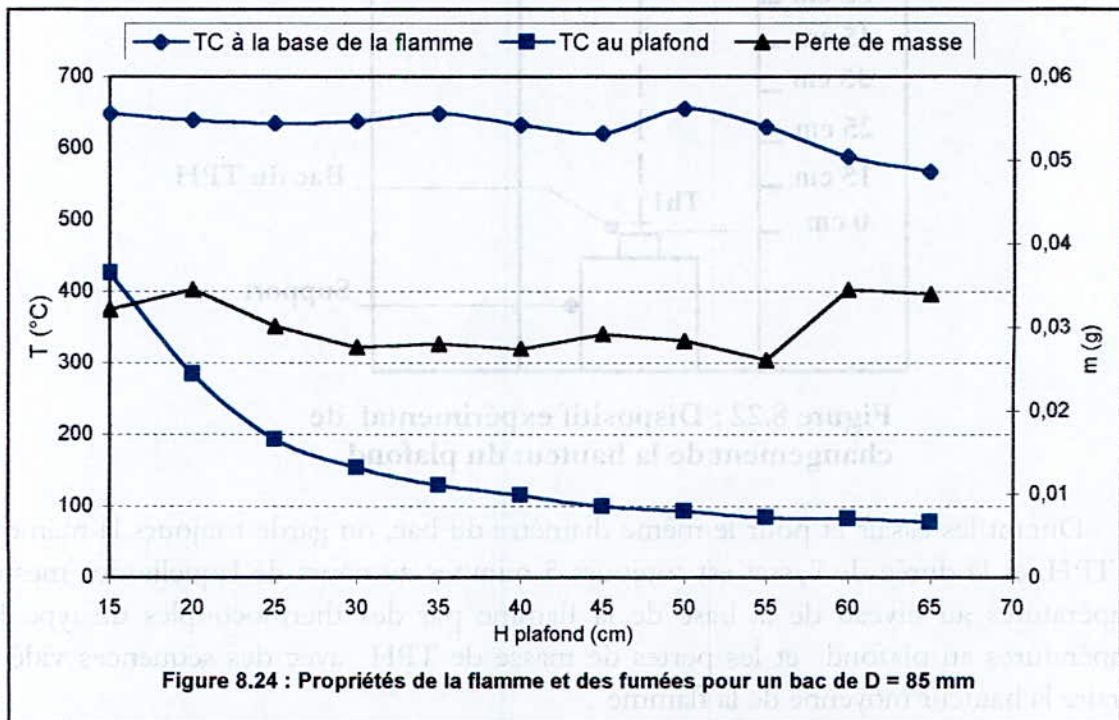


Figure 8.24 : Propriétés de la flamme et des fumées pour un bac de D = 85 mm

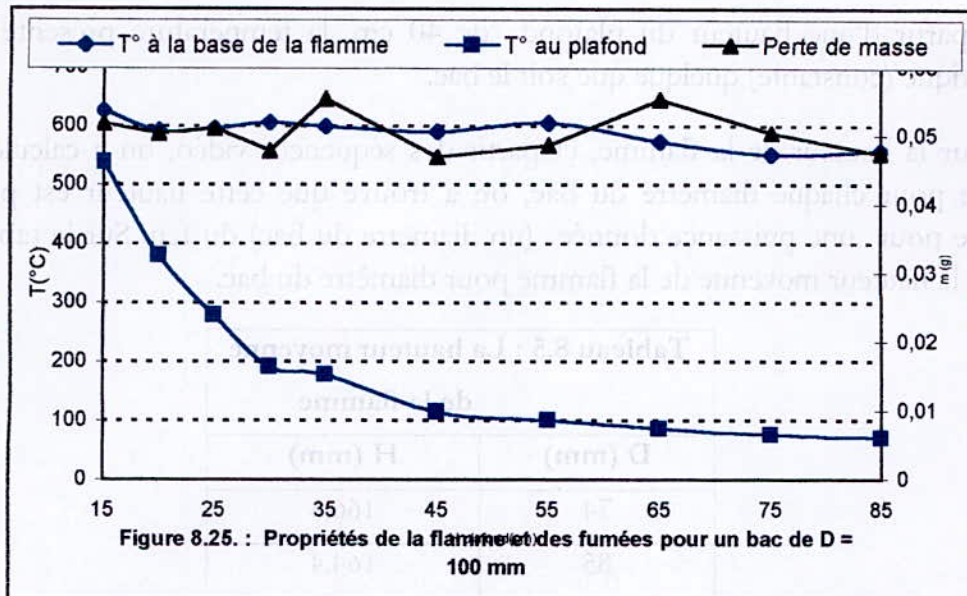


Figure 8.25. : Propriétés de la flamme et des fumées pour un bac de D = 100 mm

Pour les différents bacs on remarque que la température moyenne à la base de la flamme et le taux de perte de masse sont pratiquement constants. On déduit que cette température est indépendante du diamètre du bac (aux environs de 600°C), cependant le taux de perte de masse moyen augmente avec le diamètre du bac (tableau 8.3).

On définit la puissance du foyer par la relation suivante :

$$Q_C = \dot{m}_f \cdot PCI(TPH)$$

Où PCI : est le pouvoir calorifique inférieur du TPH qui est égal à 44467 KJ/Kg

D (mm)	M ₀ (g)	\dot{m}_f (g/s)	Q _C (KW)
74	20,5	0,0236	1,050
85	39,5	0,0302	1,343
100	51,5	0,0505	2,245

La température au plafond est décroissante qui présente la même allure quelque soit le bac, elle suit une évolution en puissance comme représenté sur le tableau 8.4 :

T (°C), D (m), H (m)	
D	T (H, D)
0,074	T (H) = 5221,5.H ^{-1,0518}
0,085	T (H) = 8621,8.H ^{-1,1563}
0,100	T (H) = 13104.H ^{-1,2053}

A partir d'une hauteur du plafond de 40 cm, la température présente une forme asymptotique (constante) quelque que soit le bac.

Pour la hauteur de la flamme, et partir des séquences vidéo, on a calculé la hauteur moyenne pour chaque diamètre du bac, on a trouvé que cette hauteur est pratiquement constante pour une puissance donnée (un diamètre du bac) du feu. Sur le tableau 8.5, on présente la hauteur moyenne de la flamme pour diamètre du bac.

D (mm)	H (mm)
74	166,8
85	164,4
100	198,4

Evolution de température au plafond en fonction de la puissance du feu

D'après les études faites par G. Heskestad [8] sur la flamme, la température au plafond est liée à la fois à la puissance du feu et à la hauteur du plafond par la relation :

$$T_p - T_0 = \left[\frac{9,11 \cdot T_0^{1/3}}{(\rho \cdot C_p)^{2/3} \cdot g^{1/3}} \cdot H^{-5/3} \right] \cdot Q_c^{2/3}$$

Avec :

T_p : est la température au plafond (K)

H : est la hauteur du plafond (m) ;

Q_c : est la puissance développée par le feu (KW) ;

T_0 : est la température ambiante est égale dans notre cas à 299 K (26 °C) ;

C_p : est la chaleur spécifique de l'air : $C_p = 1 \text{ KJ/Kg} \cdot \text{K}$;

ρ : est la masse volumique de l'air est égale à $1,2 \text{ Kg/m}^3$;

Pour comparer nos résultats par rapport cette corrélation, on a tracé la même fonction avec les résultats trouvés de puissance du feu et de la température T_p au plafond pour différentes hauteurs. Pour faire cette comparaison, on a tracé l'évolution de $(T_p - T_0)$ en fonction de la puissance du feu pour une hauteur du plafond donnée.

$$T_p - T_0 = A_e \cdot Q_c^{B_e}$$

Donc, théoriquement A_e et B_e correspondent à la quantité entre parenthèses sur la relation suivante et à la puissance $2/3$ de la puissance du feu respectivement sur la relation précédente.

D'après les résultats présentés sur la figure 8.26, on trouve que pour le coefficient B_e sont proches de la valeur théorique $2/3$, sauf pour quelques valeurs de H .

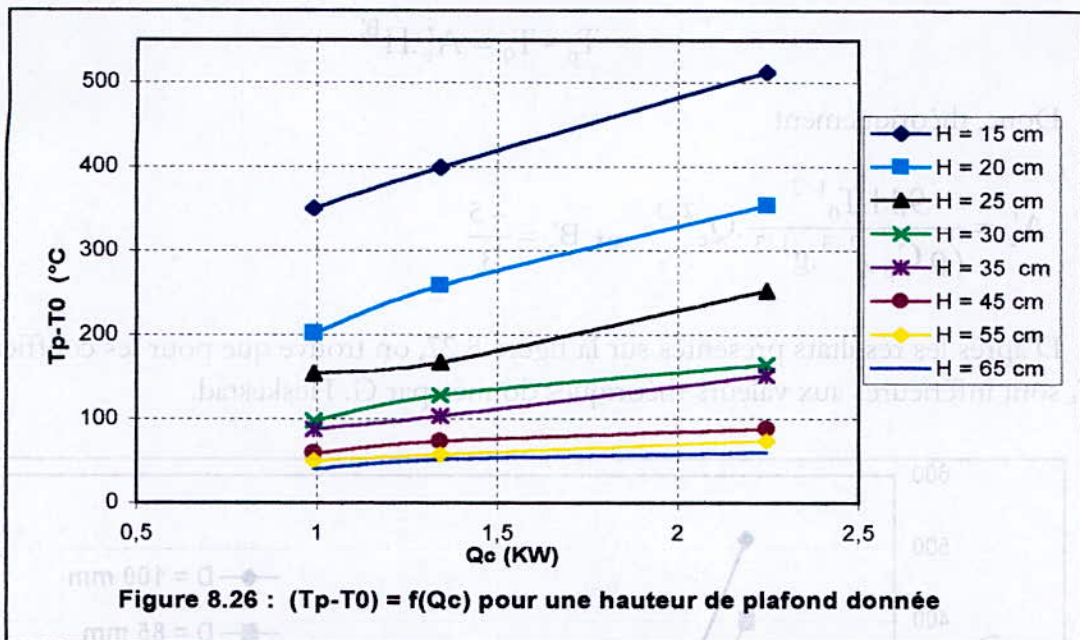


Tableau 8.6 : Les coefficients A et B trouvées expérimentalement

H (cm)	$(T_p - T_0)$ ($^{\circ}\text{C}$)	
	A_e	B_e
15	350,2	0,4674
20	206,3	0,679
25	148,7	0,625
30	101,3	0,624
35	86,9	0,676
45	61,4	0,468
55	50,4	0,474
65	42,4	0,440

Evolution de la température au plafond en fonction de la hauteur pour différentes puissances du feu Q_c :

Maintenant pour vérifier le coefficient de multiplication de H on a tracé la même fonction avec les résultats trouvés de la température avec la hauteur pour différentes puissances Q_c du feu, donc on va vérifier la fonction suivante :

$$T_p - T_0 = A'_e \cdot H^{B'_e}$$

Donc, théoriquement

$$A'_e = \frac{9,11 \cdot T_0^{1/3}}{(\rho \cdot C_p)^{2/3} \cdot g^{1/3}} \cdot Q_c^{2/3} \quad \text{et} \quad B'_e = \frac{-5}{3}$$

D'après les résultats présentés sur la figure 8.27, on trouve que pour les coefficients A'_e et B'_e sont inférieures aux valeurs théoriques donnée par G. Heskestad.

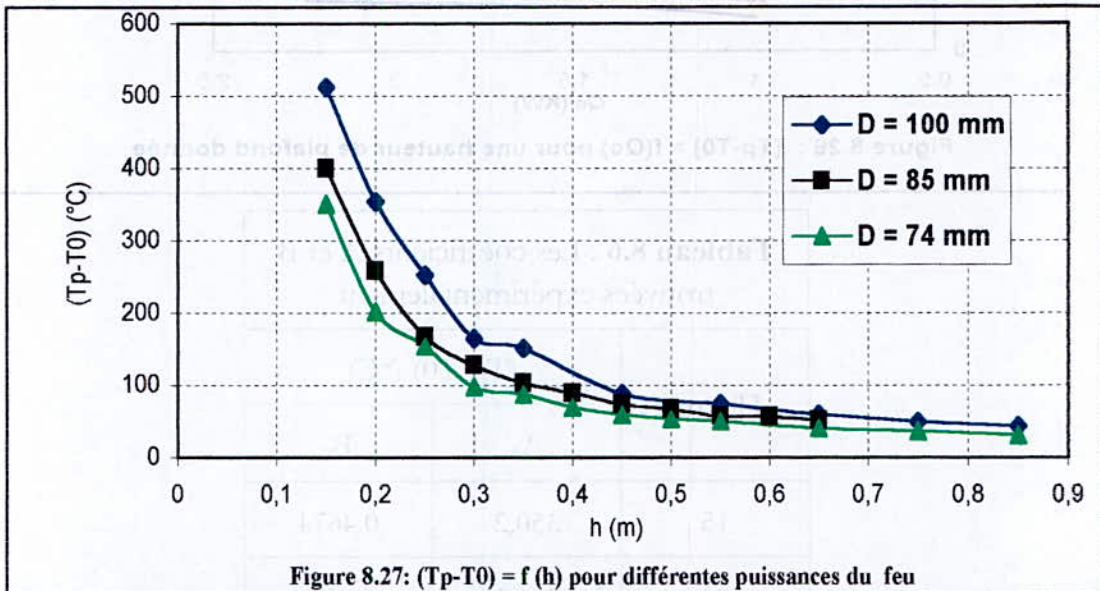


Figure 8.27: $(T_p - T_0) = f(h)$ pour différentes puissances du feu

Tableau 8.7 : L'écart de température au plafond : $(T_p - T_0)$ (°C), D (m), H (m)

D	T (H, D)
0,074	$(T_p - T_0) (H) = 31,8 \cdot H^{-1,456}$
0,085	$(T_p - T_0) (H) = 25,4 \cdot H^{-1,404}$
0,100	$(T_p - T_0) (H) = 21,1 \cdot H^{-1,365}$

8.4 Simulation numérique sur FDS (Fire Dynamics Simulator)

Ces dernières années l'évolution des codes de calcul a pris un nouvel élan, caractérisé par la méthode de résolution des équations gouvernantes dans le phénomène étudié, ou dans la technique de discrétisation des variables. Cette évolution s'est lancée grandioisement dans le domaine de la mécanique des fluides, en particulier les problèmes basés sur la résolution

des équations de Navier Stocks. Rappelons que ces dernières n'ont jamais pu être résolus de façon globale. Les difficultés résidantes dans ce contexte et les moyens mis pour les surmonter font la différence entre les codes de calcul. Les plus connus sont FLUENT, SAMCEF, ANSYS, CATIA.....

Cependant, puisque notre domaine encadre la filière des incendies et des feux, donc la plupart des codes cités ne font pas l'objet d'une description précise du phénomène de propagation de flammes et du feu. Par exemple, le code FLUENT ne permet pas de représenter le feu que par une corrélation théorique qui se base sur les caractéristiques du feu lui-même (flux de chaleur dégagé, température..). De plus les résultats ne sont décrits que par des valeurs qualitatives. Donc pour pouvoir envelopper tout le phénomène, il faut analyser les résultats de plusieurs codes, afin d'avoir la meilleure approche possible au problème.

L'idée d'étudier la dynamique d'un feu par des outils de simulation numérique remonte au tout début de l'informatique. Cependant, malgré la connaissance de l'ensemble des équations relatives à la dynamique des fluides, il existe de très nombreuses difficultés auxquelles il faut faire face pour obtenir des résultats raisonnables.

8.5.1 Le code de calcul FDS

A l'heure actuelle, les codes de calcul modélisant l'incendie en milieu confiné peuvent être classés en deux grandes familles :

- **Les codes dit à zones** : Les codes à zone sont basés sur une simplification tirée d'observations expérimentales. Cette simplification consiste à découper l'écoulement en deux zones homogènes : une zone haute ou couche chaude et une zone basse ou dite froide.

- **Les codes à champ ou codes dits "CFD"** (Computational Fluid Dynamics) : Les codes à champ sont basés sur la résolution complète des équations de la mécanique des fluides. Ils permettent de décrire finement un écoulement mais présentent une complexité de mise en œuvre beaucoup plus importante.

Un code à champ tel que FDS développé par le NIST (National Institute of Standard and Technology, USA), présente une mise en œuvre plus complexe qu'un code à zone. Un tel logiciel permet une modélisation beaucoup plus fine du développement de l'incendie.

FDS en tant que code de calcul se basant sur la résolution des équations de Navier Stocks à faible nombre de Mach, permet de simuler la propagation de fumée, de varier la puissance de l'incendie. Il utilise comme les autres codes les modèles LES (Large Eddy Simulation) qui balayent les différents spectres du problème.

Les objectifs poursuivis dans le développement du code FDS sont multiples. Premièrement en tant que code CFD, il permet la modélisation de la dynamique du feu. On peut penser qu'à terme avec l'amélioration croissante de la puissance de calcul il sera possible d'obtenir une résolution permettant une simulation de plus en plus proche de la réalité. Deuxièmement il est destiné à prévoir les conséquences d'un incendie dans de très diverses géométries. Il est à l'heure actuelle au cœur d'un programme entre le NIST et les industriels

américains pour améliorer la prédiction des moyens de protection (influences entre sprinklers, cantonnements et événements).

8.5.2 Le Model Mathématique de FDS

Le code de calcul FDS permet de balayer une grande plage de variation de la densité et de la température. Une importante remarque sur FDS est que la variation de pression est faible. Dans ces conditions, une approximation à la loi des gaz idéaux peut être déduite de sorte que la pression soit décomposée en une pression moyenne P_0 , une pression hydrostatique $\rho_\infty gZ$ (où Z est la distance verticale), et une perturbation $\tilde{p}(x,t)$. Cette approximation n'est valable que pour les écoulements à faible nombre de Mach, puisque la température est inversement proportionnel à la densité. Les équations de base du code FDS sont :

Conservation de la masse :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

Conservation de la quantité de mouvement :

$$\rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) + \nabla p = \rho \mathbf{g} + \mathbf{f} + \nabla \cdot \boldsymbol{\tau} \quad (2)$$

Conservation des espèces :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho Y_i) + \nabla \cdot \rho Y_i \mathbf{u} = \nabla \cdot \rho D_i \nabla Y_i + \dot{m}_i''' \quad (31)$$

Conservation de l'énergie :

$$\frac{\partial}{\partial t} (\rho h) + \nabla \cdot \rho h \mathbf{u} = \frac{Dp}{Dt} - \nabla \cdot \mathbf{q}_r + \nabla \cdot k \nabla T + \sum_i \nabla \cdot h_i \rho D_i \nabla Y_i \quad (32)$$

8.5.3 Le maillage

Il faut noter que sur FDS, seul le maillage structuré est faisable, ce qui caractérise un point faible pour FDS, car certains problèmes sont incompatible avec un tel maillage, donc les résultats peuvent être totalement aberrants. Notons aussi que la maillage non structuré est fonction de la géométrie du système. Sur FDS, le système doit être composé

8.5.4 Simulation du feu dans un local confiné : maquette thermique

Le but de cette partie est de comparer les résultats numériques et expérimentaux, et de comprendre tous les phénomènes présents dans le problème.

La maquette et ses composants sont générées sur FDS par la superposition d'obstacles, comme représenté sur la figure 8.28. (Voir Annexe pour le fichier du programme FDS)

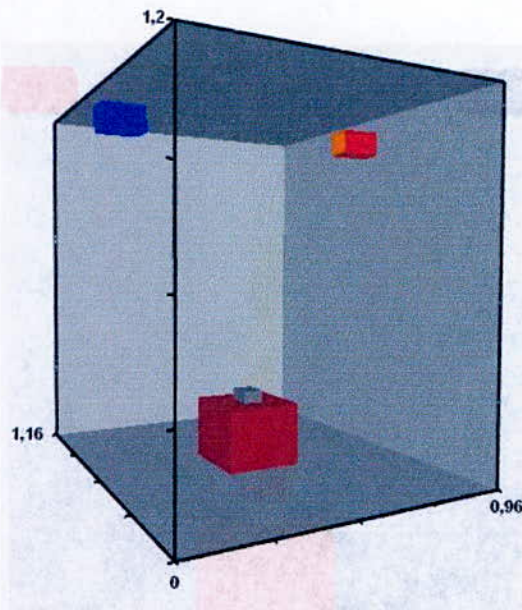


Figure 8.28 : La maquette thermique générée par FDS

Un maillage de 70x90x120 qui donne 756000 mails (volume de mail est 2,12 cm³) est choisis pour la simulation d'un feu dans un local confiné qui se déroule pendant 300 s, pour un taux de renouvellement TR = 9 sur la maquette avec une ventilation directe (non déviée).

8.5.5 Résultats de calcul

Pour effectuer cette simulation des conditions limites sont nécessaires à introduire. Pour notre modèle, on a imposé seulement les conditions de ventilations qui sont représentées par le taux de renouvellement TR = 9 on l'introduit comme une vitesse d'entrée et une vitesse de sortie ($V = 0,03$ m/s) réalisées par des ventilateurs en face, et la puissance par unité de surface (HRRPUA = 236) afin de définir le feu à simuler.

Pour comparer les résultats de FDS et des essais faits, on a présenté le champ de température dans un plan vertical au milieu de la maquette et un autre plan au niveau du plafond après 240 s (Figures 8.29 et 8.30).

A la base de la flamme on remarque que la température est inférieure à celle trouvée expérimentalement la même (de l'ordre de 300 °C) avec celle trouvée dans les essais pour le même taux de renouvellement ($T_p = 588$ °C dans les essais) (**Figure 8.29**). Au niveau du plafond (**Figure 8.30**), la température est pratiquement la même avec celle trouvée dans l'essai pour le même taux de renouvellement.

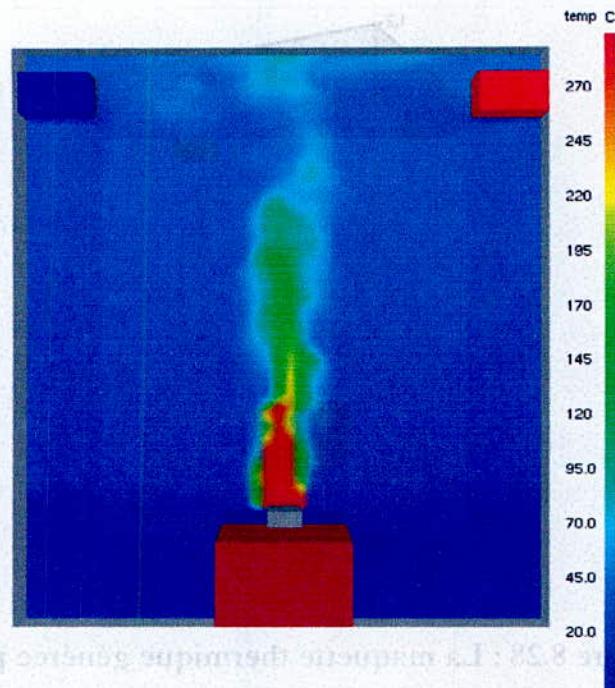


Figure 8.29: champ de température à 300 s

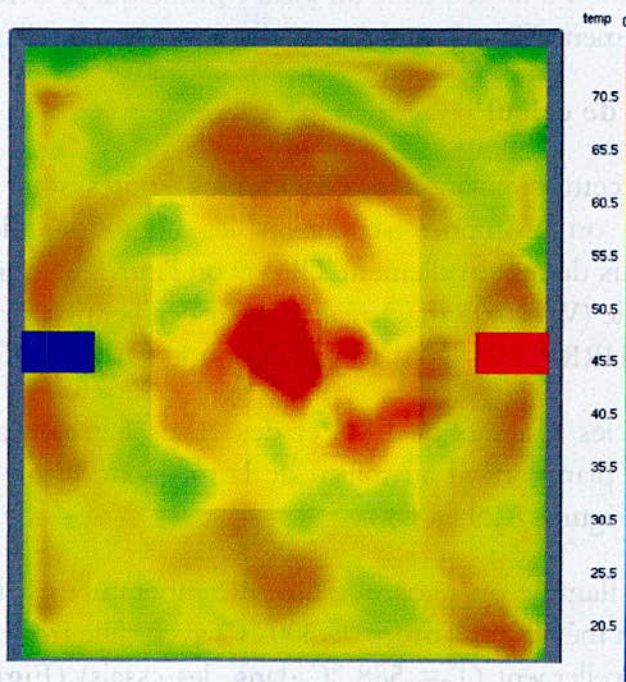


Figure 8.30 : champ de température sous le plafond à 300 s

Pour la température au plafond en fonction de la hauteur, on remarque que les deux résultats sont pratiquement les mêmes (une différence de 0,04 sur le coefficient de puissance de la hauteur) et les deux restent inférieures à $5/3$.

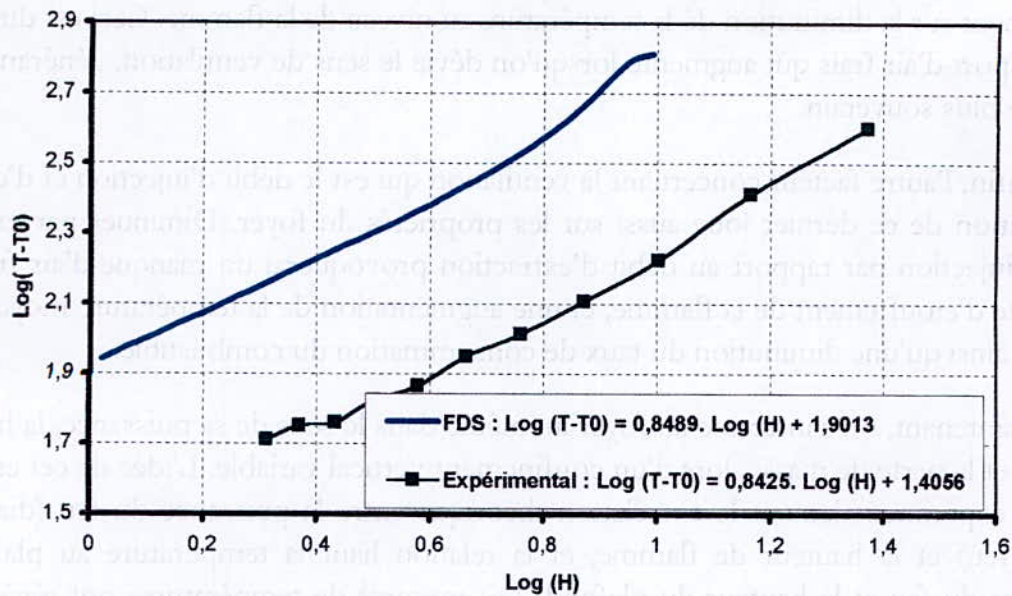


Figure 8.31 : Comparaison des résultats numérique et expérimentales

Les résultats expérimentaux : $\text{Log}(T-T_0) = 0,8425 \cdot \text{Log}(H) + 1,4056$

Les résultats Numérique par FDS : $\text{Log}(T-T_0) = 0,8489 \cdot \text{Log}(H) + 1,9013$

8.5 Récapitulatif

Les essais réalisés ont permis d'accoster à l'idée qu'énormément de paramètres entrent en jeu lors de l'étude du comportement de la flamme. On s'est basé principalement sur la variation de la configuration de ventilation, que ce soit le débit, ou le sens d'injection, ainsi que sur les paramètres de confinement qui jouent aussi un rôle primordiale.

Tout d'abord, pour les essais en confinement total, un seul effet se répète à chaque fois, justifiant la présence de forces de flottabilités qui tendent à élever la température au plafond, et diminuer la température en bas du local. De plus, des fluctuations de températures parfois très objectes apparaissent, ce qui nous fait penser aux turbulences générées dans le local, causées par les instabilités hydrodynamiques dues à la convection naturelle et forcée, ainsi qu'à la présence de couches de mélange. Par contre, la perte de masse présente un résultats uniforme durant tous les essais, malgré que parfois le phénomène de combustion n'est pas efficace comme on la vue dans le cas ou local est totalement confiné sans ventilation, c'est à dire une diminution du taux de consommation de combustible.

Dans les essais avec un confinement partiel (sans parois et sans plafond), l'explication serai différente puisque c'est pratiquement le cas d'un foyer à l'air libre. De ce fait, les phénomènes intervenant sont différents. Citons dans ce cadre seulement les facteurs extérieurs comme la température où la pression qui jouent sur le comportement de la flamme, où l'entraînement d'air frais est permanent. Pour résumer, le confinement joue directement sur l'augmentation ou la diminution de la température dans le local.

L'autre facteur le plus important est la ventilation, qui agit directement sur le régime de la flamme, ainsi que la combustion. On a vu que le changement du sens de ventilation agit

directement sur la diminution de la température au niveau de la flamme. Ceci est directement lié à l'apport d'air frais qui augmente lorsqu'on dévie le sens de ventilation, générant ainsi un brassage plus souverain.

Enfin, l'autre facteur concernant la ventilation qui est le débit d'injection et d'extraction. La variation de ce dernier joue aussi sur les propriétés du foyer. Diminuer par exemple le débit d'injection par rapport au débit d'extraction provoquerai un manque d'air frais, donc une sorte d'étouffement de la flamme, et une augmentation de la température moyenne dans le local, ainsi qu'une diminution du taux de consommation du combustible.

Maintenant, on s'intéresse au foyer lui même dans le sens de sa puissance, la hauteur de flamme et la perte de masse, lors d'un confinement vertical variable. L'idée de cet essai est de déduire expérimentalement la corrélation théorique entre la puissance du feu (diamètre du bac de feu) et la hauteur de flamme, et la relation liant la température au plafond à la puissance du feu et la hauteur du plafond. Les mesures de températures ont révélés que la température tend vers la température ambiante dans le local, au niveau du plafond, c'est une fonction de puissance inverse de la hauteur du plafond. Pour la hauteur de flamme, elle présente en moyenne une profil constant en fonction de la hauteur du plafond quelque soit le diamètre du bac utilisé.

Finalement, que ces essais sont faits, un classement des configurations des plus pénalisantes jusqu'à celle qui offrent le moindre chance au feu de se propager.

**LA PROPAGATION DES
FUMÉES SUR LA MAQUETTE
ADIABATIQUE**

9. La propagation des fumées sur la maquette adiabatique

9.1 Description de la maquette adiabatique

La maquette adiabatique (figure 9.1) qui est une copie réduite du dispositif réel réalisée à l'échelle 1/20, est composée de deux locaux contigus (local source et local cible) qui communiquent entre eux avec 3 modes différents : suivant une porte centrée, une gaine centrée ou une gaine excentrée. Les parois de la maquette sont en verre ce qui permet de réaliser des mesures de vitesse et des visualisations (voir l'annexe 3 figure 1).

Sur cette maquette, la puissance du feu est obtenue par le réglage du débit d'hélium injecté ajuster avec un débit mètre spécifique (voir l'annexe 3 figure 2). Pour effectuer des visualisations et des mesures de vitesse par la PIV, un système d'ensemencement est mise en place, qui est installé avec le circuit d'alimentation en hélium qui passe ensuite à travers le débit -mètre de la maquette.

Un dispositif de ventilation est mis en place dans le local cible qui permet d'assurer un renouvellement d'air, et qui est composé de deux ventilateurs : l'un pour l'extraction (fixe) et l'autre pour l'injection (déplaçable verticalement). Un trou d'injection est situé au centre du local source, afin de pouvoir simuler les fumées d'incendie.

Notre étude est limitée seulement au mode porte qui met en évidence le seul moyen de communication entre le local source et cible. Des mesures de vitesses (LDV et PIV) et de concentrations ont été réalisées dans différents endroits de la maquette et principalement au niveau de la porte, ainsi que des visualisations par tomographie Laser. Le calcul réalisé sur le code FDS (Fire Dynamic Simulations) permettra d'effectuer une comparaison entre les résultats obtenus.

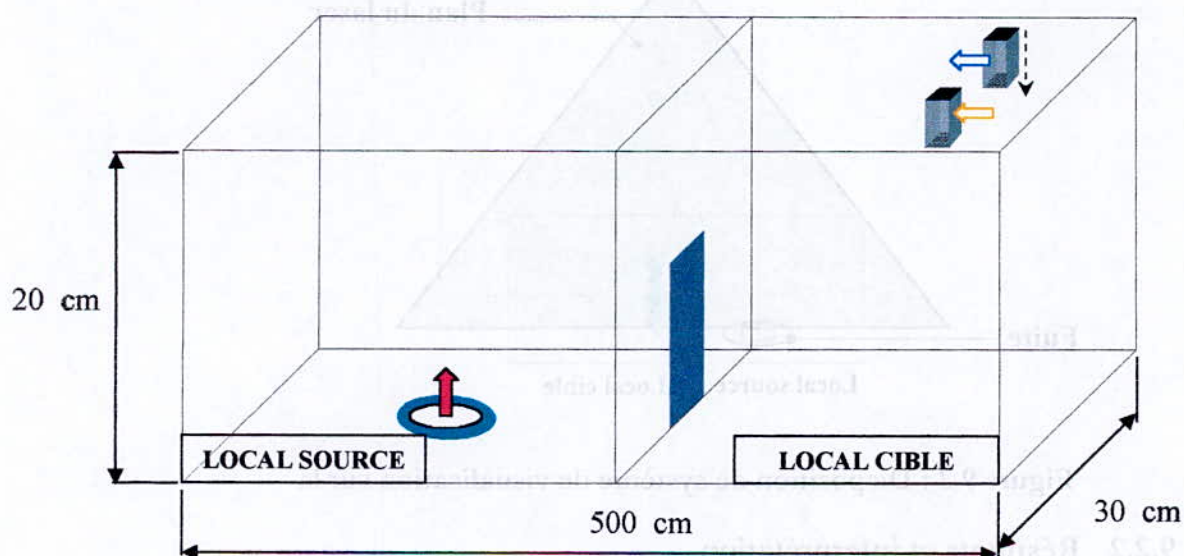


Figure 9.1 : Schéma de la maquette adiabatique

Notre étude sur la maquette adiabatique se limite à l'étude de l'écoulement au niveau de la porte, puisque les modes gaines ne sont pas traités, de plus c'est le seul moyen de communication entre les deux locaux.

9.2 Visualisation par tomographie LASER

La visualisation Laser est un outil très utile pour répondre aux questions qu'on se pose lors des mesures de vitesse où de concentrations. Des séquences vidéo ont été réalisées sur les visualisation faites sur notre maquette adiabatique, et cela pour différentes configurations de ventilation ont été étudiées. Sur le tableau 9.1 on présente la configuration de l'incendie simulé sur la maquette 1/20.

	TR (h ⁻¹)	Puissance (W)
Dispositif réel	10	86 x 10 ³
Maquette 1/20	45	48

9.2.1 Dispositif de visualisation :

La visualisation par tomographie Laser consiste à éclairer à l'aide d'une nappe continue de Laser, la partie qu'on veut étudier. Dans notre étude, on s'intéresse à l'écoulement au niveau de la porte, en particulier sur le transfert de masse présent entre les deux locaux. Ainsi la nappe Laser est disposée verticalement au plan de la porte, comme représenté sur la figure 9.2.

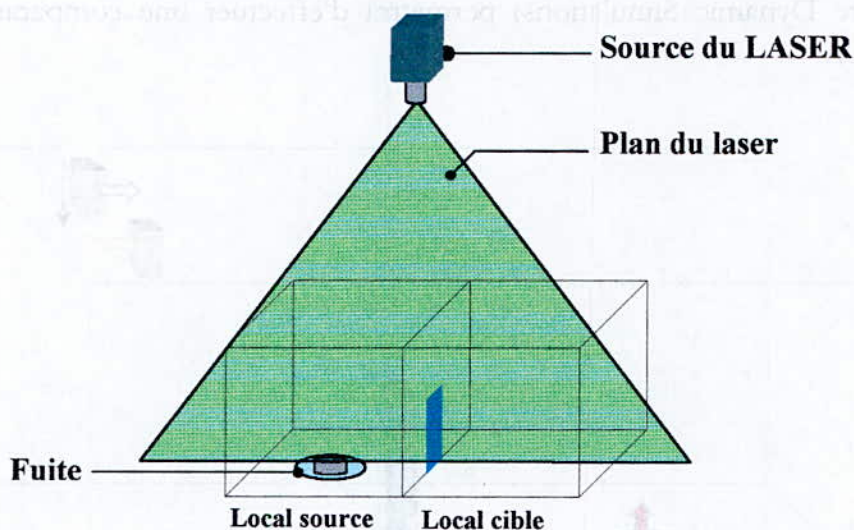


Figure 9.2 : Disposition de système de visualisation sur la

9.2.2 Résultats et interprétation

Différentes configurations de ventilations ont été réalisées (injection haute et basse, avec ou sans injection et extraction.), mais avec le même taux de renouvellement (TR=45) et la même puissance de feu (48 W). Les différentes configurations figurent sur le tableau 9.2, elles sont désignées par les lettres F (fermé), O (Ouvert), H (haute), B (basse)

Tableau 9.2 : Les différentes configurations de ventilation

Configuration	Extraction	Injection	Fuite
F-F-F	Fermée	Fermée	Fermée
F-F-O	Fermée	Fermée	Ouverte
F-O_H-O	Fermée	Ouverte	Ouverte
O-F_H-O	Ouverte	Fermée	Ouverte
O-O_H-O	Ouverte	Ouverte_Haute	Ouverte
O-O_B-O	Ouverte	Ouverte_Basse	Ouverte

Une différence peut être constatée lors de la présence de fuite dans les deux premiers cas (figure 9.3), il apparaît bien que la fraction massique de l'hélium dans les deux locaux dans **F-F-F** est plus importante que **F-F-O**. Ceci est la conséquence de la création d'une différence de pression générée par la fuite, qui facilite le mouvement des fumées vers l'autre local (retour vers le local source après 36 s (**F-F-O**) au lieu de 48 s (**F-F-F**)). Cette différence de pression fait que les fumées sont plus stratifiées au plafond pour **F-F-F** que pour **F-F-O**. Il faut noter aussi que des effets de dilution interviennent lors de la présence d'un apport d'air, ce qui diminue la flottabilité du mélange gazeux.

Maintenant, la présence d'une injection haute et sans extraction avec fuite (**F-O_H-O**) a généré un gradient de pression dans le dispositif facilitant ainsi le passage des fumées entre les locaux (après 6 s), ce qui affecte la densité des fumées dans le local source (elles deviennent plus diluées), et favorisant l'apparition de mouvements aléatoires. Soulignons aussi le changement de la forme et l'épaisseur de jet, conséquence de la quantité d'air injecté (sens de l'injection opposé à celui du jet sortant de la porte), ce qui perturbe le jet et l'écoulement des fumées dans le local cible. Notons aussi que l'effet de dilution est toujours présent dès qu'il y a un entraînement d'air.

Par contre dans la configuration inverse **O-F_H-O** (extraction sans injection), la concentration des fumées est plus importante, avec un jet qui présente un changement de forme et de densité, ce qui conduit à un temps de retour plus élevé (43 s (**O-F_H-O**) au lieu de 34 s (**O-F_H-O**)). Ce dernier est plus allongé dans le cas d'une extraction active (injection fermée), puisque il est « absorbé » par le mouvement d'aspiration du ventilateur, donc avec un débit plus important.

L'écoulement des fumées contre la paroi droite du dispositif sous l'effet des forces d'inertie générées par l'extraction provoque l'apparition de formes tourbillonnaires (zones de recirculation) dans tout le local cible. Une zone tourbillonnaire peut être aussi constatée en haut de la porte, qui est le résultat d'une augmentation brusque de la section de passage du fluide. Ce phénomène est généralement présent dans les écoulements dans les conduites à élargissement brusque.

La mise en marche du ventilateur d'injection en position haute permet un bon panachage de l'air frais et des fumées et fait qu'elles sont plus diluées avec une bonne diffusion des deux phases présentes. Donc dans le cas d'une extraction haute et injection basse, et dans le cas où la diffusion est moins efficace, alors l'aspiration des fumées est plus facile car elles sont

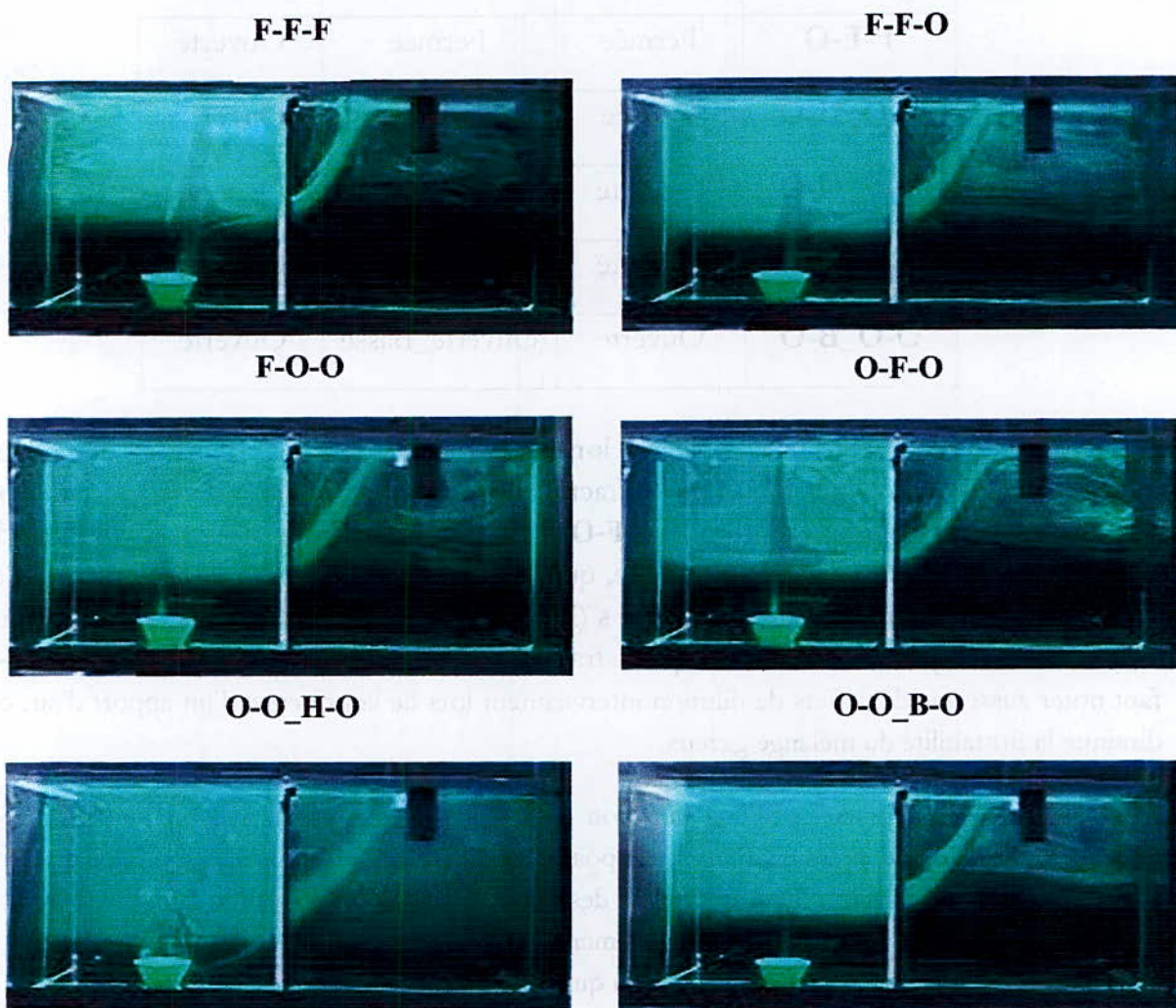


Figure 9.3: Les résultats obtenus pour les différentes configurations

stratifiées au plafond, et leur faible densité permet de les entraîner aisément vers la bouche d'extraction. En plus l'air frais occupe seulement le bas du local, donc favorise la stratification rapide des fumées.

D'après ces résultats, il est clairement visible que les phénomènes de stratification et de passage du fluide entre les deux locaux, sont plus affectés par la convection forcée que par la convection naturelle.

9.3 Mesures LDV réalisées sur la porte :

9.3.1 Description du dispositif de mesure :

La sonde LDV est disposée de sorte à ce que le volume de mesure soit sur l'axe de la porte. On s'intéresse particulièrement à la vitesse normale à la porte puisqu'on veut avoir une idée sur le débit transmit du compartiment source vers le local cible.

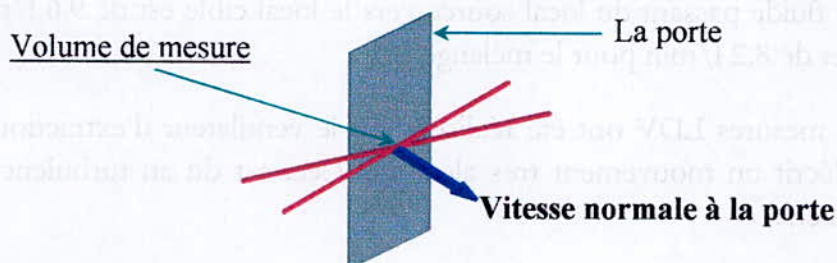


Figure 9.4: Disposition du volume de mesure par rapport à la porte

9.3.2 Résultats :

Les profils de vitesse obtenus avec et sans mélange sont représentés sur la figure 9.5.

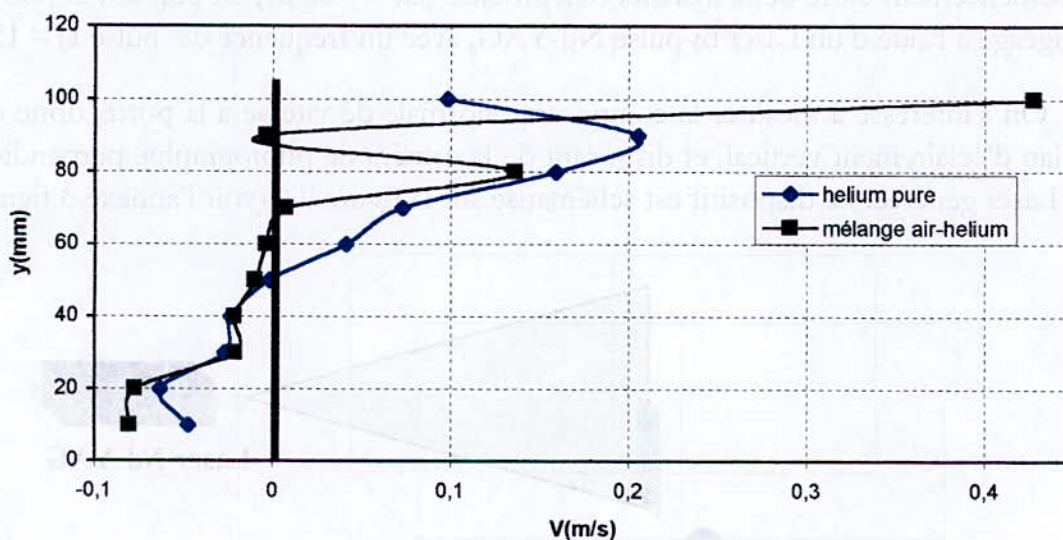


Figure 9.5 : Profil Moyen au niveau de la porte

Sur la figure 9.5, on représente le profil de vitesse normale à la porte (représentée en trait bleu épais), on remarque une allure non uniforme caractérisée par une valeur maximale atteinte en haut de la porte ($y=100$ mm à partir de sa base), de 0.45 m/s pour le mélange, et 0.2 m/s pour l'hélium seul, atteinte en $y = 90$ mm (ce qui donne une vitesse moyenne à travers la porte de $0,041$ m/s donc $Q_{\text{Hélium}} = 9,5$ l/min). On distingue également un phénomène de retour d'écoulement défini par l'inversion du sens de la vitesse, au voisinage de $y=60$ mm pour les deux cas.

En fait le jet injecté dans le local source pénètre dans le local cible à travers la porte qui exerce sur l'air présent dans ce dernier des forces de volumes, qui tendent à le pousser

vers le local source, et puisque le mélange à une densité plus faible que l'air pur, donc la poussée se fait dans le bas de la porte, ce qui crée des vitesses négatives. Une comparaison entre les deux cas montre que qualitativement le résultat est acceptable, malgré que le débitmètre utilisé qui présente quelques anomalies, et cela se remarque rapidement sur la valeur de la vitesse en $y=90$ mm pour le mélange, car certainement elle est aberrante. De plus l'ensemencement se fait avec des sels d'ammonium, qui ne sont pas très efficaces avec l'hélium pour être détectés par le photodétecteur de la sonde LDV. A titre d'exemple, le débit moyen de fluide passant du local source vers le local cible est de 9.6 l/min pour le cas d'hélium pure, et de 8.2 l/min pour le mélange.

D'autres mesures LDV ont été réalisées sur le ventilateur d'extraction, cependant le profil obtenu décrit un mouvement très aléatoire. Ceci est dû aux turbulences générées au près de ces derniers.

En résumé, la puissance convective ou la puissance transmise du local source vers le local cible à travers la porte pour une injection d'hélium est de 48 W.

9.4 Mesures de vitesse au niveau de la porte par PIV :

La mesure PIV se base sur la détermination du déplacement de particules d'ensemencement entre deux instants très proches ($\Delta t = 700 \mu s$) en utilisant la photographie par figeage à l'aide d'un Laser bi-pulsé Nd-YAG, avec une fréquence de pulse $f_0 = 15$ Hz.

On s'intéresse à mesurer la composante normale de vitesse à la porte, donc on réalise un plan d'éclairage vertical, et disposant de la caméra de photographie perpendiculaire au plan Laser générée. Le dispositif est schématisé sur la figure 9.6 (voir l'annexe 3 figure 3).

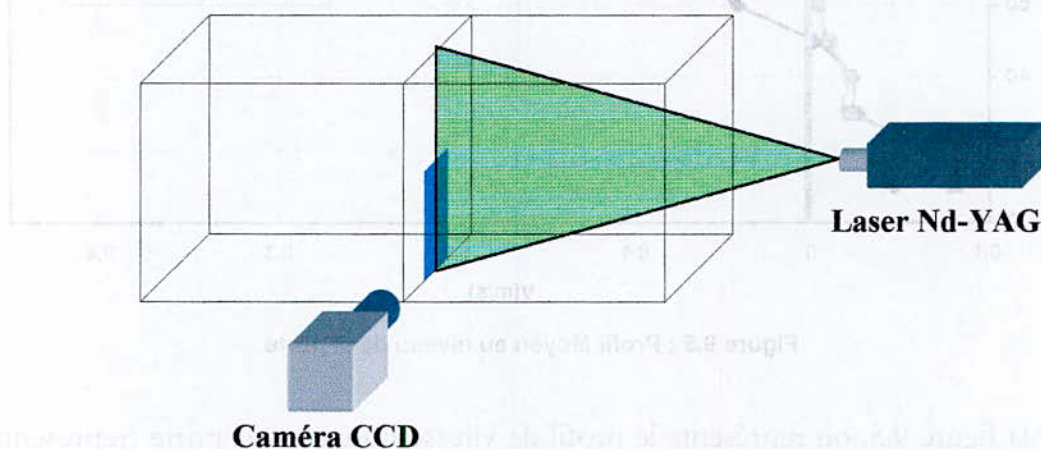


Figure 9.6: Disposition de système de mesure PIV sur la porte

La mesure PIV se fait avec l'hélium pur et avec mélange air hélium. Ceci permet d'étudier deux puissances de feux différentes. L'acquisition se fait sur plusieurs intervalles de temps Δt .

9.4.1 Injection d'hélium pur :

Le débit d'injection est de 7.5 l/min, qui correspond à une puissance de 38 W et cela pour les deux cas. Pour le taux de renouvellement, il est de TR5 (sur l'échelle réel).

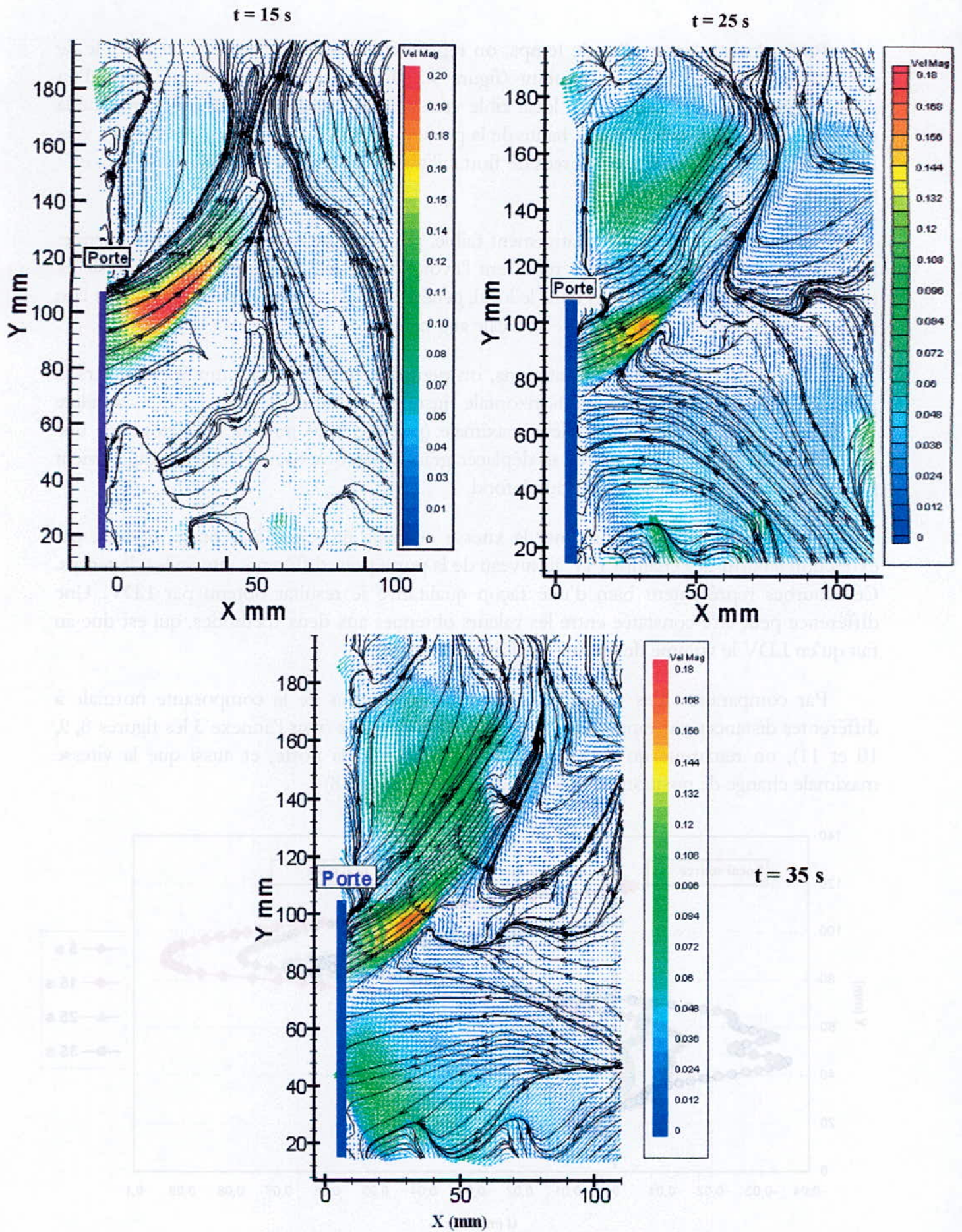


Figure 9.7 : Les champs moyens de vitesse et les lignes de courants au niveau de la porte pour différents instants ($\Delta t = 10\text{ s}$) (Hélium pur)

Pour plusieurs intervalles de temps, on représente les champs moyens du module de vitesse, ainsi que les lignes de courant (figure 9.7) LDV, on remarque la présence d'un phénomène de retour de fluide du local cible vers le local source. De plus, on remarque la présence d'un « jet » dans la partie haute de la porte qui est due à la montée des fumées vers le plafond sous l'action de leurs forces de flottabilités (voir l'annexe 3 les figures 4, 5, 6, et 7 pour les champs de vitesse).

La vitesse dans ce jet est relativement faible, pouvant atteindre 0.18 m/s en moyenne. Les différents intervalles de temps montrent l'évolution du jet, ainsi que l'effet de plusieurs zones de re-circulation présentes dans le local, générées par la ventilation. En outre, plus l'on s'éloigne de la porte et plus la vitesse verticale augmente.

Comme une premières constatations, on peut dire que le jet des fumées à travers la porte se déplacer avec une vitesse horizontale juste au niveau de la porte, et qui s'accélère par la suite pour atteindre une valeur maximale (presque à 20 mm de la porte) avec une déviation plus grande. Après il va se déplacer grâce à la composante verticale qui devient plus importante en se rapprochant du plafond.

Sur la figure 9.8, on représente la vitesse normale moyenne à la porte, déduite par extraction à partir des champs PIV au niveau de la porte pour différents intervalles de temps. Ces courbes représentent bien d'une façon qualitative le résultat obtenu par LDV. Une différence peut être constatée entre les valeurs obtenues aux deux méthodes, qui est due au fait qu'en LDV le volume de mesure été loin de la porte.

Par comparaison des valeurs ou des résultats obtenus de la composante normale à différentes distances par rapport à la porte et pour $\Delta t = 40$ s (voir l'annexe 3 les figures 8, 9, 10 et 11), on remarque qu'elle diminue en éloignant de la porte, et aussi que la vitesse maximale change de position en fonction du temps (figure 9.8)

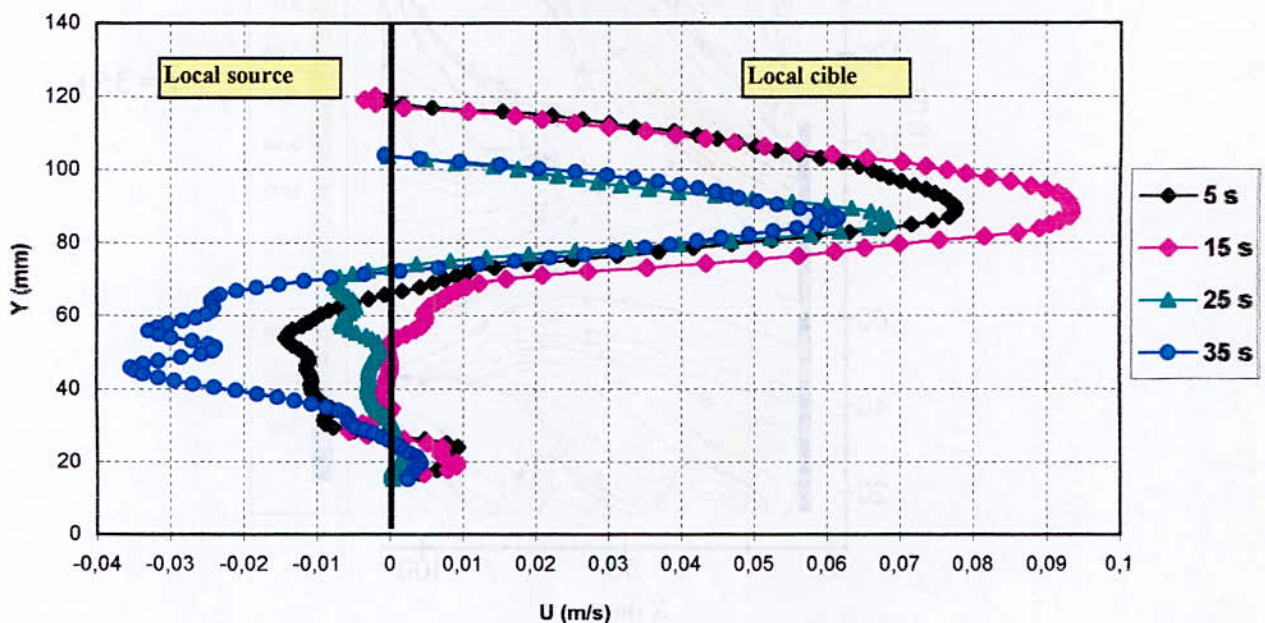


Figure 9.8 : Profils de la vitesse normale en aval de la porte

Rappelons que ce débit n'est qu'une signification qualitative du transfert de masse entre les deux compartiments, puisque l'évaluation des erreurs de mesures s'est avérée délicate.

9.4.2 Injection d'un mélange Air –Hélium:

Cette configuration permet d'étudier une autre puissance de feu, donc l'effet des forces de flottabilité sera certainement différent. Seulement que dans cet essai, on traite qu'un seul intervalle de temps. Pour le même débit d'injection, on retrouve les champs présentés sur la figure 9.9.

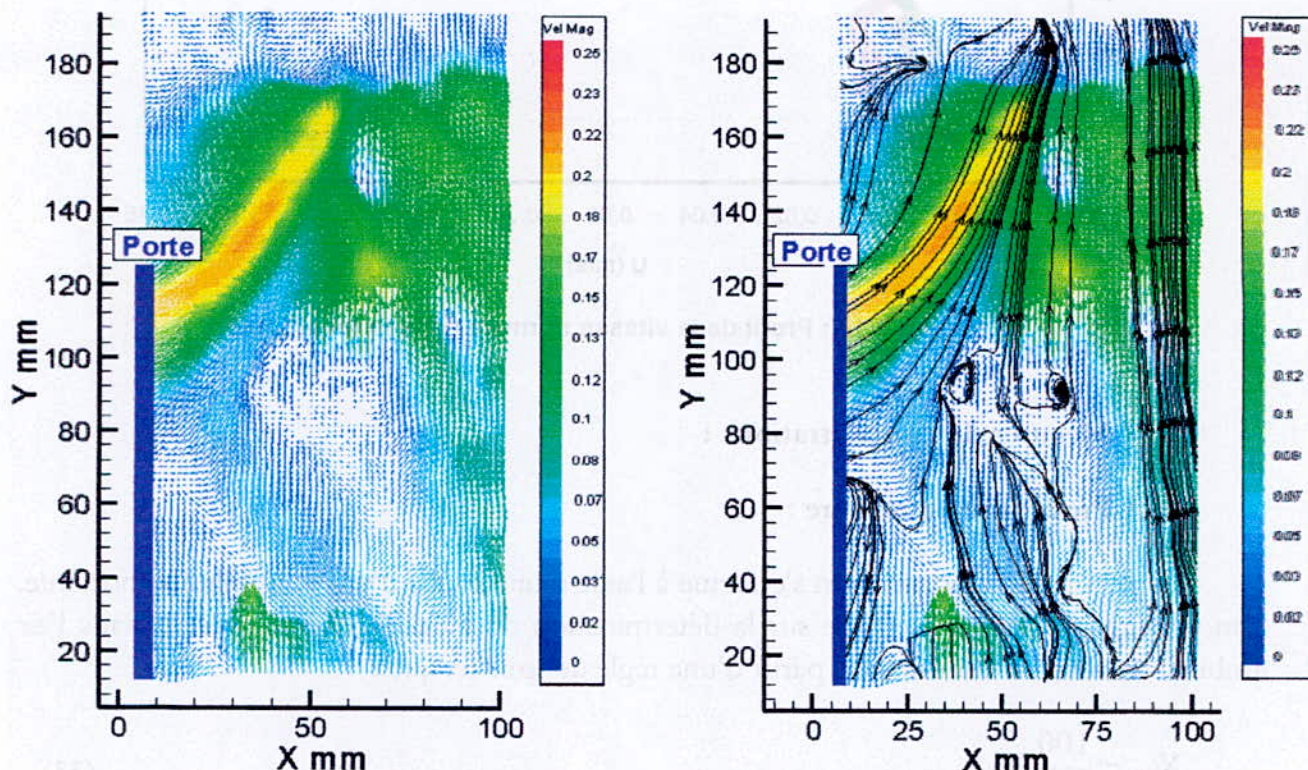


Figure 9.9 : Le champ moyens de vitesse et les lignes de courants au niveau de la porte avec un mélange air –Hélium

En traversant la porte, les fumées montent s'accablent au plafond, après que la composante de la vitesse verticale est devenue dominante par rapport à la composante horizontale. C'est le point qui différencie les deux cas d'études, puisque la composante de vitesse verticale est plus importante dans ce cas que celui où on travaillait avec l'hélium pur. En fait, c'est l'effet des forces d'Archimède qui prédomine. Dans le jet sortant du local source, la vitesse est de l'ordre de 0.25 m/s, qui est supérieure à celle de l'hélium pur qui été de 0.18 m/s.

Sur la figure 9.10, on représente la composante de vitesse normale par rapport à la porte, et cela pour différents plans d'extractions, qui sont les plans à partir des quels on détermine les valeurs de vitesse à partir de points précis sur le champ de vitesse.

On peut aussi la même remarque pour la première configuration, que la vitesse normale diminue en éloignant de la porte

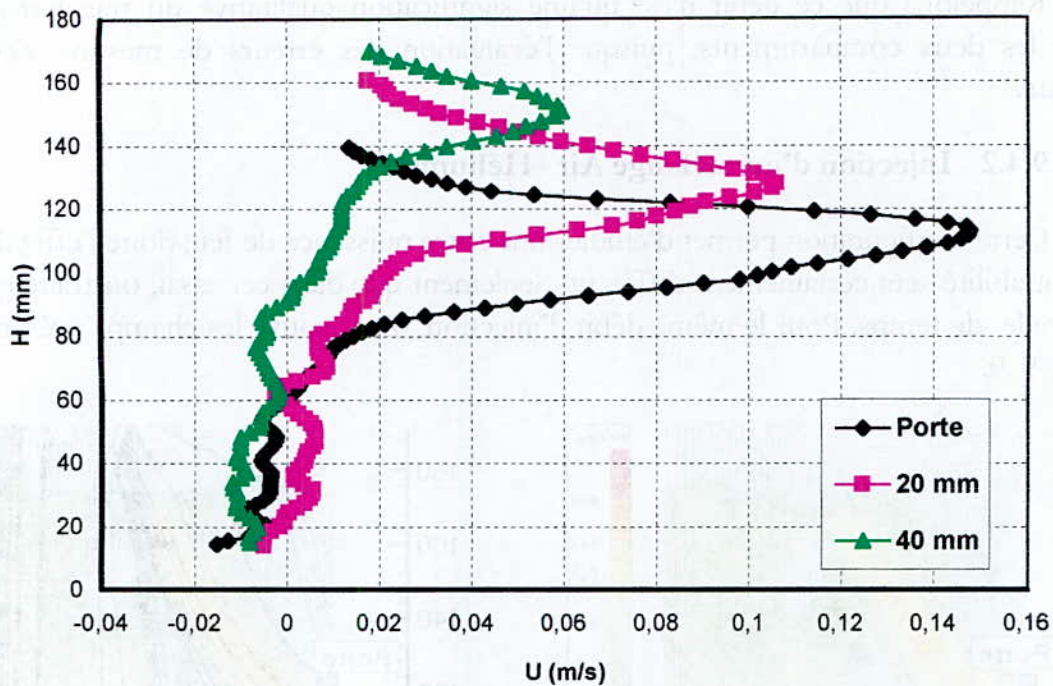


Figure 9.10 : Profil de la vitesse normale dans le local Cible

9.5 Mesures de concentrations :

9.5.1 Procédure de mesure :

La mesure de concentration s'effectue à l'aide d'une sonde d'une sensibilité importante. Son principe de mesure se base sur la détermination du taux d'oxygène présent dans l'air ambiant. Ce dernier est calculé à partir d'une règle de trois tel que :

$$X_{\text{air}} = \frac{100}{21} X_{\text{o}_2} \quad (33)$$

Ainsi :

$$X_{\text{He}} = 1 - X_{\text{air}} \quad (34)$$

A partir du taux d'hélium présent dans le local, on détermine la température équivalente, c'est-à-dire la température qui représente l'écart de densité correspondant au taux d'hélium, avec :

$$T_e = \frac{\rho_0}{\rho_M} T_0 \quad (35)$$

9.5.2 Mesure au niveau de la porte :

Les résultats obtenus au niveau de la porte sont représentés sur la figure 9.11

Une remarque importante concernant le temps de détection de la présence d'hélium, donc le temps de passage de la fumée (hélium ensemençé) qui est de l'ordre de 10 s, où la

concentration a passé de 0 à 7 %. L'autre remarque importante, est que le remplissage du local cible provoque une augmentation de moins en moins rapide du taux d'hélium présent. Après 250 s (≈ 4 min) le taux d'hélium est pratiquement constant. Cependant pour la température équivalente, elle présente une croissance continue dès le début de remplissage du local cible.

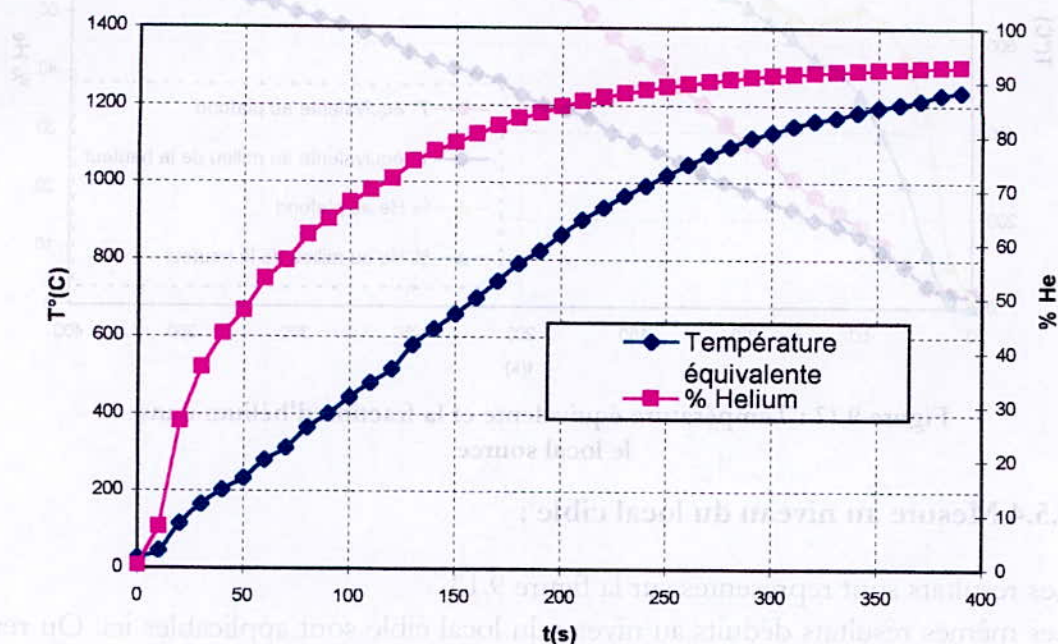


Figure 9.11 : Température équivalente et fraction d'hélium au niveau de la porte

9.5.3 Mesure au niveau du local source :

La mesure s'est effectuée au milieu de la hauteur du local et au plafond, ceci permet de connaître les niveaux de concentrations dans le local. Les résultats révèlent que la concentration au niveau du plafond est plus importante que celle au milieu de la hauteur (figure 9.12). C'est un résultat attendu puisque on sais que les fumées (hélium) de densité faible par rapport à l'air tendent à s'accumuler au plafond. Pour le temps de remplissage, il avoisine les 5 minutes (300 s), puisque le profil de concentration tend vers une asymptote. De plus il est normal que la température au plafond est importante, causée par l'accumulation des fumées déjà citée.

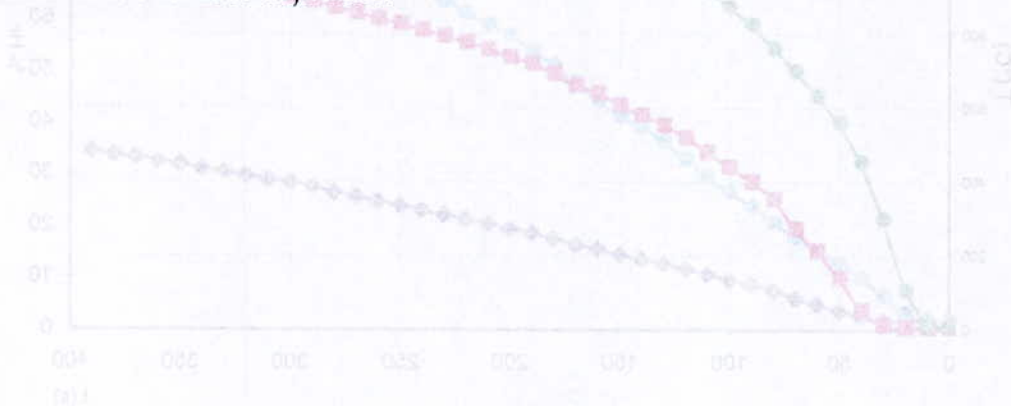


Figure 9.12 : Température équivalente et fraction d'hélium dans le local source

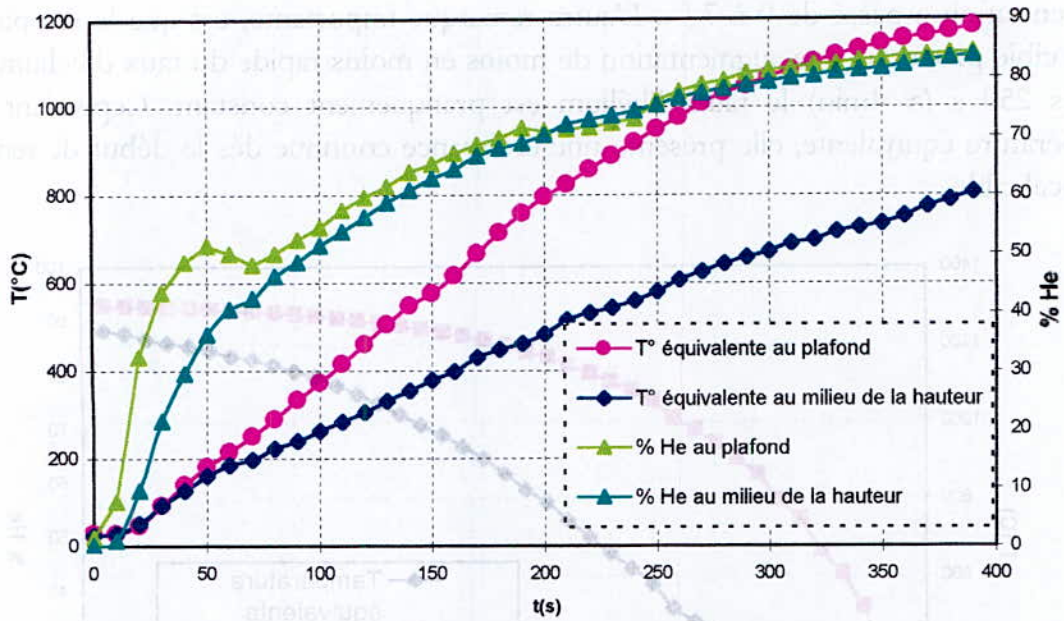


Figure 9.12 : Température équivalente et la fraction d'hélium dans le local source

9.5.4 Mesure au niveau du local cible :

Les résultats sont représentés sur la figure 9.13

Les mêmes résultats déduits au niveau du local cible sont applicables ici. On remarque en plus, que le temps de détection cette fois ci est de l'ordre de 40 s au niveau du plafond. Il paraît peut être contradictoire que ce temps de détection soit supérieur à celui obtenu au milieu de la hauteur, mais il faut savoir que dès que la fumée franchit la porte, elle monte vers le plafond ensuite descend vers le bas avec une faible vitesse donc un intervalle de temps plus long. Pour la température équivalente, c'est normal qu'elle soit supérieure à celle du milieu de la hauteur.

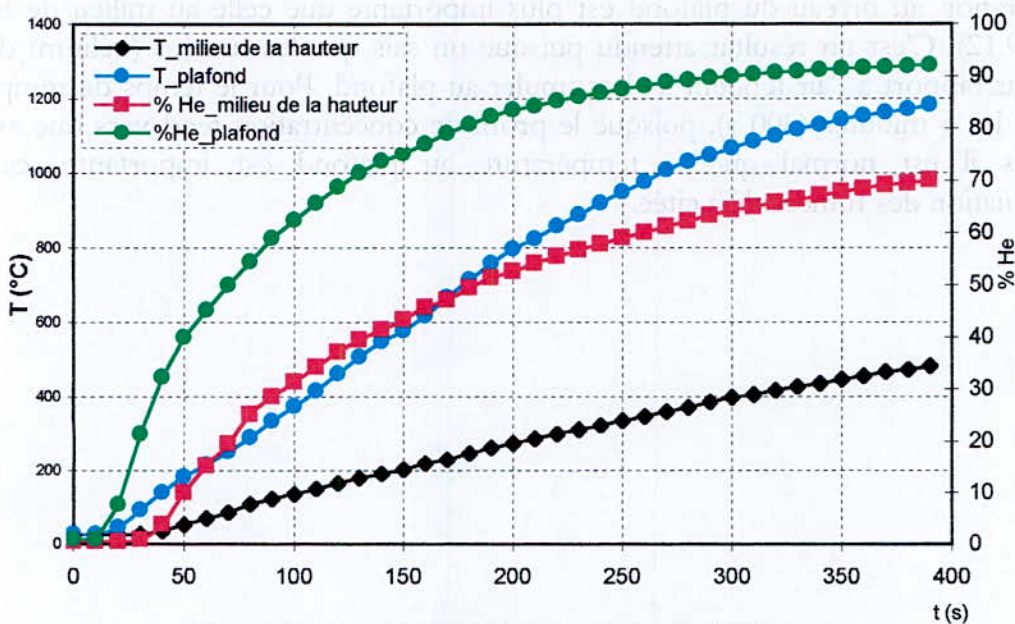


Figure 9.13 : Température équivalente et la fraction d'Hélium dans le local cible

Entre les deux locaux, le même ordre de grandeur des températures équivalentes est déduit. En effet, les deux locaux sont très proches, donc un refroidissement éventuel n'a pas trop de chance de se produire, et cela dépend dans les concepts des choses de la ventilation, et du taux de renouvellement.

9.6 Modélisation sur FDS

La géométrie est reproduite de sorte à conserver les dimensions de la maquette 1/20 (figure). Le maillage est composé de 120×80×60 cellules. Les conditions aux limites sont (voir l'annexe pour le programme FDS):

- TR=5 et TR=10
- Débit d'injection = 7.5 l/min (puissance d'un foyer de 38 W)

Les résultats des deux taux de renouvellement sont représentés comme suit (figure 9.16 et 9.17) :

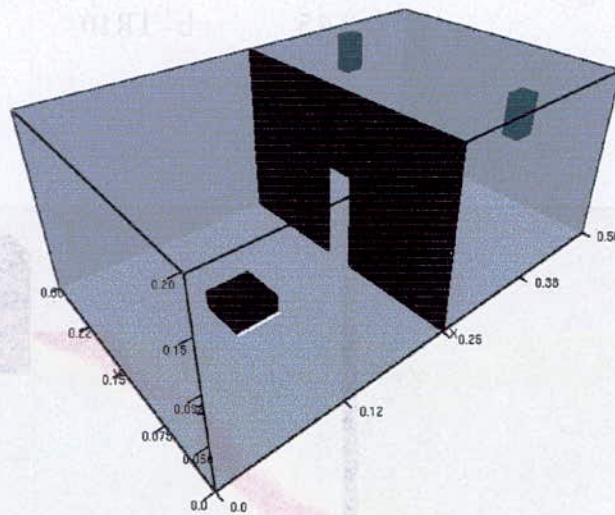


Figure 9.14 : la maquette adiabatique sur FDS

9.3.3 Résultats de calcul

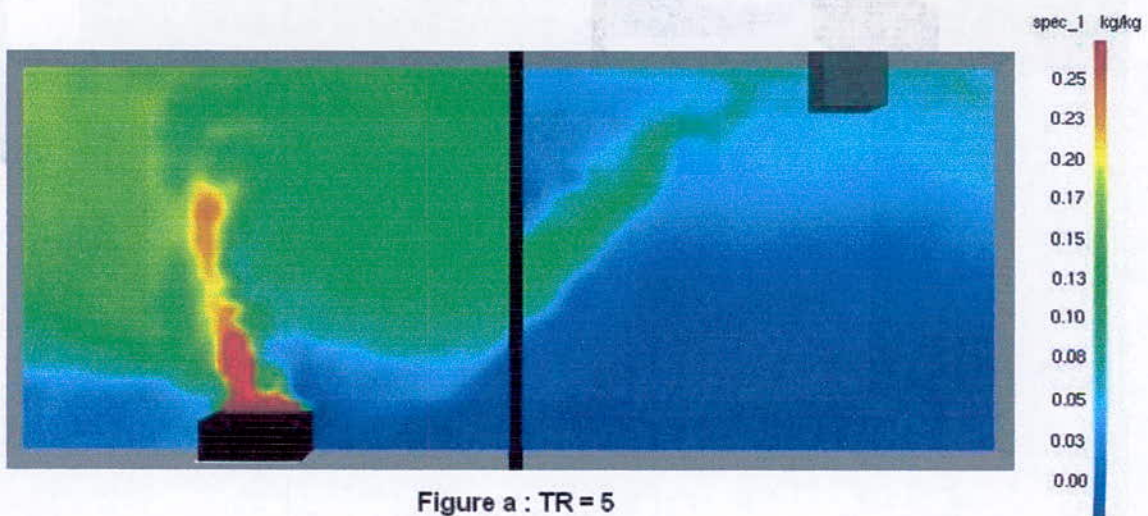


Figure a : TR = 5

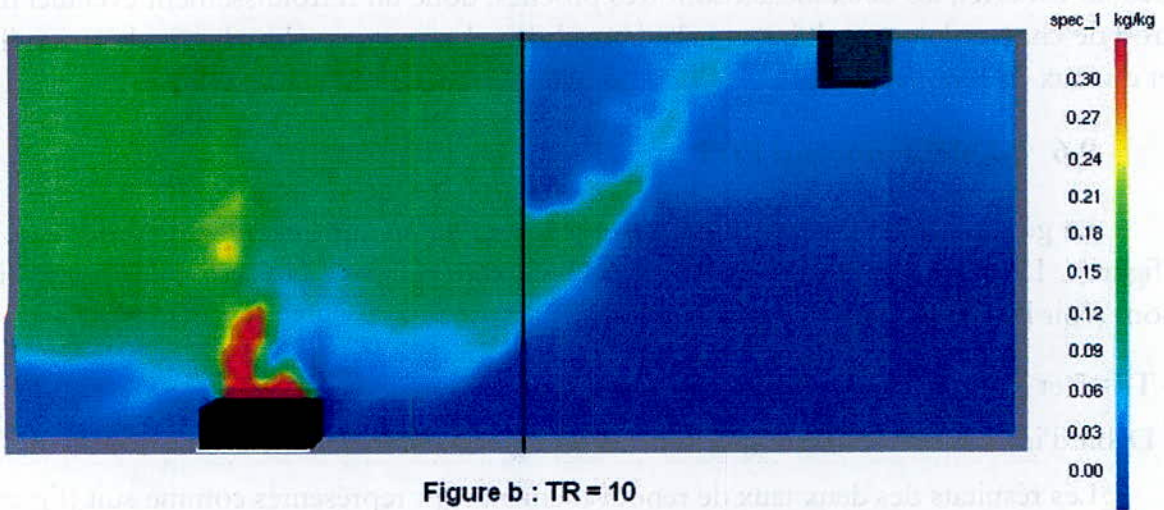


Figure b : TR = 10

Figure 9.15 : Concentration d'hélium après 35 s
a- TR5 b- TR10

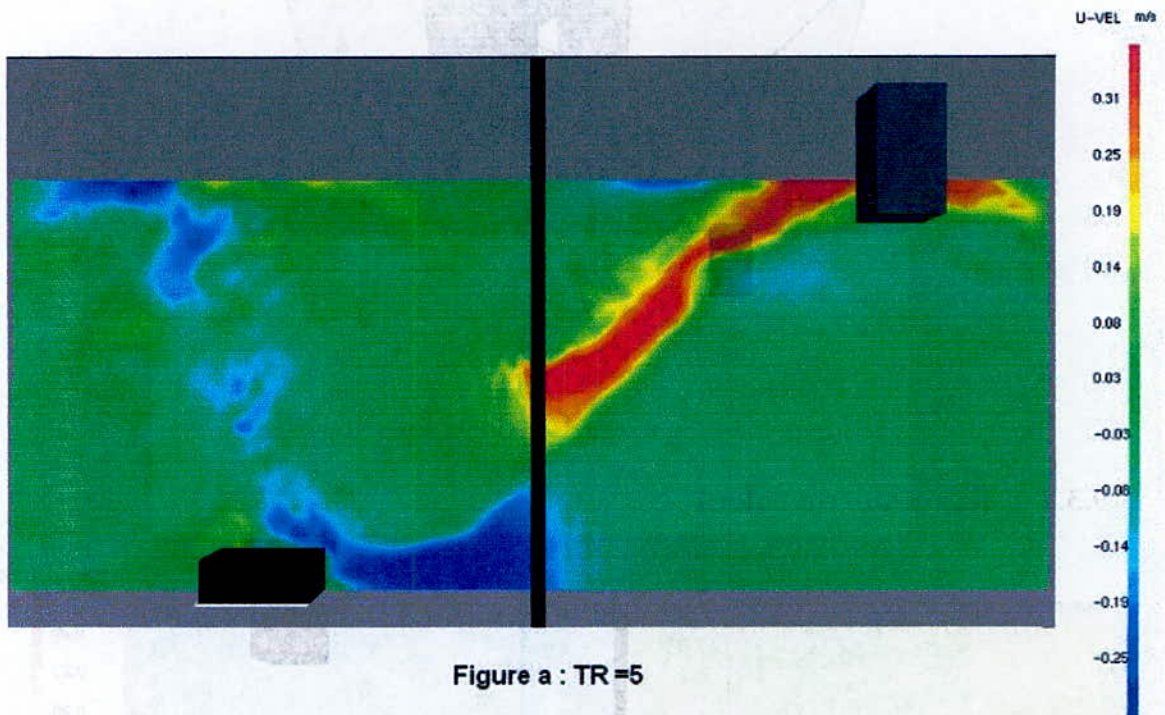


Figure a : TR = 5

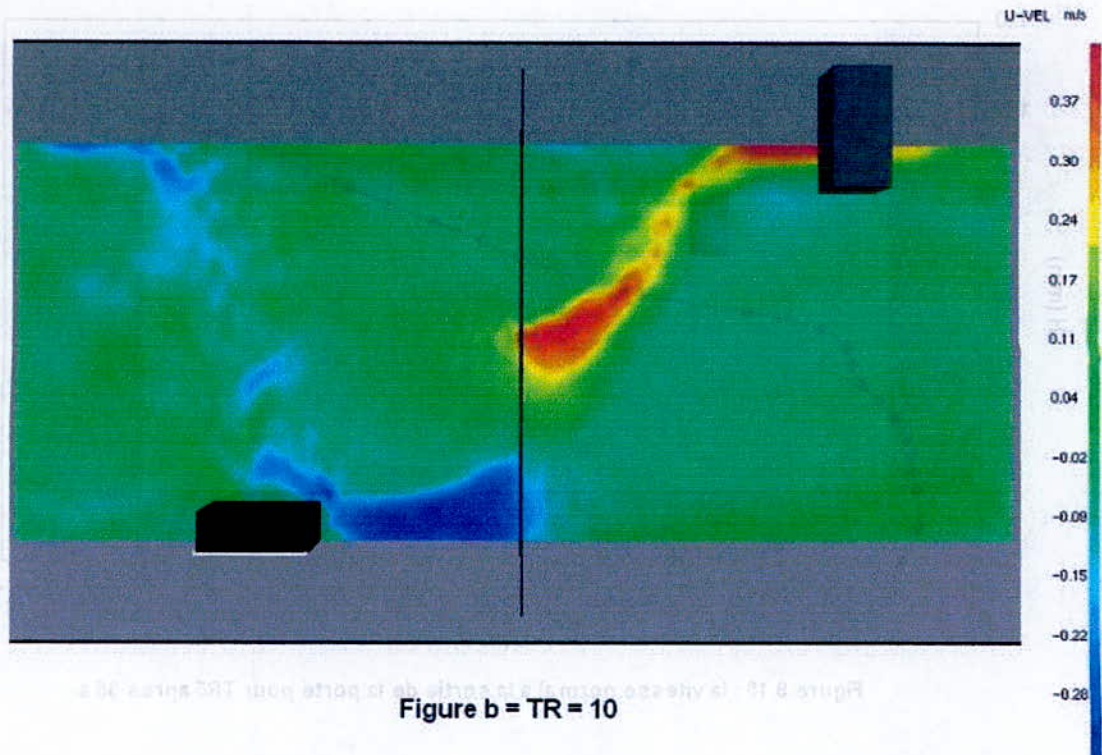


Figure b = TR = 10

Figure 9.16 : Champ de vitesse normale après 35 s

a - TR = 5 b - TR = 10

Les résultats sont sensiblement similaires, c'est-à-dire que les vitesses sont pratiquement les mêmes dans les deux cas, mais on remarque une certaine discontinuité de jet pour le taux de renouvellement de 10, ce qui démontre la faiblesse de ceci pour ce cas. De plus, la seule chose qui peut différencier les deux taux de renouvellement est la concentration de l'hélium, puisqu'on a vu en visualisation que l'augmentation du débit d'injection ou d'extraction influe sur la dilution de l'hélium. En effet, augmenter le TR veut dire augmenter les agitations turbulentes dans le local cible principalement (tourbillons), ceci dit alors l'entraînement de l'hélium sera plus important, et c'est ce qu'on distingue sur la concentration d'hélium en TR 10, qui est plus vive qu'en TR5. Les résultats expérimentaux par contre sont de même ordre que ceux obtenus ici, en particulier pour la vitesse normale (comme il a été déjà dit aux mesures LDV). L'extraction des valeurs de vitesse au niveau de la porte montre également la présence d'un phénomène de retour (même allure du profil de vitesse).



Figure 9.16 : Les profils de rempérature au niveau de la porte par les deux méthodes

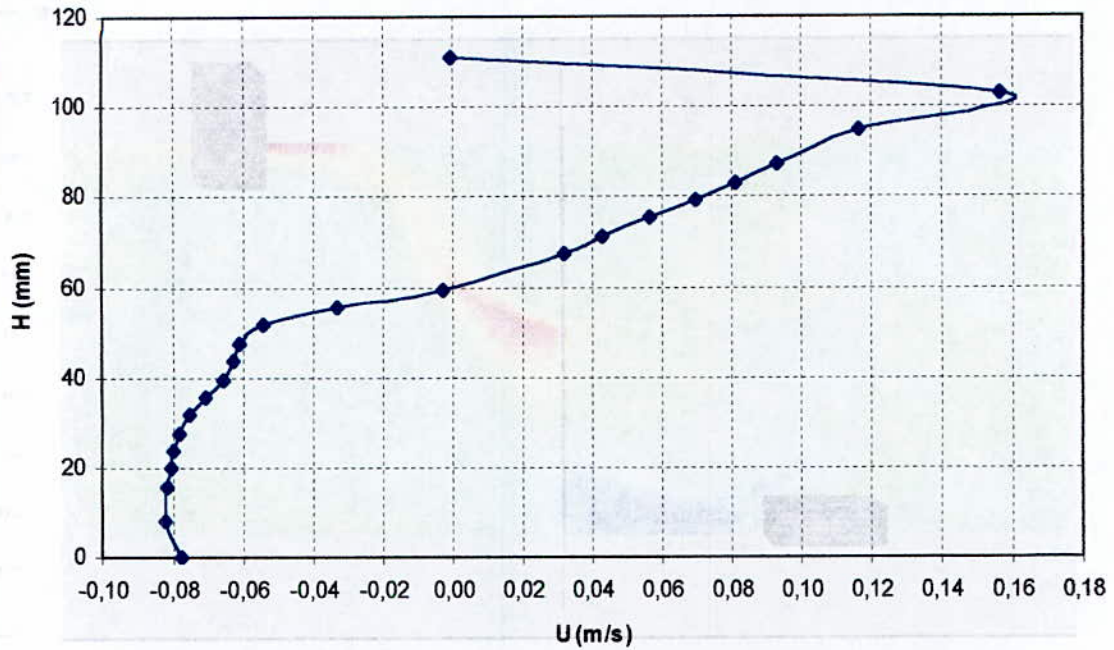


Figure 9.18 : la vitesse normal à la sortie de la porte pour TR5 après 35 s

9.7 Comparaison entre les résultats de PIV, LDV et FDS

D'après la figure 9.19, on remarque que les résultats de PIV et de FDS ont pratiquement le même point de retour qui n'est pas le cas pour la LVD. Les trois méthodes donnent la même allure de graphe (vitesse maximale dans la même zone).

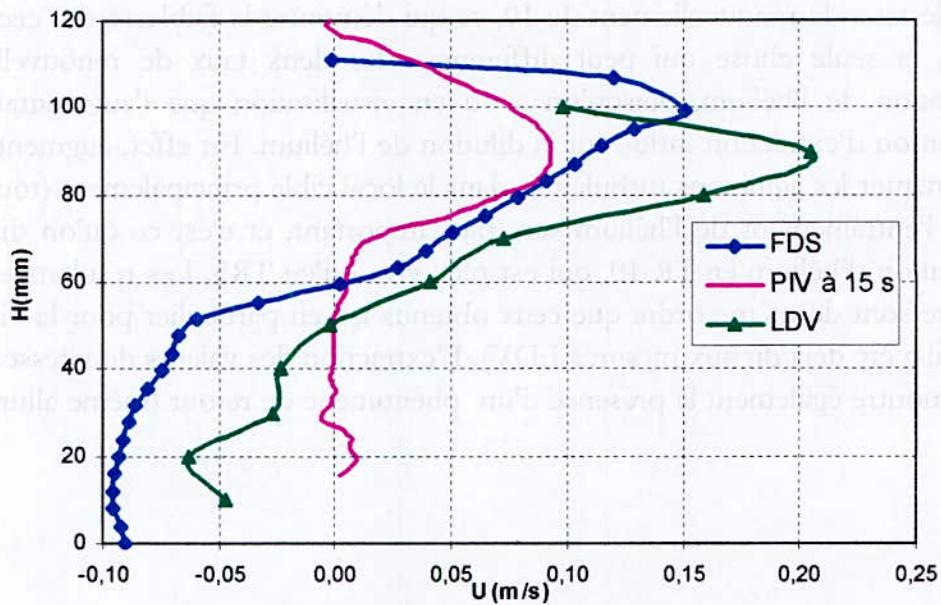


Figure 9.18 : Les profils de température sur la porte par les trois méthodes

CONCLUSION GENERALE

10. Conclusion

Notre étude s'est avérée très intéressante puisque elle a permis de balayer tous les paramètres importants qu'il faut établir sur une autre maquette réalisée à l'échelle 1/5, qui est un exemplaire réduit du dispositif réel.

Les essais réalisés sur maquette thermique ont permis d'accoster à l'idée qu'énormément de paramètres entrent en jeu lors de l'étude du comportement de la flamme. On s'est basé principalement sur la variation de la configuration de la ventilation, que ce soit le débit, ou son sens, ainsi que sur les paramètres de confinement qui jouent aussi un rôle primordiale.

Tout d'abord, pour les essais en confinement total, un seul effet se répète à chaque fois, justifiant la présence de forces de flottabilités qui tendent à élever la température au plafond, et diminuer la température en bas du local. De plus, des fluctuations de températures parfois très objectes apparaissent, ce qui nous fait penser aux turbulences générées dans le local, causées par les instabilités hydrodynamiques dues à la convection naturelle et forcée, ainsi qu'à la présence de couches de mélange. Par contre, la perte de masse présente un résultat uniforme durant tous les essais, malgré que parfois le phénomène de combustion n'est pas efficace comme on la voit dans le cas où le local est totalement confiné sans ventilation, c'est à dire une diminution du taux de consommation de combustible.

Dans les essais avec un confinement partiel (sans parois et sans plafond), l'explication sera différente puisque c'est pratiquement le cas d'un foyer à l'air libre. De ce fait, les phénomènes intervenant sont différents. Citons dans ce cadre seulement les facteurs extérieurs comme la température ou la pression qui jouent sur le comportement de la flamme, où l'entraînement d'air frais est permanent. Pour résumer, le confinement joue directement sur l'augmentation ou la diminution de la température dans le local.

L'autre facteur le plus important est la ventilation, qui agit directement sur le régime de la flamme, ainsi que la combustion. On a vu que le changement du sens de ventilation agit directement sur la diminution de la température au niveau de la flamme. Ceci est directement lié à l'apport d'air frais qui augmente lorsqu'on dévie le sens de ventilation, générant ainsi un brassage plus souverain.

Enfin, l'autre facteur concernant la ventilation qui est le débit d'injection et d'extraction. La variation de ce dernier joue aussi sur les propriétés du foyer. Diminuer par exemple le débit d'injection par rapport au débit d'extraction provoquera un manque d'air frais, donc une sorte d'étouffement de la flamme, et une augmentation de la température moyenne dans le local, ainsi qu'une diminution du taux de consommation du combustible.

Maintenant, on s'intéresse au foyer lui-même dans le sens de sa puissance, la hauteur de flamme et la perte de masse, lors d'un confinement vertical variable. L'idée de cet essai est de déduire expérimentalement la corrélation théorique entre la température au plafond et la puissance du feu (diamètre du bac de feu) et la hauteur du plafond. Les mesures de températures ont révélé que la température tend vers la température ambiante du local au

niveau du plafond, c'est une fonction de puissance inverse de la hauteur du plafond. Pour la hauteur de flamme, elle présente en moyenne un profil constant en fonction de la hauteur du plafond quelque soit le diamètre du bac utilisé.

11. Perspectives

- Réaliser une étude complémentaire sur deux autres maquettes, l'une thermique et l'autre adiabatique.
- Balayer le plus grand nombre de configurations, concernant la ventilation, le confinement pour la maquette thermique et la puissance du feu à générer.
- Réaliser des simulations numériques sur FDS et FLUENT, pour différentes configurations.
- Prévoir des visualisations Laser dans différents plans des deux maquettes.
- Décrire la flamme avec plus de détails.
- Faire des essais avec d'autres combustibles.
- Mettre en œuvre un mécanisme efficace de ventilation haute ou basse.

REFERENCES
BIBLIOGRAPHIQUES

Références Bibliographiques

- [1] Olivier Mégret, Etude expérimentale de la propagation des fumées d'incendies en tunnel pour différents systèmes de ventilation - thèse de doctorat- Université de Valenciennes. 2000
- [2] F. CRETIN, A. CARRAU, Développement d'une méthodologie d'évaluation des effets thermiques et toxiques des incendies d'entrepôt, Rapport de recherche. INERIS, Décembre 2000.
- [3] E. BERNUCHON, O. SALVI, Méthodes pour l'évaluation et la prévention des risques accidentels, Feux de nappe, INERIS, Octobre 2002
- [4] Jean-Michel D'HOOP, Sécurité incendie bâtiment, Techniques de l'ingénieur, Article SE2 050.
- [5] Francis DUPRIEZ et Jean-Pierre FLODROPS- Mesures locales de vitesse dans un fluide- Techniques de l'Ingénieur - Article R 2110.
- [6] Alain BOUTIER et Henri ROYER, Visualisations et mesures optiques en aérodynamique. Techniques de l'Ingénieur.
- [7] P. FORNEY, B. McGRATTAN, User's guide for smokeview. NIST. Août 2004.
- [8] G .Heskestad. Dynamics of the fire plume. Factory Mutual Research. Corporation, Norwood- MA 02062, USA. 1997

ANNEXES

Annexe 1

1. La sonde LDV utilisé pou notre étude :

La sonde LDV compacte comporte un LASER à diode émettant un faisceau d'une longueur d'onde de 690 nm avec une puissance de 50mW, un photo-détecteur de type photodiode à avalanche, une cellule de Bragg (40MHz) ainsi que l'optique et l'électronique nécessaire.

Optical:	
Laser wavelength	680-695 nm
Laser power	50 mw
Beam spacing	50 mm
Electrical:	
Photodetector maximum frequency	155 MHz ¹
Measurement Volume:	
	Focal Distance of Lens
	120 mm 250 mm 350 mm
Beam half angle (κ)	10.74° 5.52° 3.97°
Nominal fringe spacing ²	1.84 μm 3.56 μm 4.95 μm
Length	.54 mm 2.0 mm 3.8 mm
Horizontal axis	100 μm 190 μm 265 μm
Vertical axis	45 μm 85 μm 115 μm
Number of Fringes	53 52 52

Tableau 1 Composants de la sonde LDV utilisée

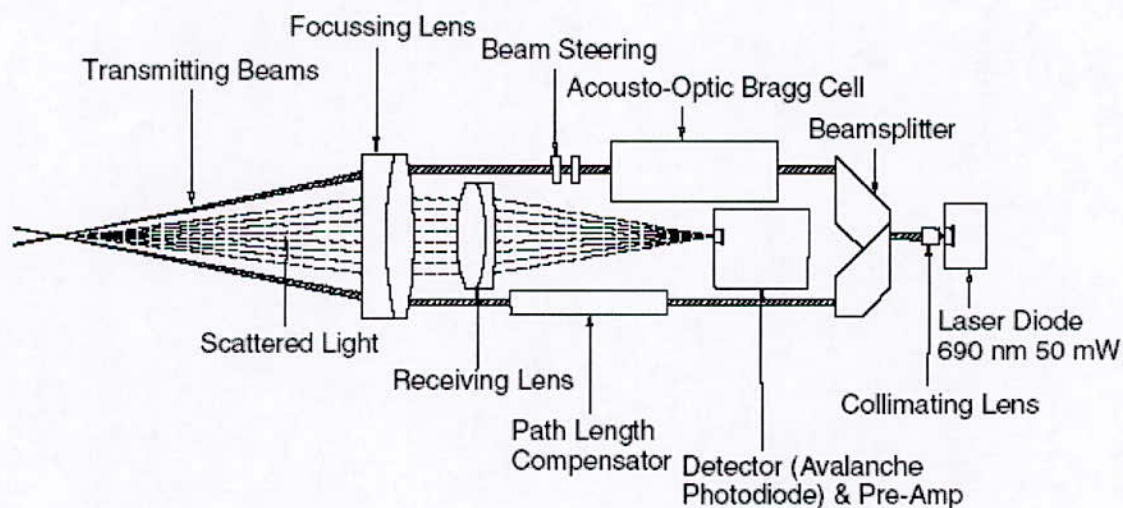


Figure 1 : Sonde LDV utilisé

2. Les caractéristiques de thermocouple type K :

Code littéral		K			
Conducteurs	Positif	Nickel-chrome	Ni-Cr ; KP		
	Négatif	Nickel-Aluminium	Ni-Al ; KN		
Variation approximative par degré de la F.E.M générée	Jonction de référence à 0 °C μV/°C à	100 °C	42		
		500 °C	43		
		1000 °C	39		
Tenue en température de la jonction de mesure	Usage continu °C	0 à + 1100			
	Usage intermittent °C	-180 à + 1300			
Classes de Tolérances Normes NF EN 60584-2 :1993		Domaine	Valeur de TI	Domaine	Valeur de TI
	Classe 1	- 40 à + 375 °C	± 1,5 °C	375 à 1000 °C	± 0,004 . t
	Classe 2	- 40 à + 333 °C	± 2,5 °C	333 à 1200 °C	± 0,0075 . t
	Classe 3	- 167 à + 40 °C	± 2,5 °C	-200 à -167 °C	± 0,015 . t

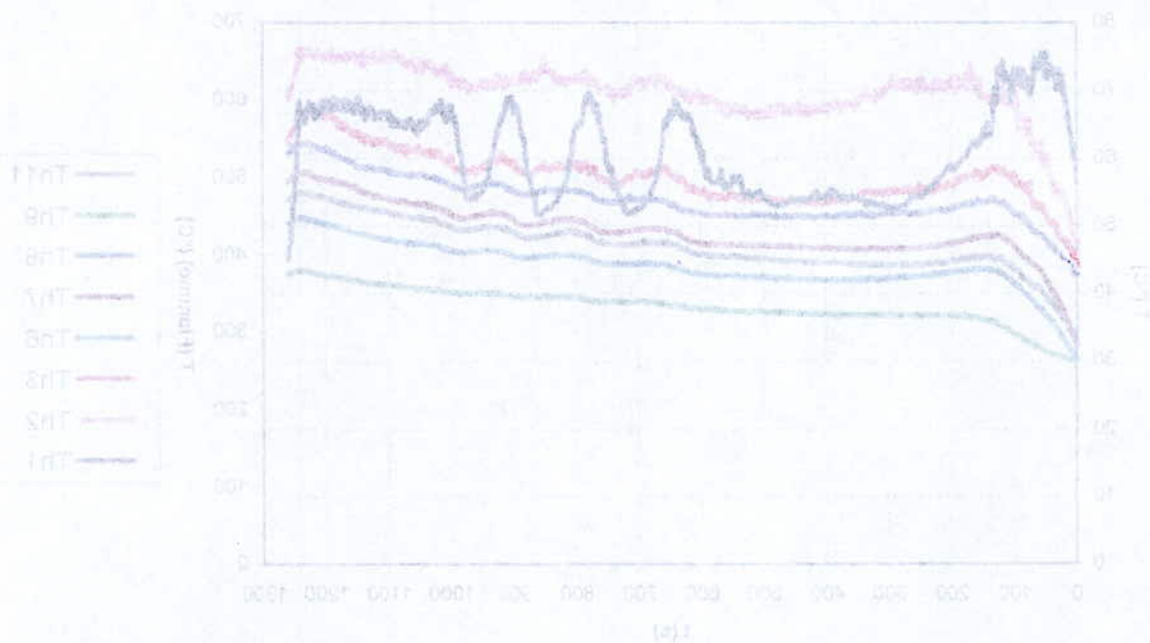


Figure 2 : Profils de température obtenus par les thermocouples pour TR7
(m) = -0,0180t + 23,8

Annexe 2 : La maquette thermique

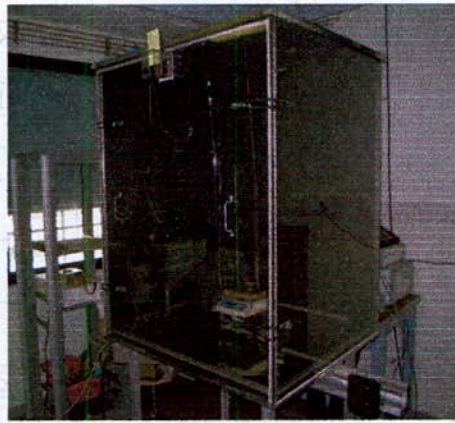


Figure 1 : Photo de la maquette thermique

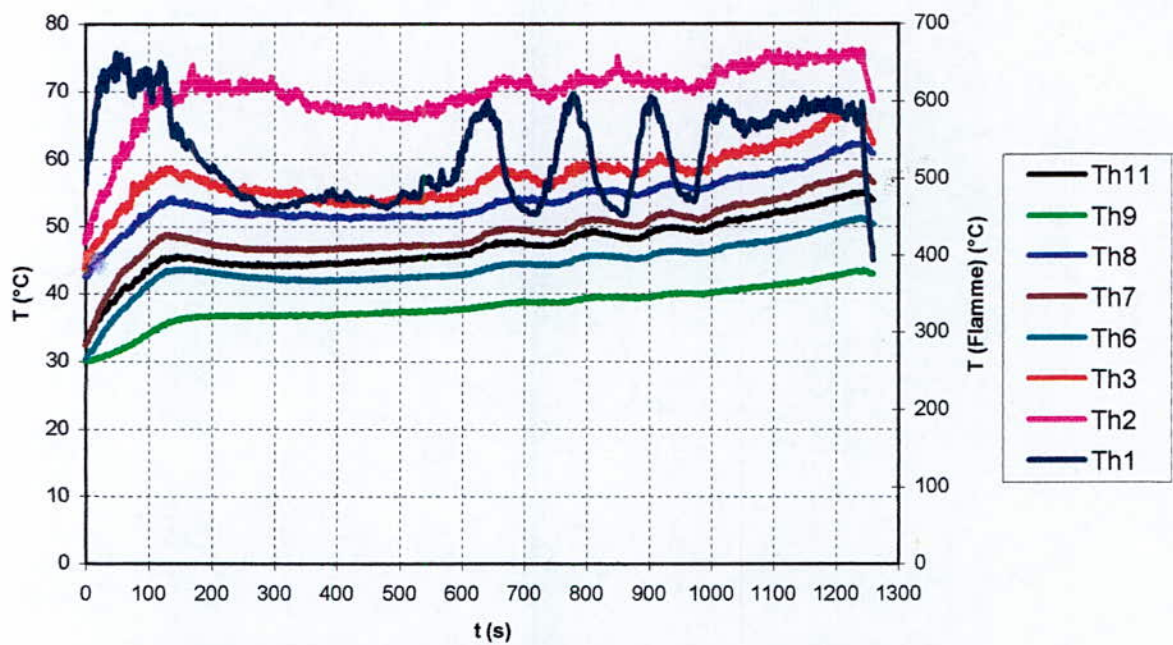


Figure 2 : Profils de températures données par les thermocouples pour TR7
 $m(t) = -0,0196.t + 25,81$

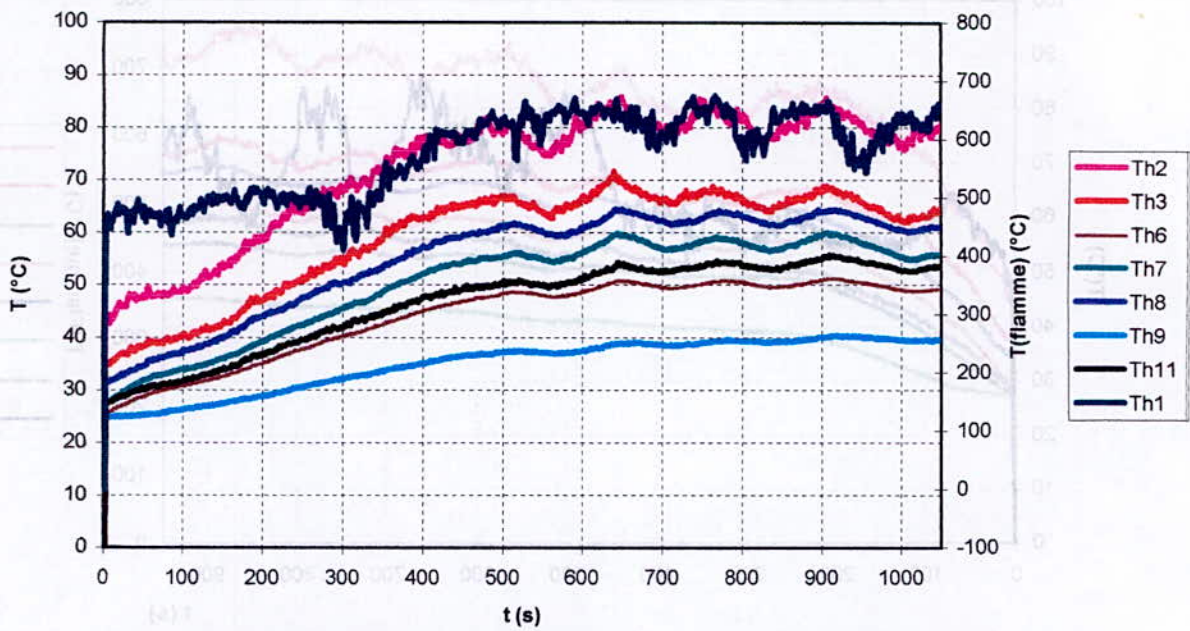


Figure 3 : Profils des températures pour TR9 $\rightarrow m(t) = -0,035.t + 36,174$

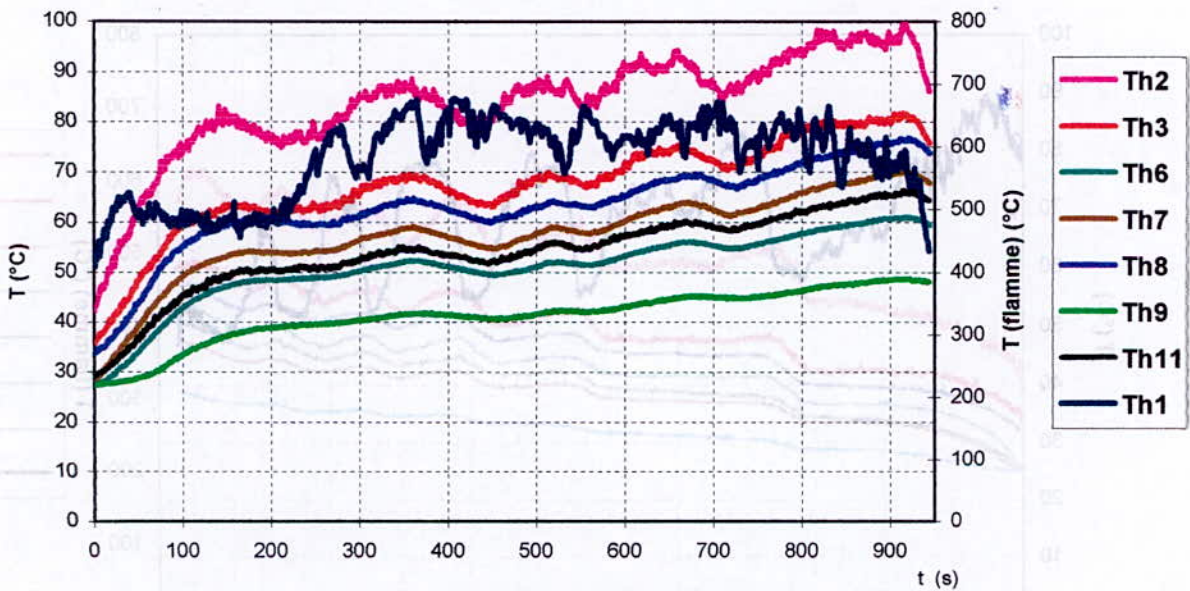


Figure 4 : Profils de températures pour $Q(\text{Inj}) = 6,4 \text{ m}^3/\text{h}$ et $Q(\text{Ext}) = 11,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $\rightarrow m(t) = -0,0366.t + 34,731$

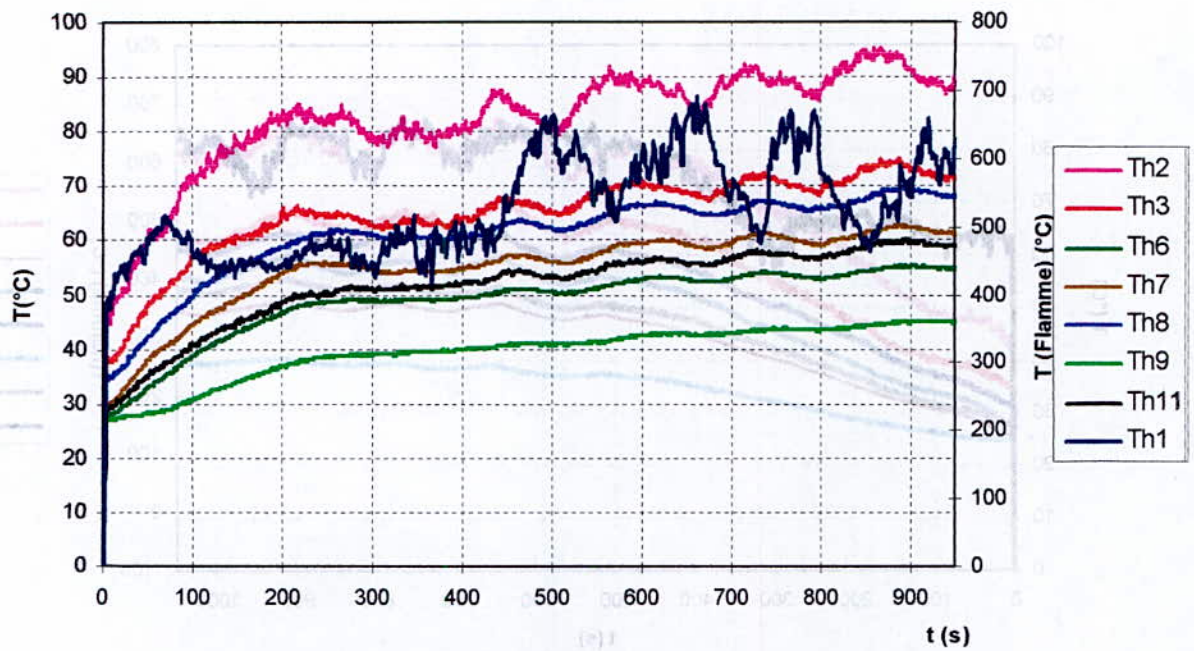


Figure 5 : Profils de températures pour
 $Q(\text{Inj}) = 8,9 \text{ m}^3/\text{h}$ et $Q(\text{Ext}) = 11,5 \text{ m}^3/\text{h}$ $m(t) = -0,0382.t + 34,995$

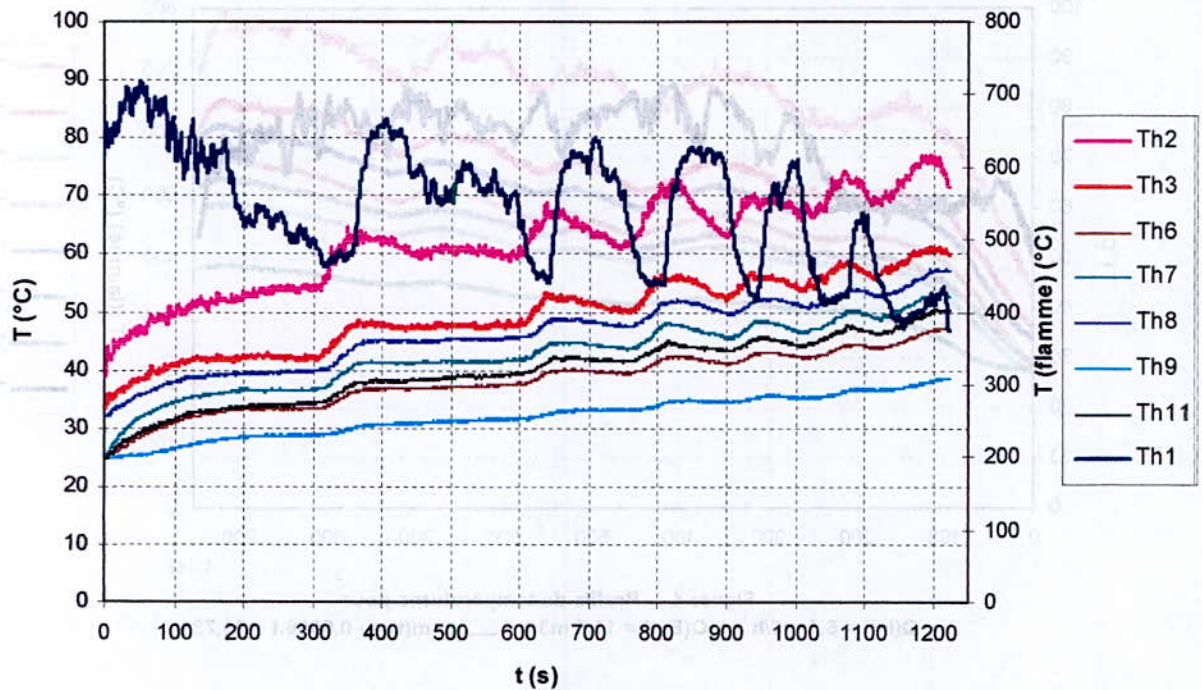


Figure 6 : Profils de temperature pour
 $Q(\text{Inj}) = 11,9$ et $Q(\text{ext}) = 8,9 \text{ m}^3/\text{h}$ $m(t) = -0,0202.t + 25,056$

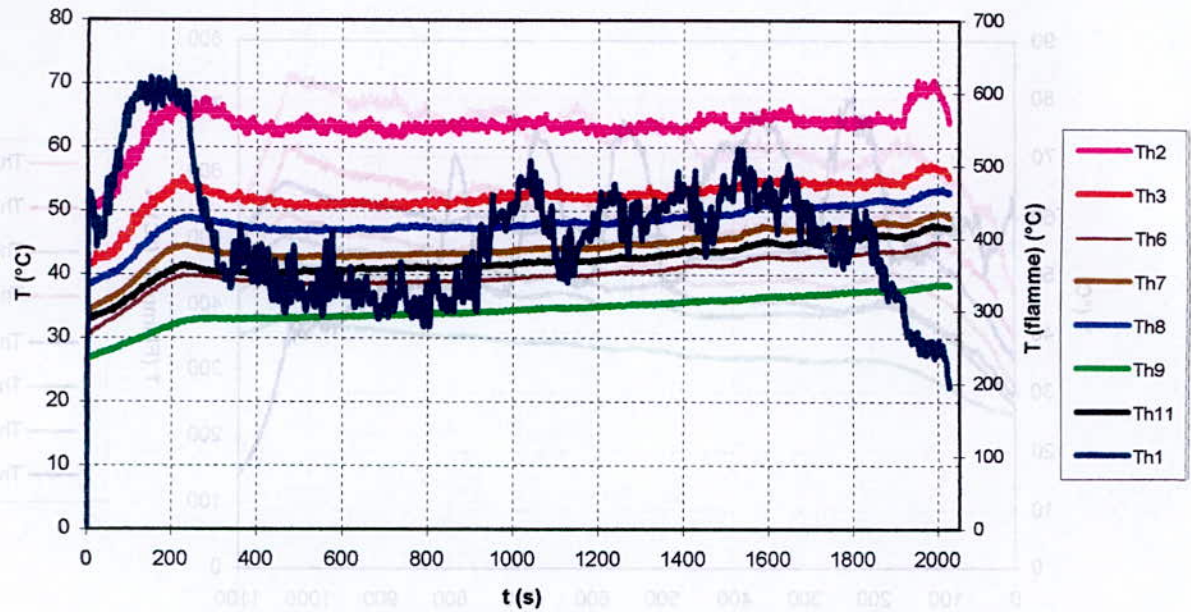


Figure 7 : Profils des température pour : $Q(\text{inj}) = 11,9$ et $Q(\text{ext}) = 6,4$ m³/h

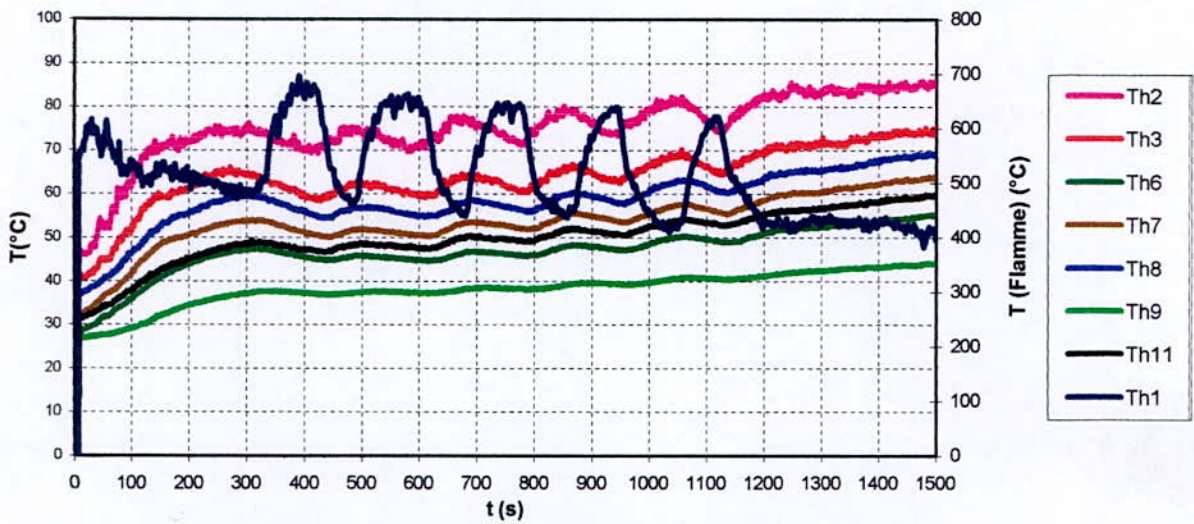


Figure 8 : Profils de températures pour TR5 et une injection déviée
 $m(t) = -0,0265.t + 33,203$

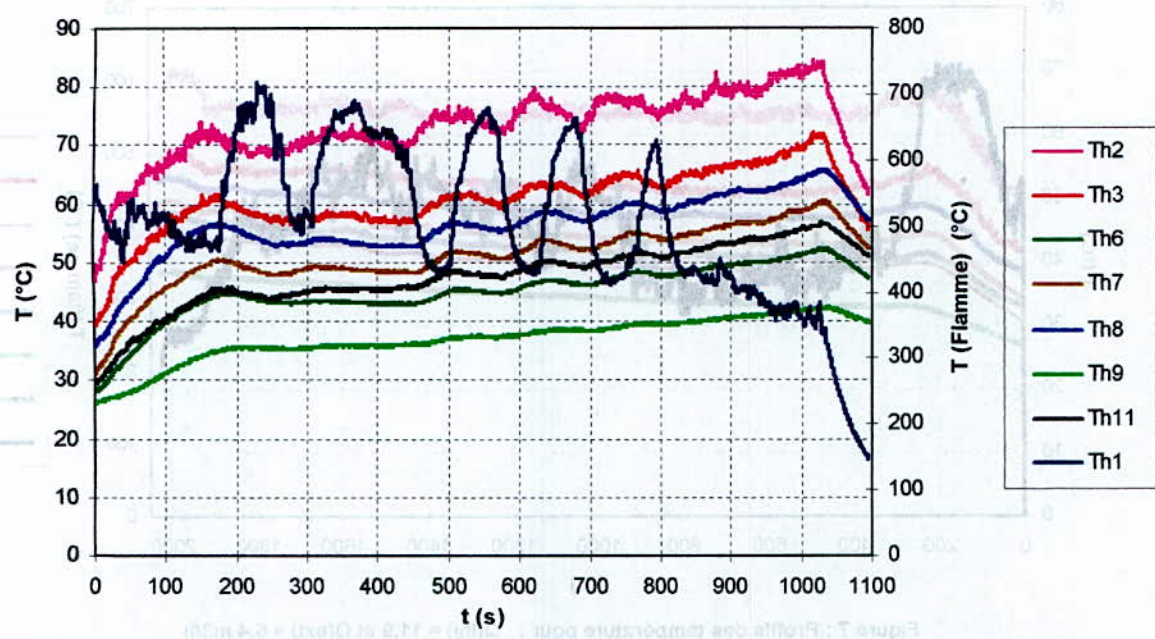


Figure 9 : Profils de températures pour TR7 et une injection déviée
 $m(t) = -0,026.t + 28,108$

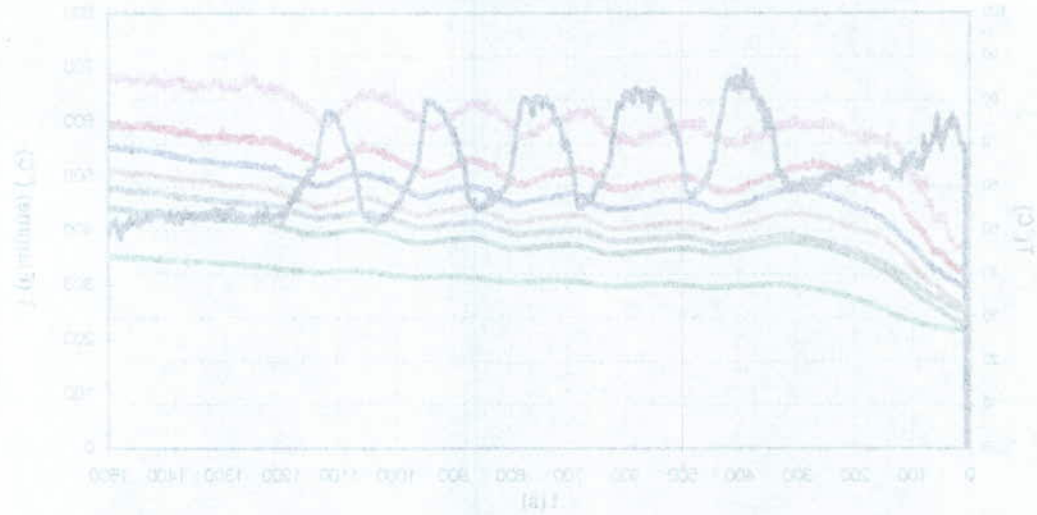


Figure 8 : Profils de températures pour TR2 et une injection déviée
 $m(t) = -0,0285.t + 23,203$

Annexe 3



Figure 1 : Photo de la maquette 1/20

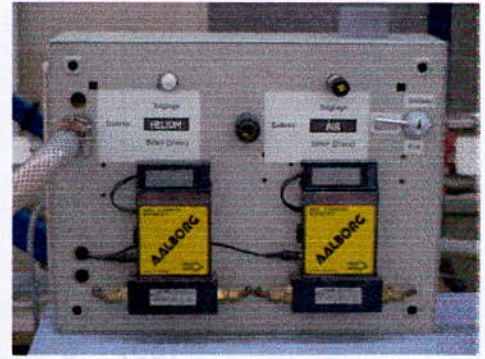


Figure 2 : Débitmètre air-hélium

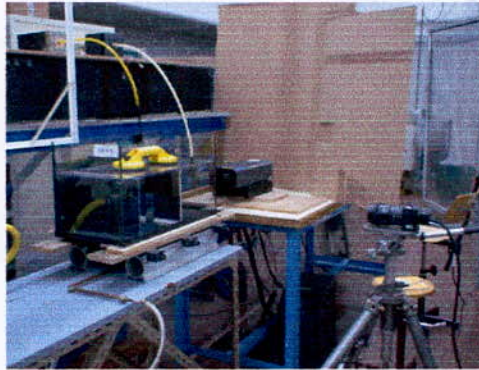


Figure 3 : Installation de la PIV sur la maquette 1/20

Injection d'hélium pur

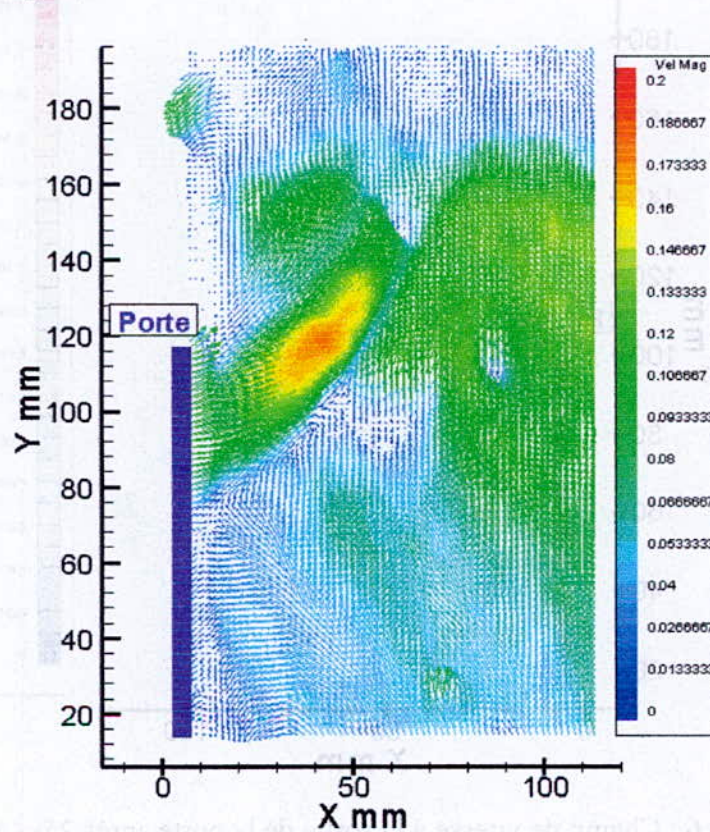


Figure 4 : Champ de vitesse à la sortie de la porte après 5s ($\Delta t = 10$ s)

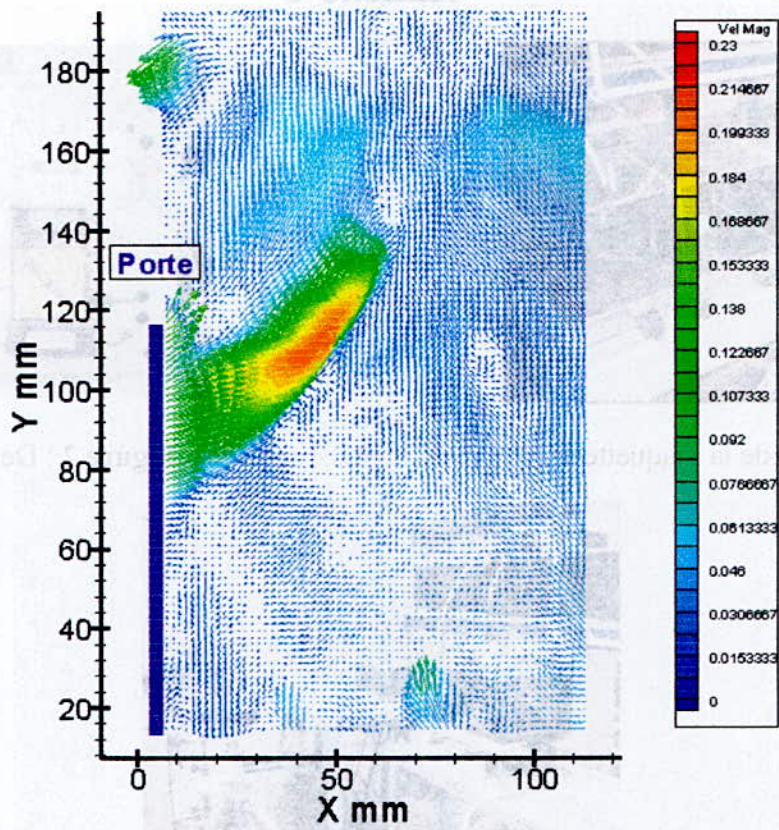


Figure 5 : Champ de vitesse à la sortie de la porte après 15s ($\Delta t = 10$ s)

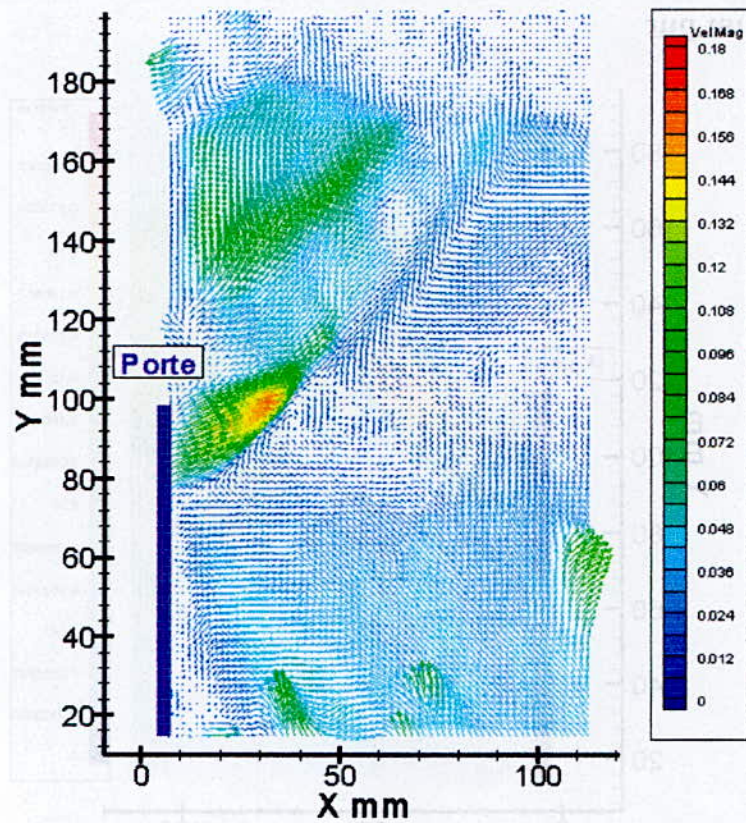


Figure 6 : Champ de vitesse à la sortie de la porte après 25s ($\Delta t = 10$ s)

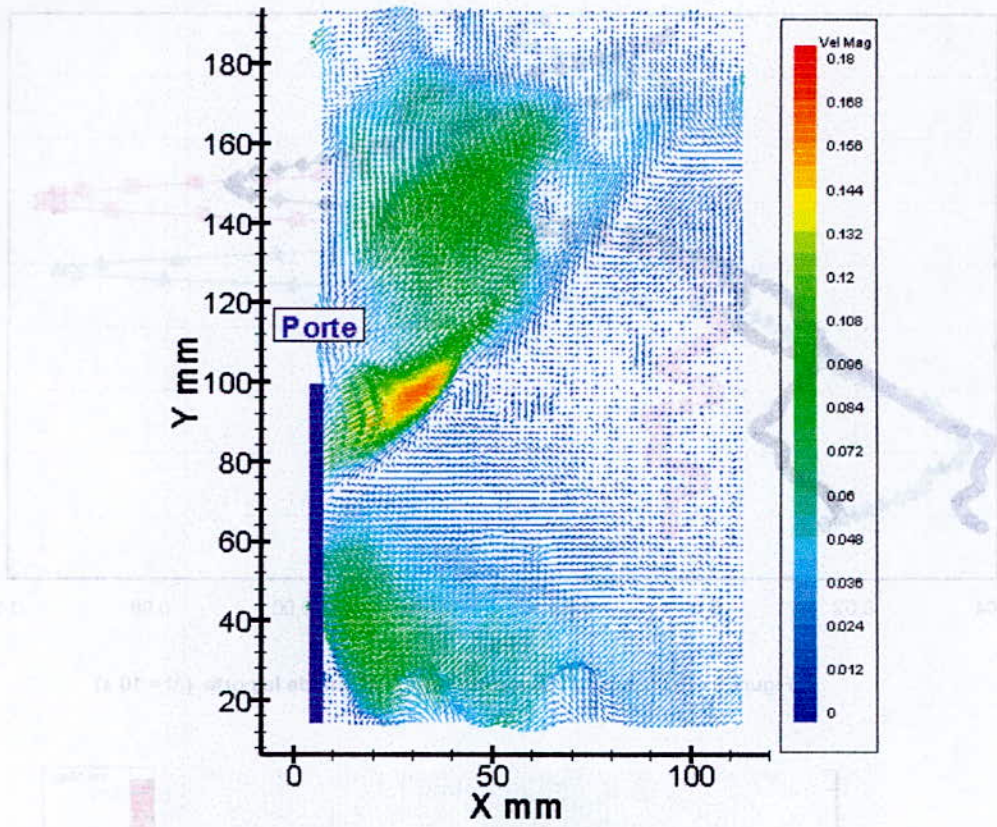


Figure 7 : Champ de vitesse à la sortie de la porte après 35s ($\Delta t = 10$ s)

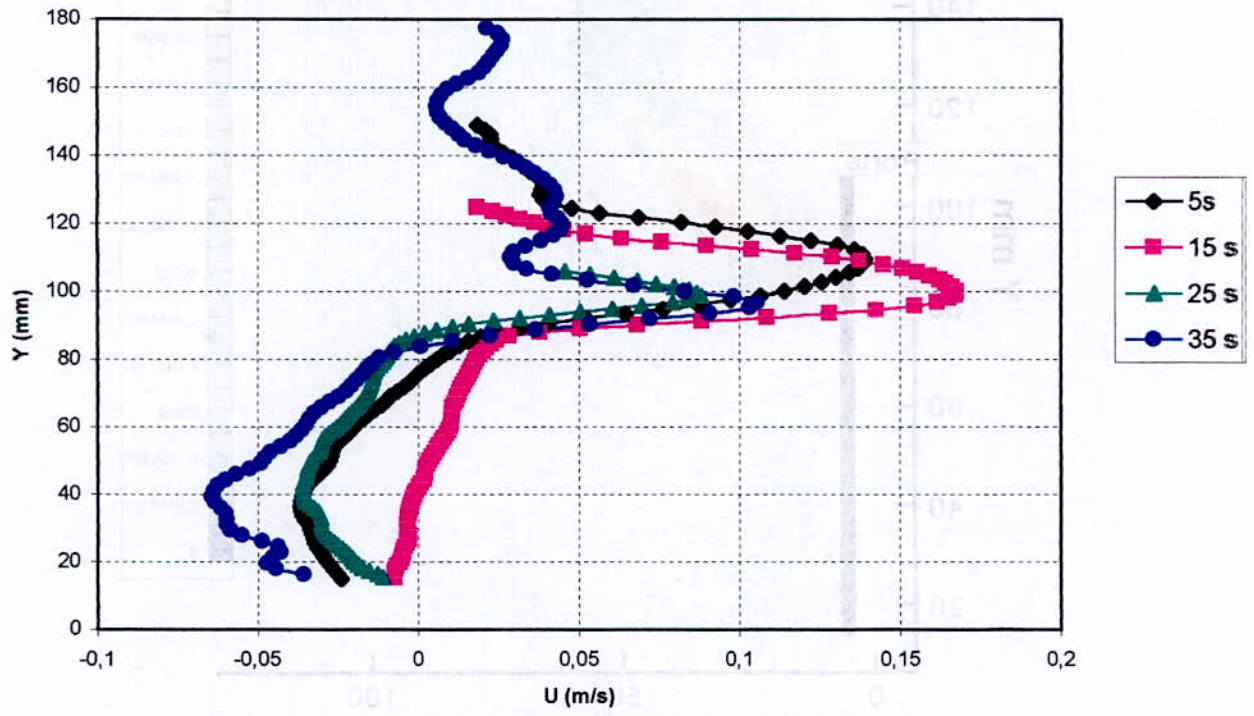


Figure 8 : Profils de vitesse normale à 20 mm de la porte $\Delta t = 10$ s

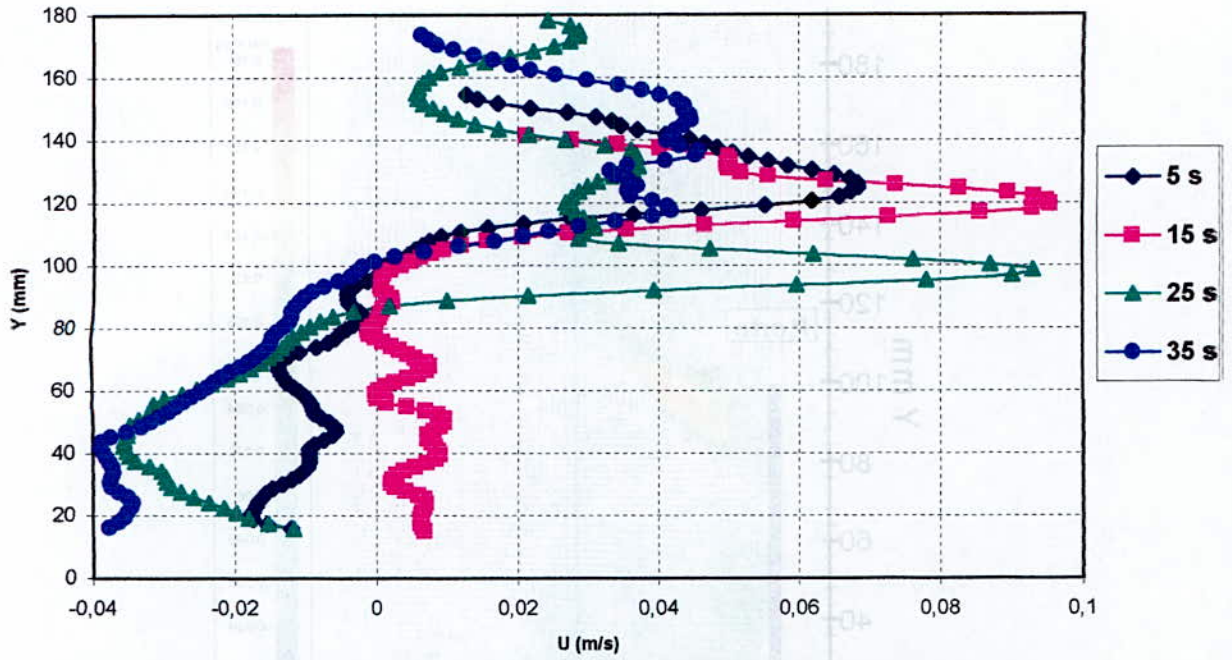


Figure 9 : Profils de la vitesse normale à 40 mm de la porte ($\Delta t = 10$ s)

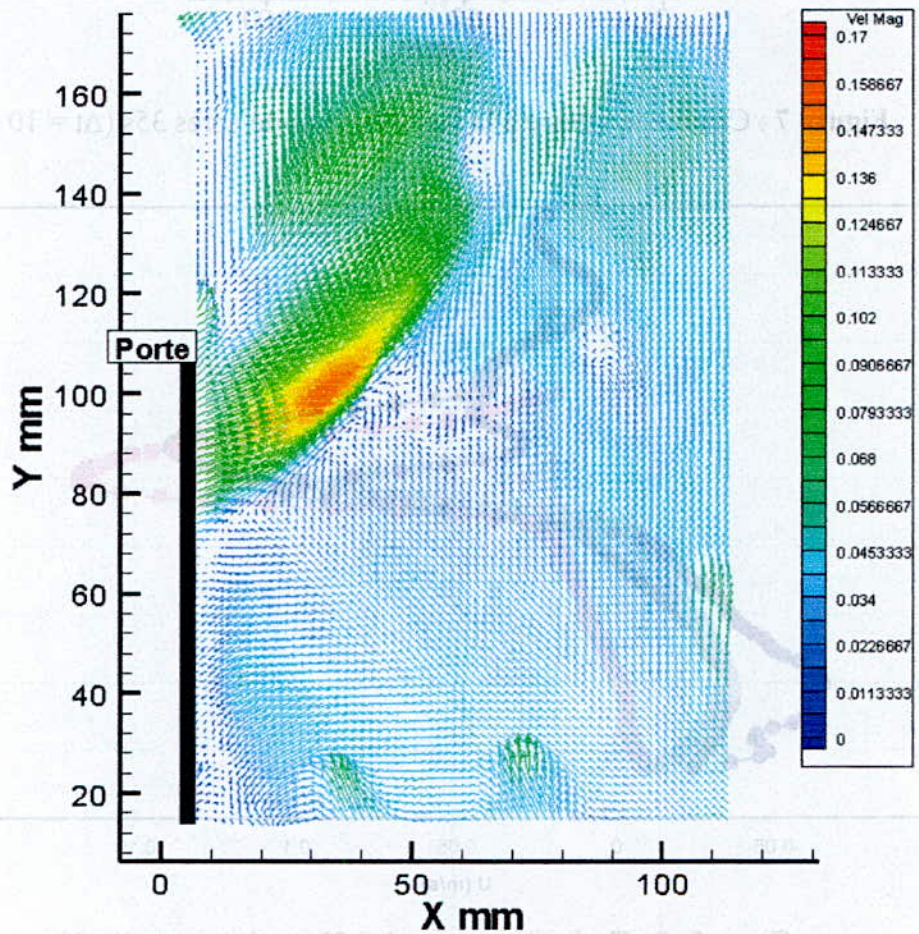


Figure 10 : Champ de vitesse à la sortie de la porte $\Delta t = 40$ s

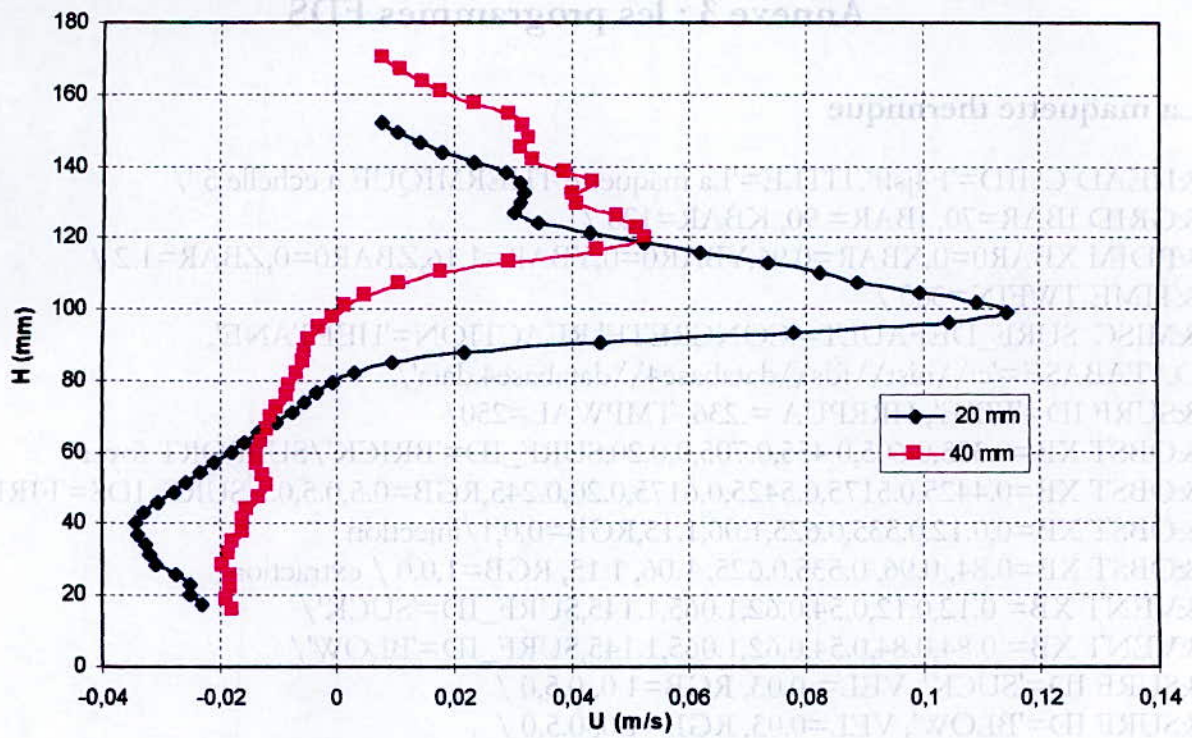


Figure 11 : La vitesse normale pour $\Delta t = 40$ s

Annexe 3 : les programmes FDS

La maquette thermique

```
&HEAD CHID='F4jsft',TITLE='La maquette THERMIQUE a echelle 5 '/
&GRID IBAR=70, JBAR= 90, KBAR=120 /
&PDIM XBAR0=0,XBAR=0.96,YBAR0=0,YBAR=1.16,ZBAR0=0,ZBAR=1.2 /
&TIME TWFIN=300 /
&MISC SURF_DEFAULT='CONCRETE',REACTION='HEPTANE',
DATABASE='c:\nist\fds\database4\database4.data'/
&SURF ID='FIRE',HRRPUA = 236, TMPWAL=250/
&OBST XB=0.355,0.605,0.455,0.705,0,0.20,SURF_ID='BRICK'/SUPPORT foyer
&OBST XB=0.4425,0.5175,0.5425,0.6175,0.20,0.245,RGB=0.5,0.5,0.5,SURF_IDS='FIRE'/
&OBST XB=0,0.12,0.535,0.625,1.06,1.15,RGB=0,0,1/injection
&OBST XB=0.84, 0.96, 0.535,0.625, 1.06, 1.15, RGB=1,0,0 / extraction
&VENT XB= 0.12,0.12,0.54,0.62,1.065,1.145,SURF_ID='SUCK'/
&VENT XB= 0.84,0.84,0.54,0.62,1.065,1.145,SURF_ID='BLOW'/
&SURF ID='SUCK', VEL=-0.03, RGB=1.0, 0.5,0 /
&SURF ID='BLOW', VEL=0.03, RGB=1.0, 0.5,0 /
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE (1)=400 /
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE (2)=500 /
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE (3)=600 /
&ISOF QUANTITY='TEMPERATURE', VALUE (4)=700 /
&SLCF PBX=0.84, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=1.05, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.90, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.75, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.35, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.5, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.58, QUANTITY='TEMPERATURE', VECTOR=.TRUE./
```

2. La maquette adiabatique

```
&HEAD CHID='TR5', TITLE='essai porte ouverte'/
&GRID IBAR=120, JBAR=80, KBAR=60 /
&PDIM XBAR=0.5, YBAR=0.3, ZBAR=0.198 /
&TIME TWFIN=250.0 /
&MISC SURF_DEFAULT='CONCRETE',
DATABASE='c:\nist\fds\database4\database4.data'/
&SPEC ID='HELIUM'/
&SURF ID='HELIUM', VEL=-0.051, MASS_Fraction (1)=1.0, RGB=0.0,0.0,0.0/
&SURF ID='SUCK',VEL=0.21, RGB=1.0,0.0,0.0 /
&SURF ID='BLOW',VEL=-0.21, RGB=0.0,0.0,1.0 /
&OBST XB=0.25,0.254,0.0,0.3,0.0,0.198, SURF_ID='SPRUCE',RGB=0.0,0.0,0.0 /
&HOLE XB=0.25, 0.254, 0.132, 0.168, 0.0, 0.108 /
&OBST XB=0.1, 0.15, 0.125, 0.175, 0.0, 0.02,
SURF_IDS='HELIUM','INERT','INERT',RGB=0.0,0.0,0.0 /
&VENT XB= 0.098, 0.100, 0.121, 0.179, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', RGB=1.0,0.0,1.0 /
&VENT XB= 0.150, 0.152, 0.121, 0.179, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', RGB=1.0,1.0,1.0 /
```

&VENT XB= 0.100, 0.150, 0.121, 0.125, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', RGB=1.0,1.0,1.0 /
&VENT XB= 0.100, 0.150, 0.175, 0.179, 0.0, 0.0, SURF_ID='OPEN', RGB=1.0,1.0,1.0 /
&OBST XB= 0.365, 0.385, 0.02, 0.04, 0.155, 0.198, SURF_ID='STEEL' /
&OBST XB= 0.365, 0.385, 0.26, 0.28, 0.155, 0.198, SURF_ID='STEEL' /
&VENT XB= 0.365, 0.365, 0.2625, 0.2775, 0.16, 0.193, SURF_ID='BLOW' /
&VENT XB= 0.385, 0.385, 0.0225, 0.0375, 0.16, 0.193, SURF_ID='SUCK' /
&SLCF PBX=0.250, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.150, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.030, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.270, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.197, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.176, QUANTITY='HELIUM', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBX=0.250, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.150, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.030, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBY=0.270, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.197, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /
&SLCF PBZ=0.176, QUANTITY='VELOCITY', VECTOR=.TRUE. /