

Etude des performances d'une tête de diffusion de brouillard

G. Le Palec^(***), H. Dammak^(**), R. Marmech^(**), J. Dubois^(*), W. Kriaa^(**), H. Bournot^(***)

(***) Laboratoire IUSTI, UMR CNRS 7343, Aix-Marseille Université, 5 rue Enrico Fermi,
13453 Marseille CEDEX 13, France

(*) ARECO, 114 Chemin de Saint-Marc, 06130 Grasse, France

(***) ENI Tunis, Département Génie Industriel, BP 37, Le Belvédère, 1002 Tunis, Tunisie
Georges.lepalec@univ-amu.fr

Résumé. On s'intéresse à la modélisation de la diffusion d'un brouillard par une tête de diffusion. Cet appareil est couramment utilisé pour la conservation des produits frais sur les étals de magasins et il nécessite une optimisation. Le brouillard est assimilé à un gaz de densité équivalente et on détermine numériquement les vitesses, températures et densités du jet diffusé dans le milieu ambiant. On étudie aussi numériquement l'écoulement dans le mat et la tête de diffusion. Des expériences de tomographie et de PIV permettent de déterminer la forme du jet et le champ de vitesses dans le jet pour les comparer aux prévisions numériques. Ces expériences et leur confrontation avec les prévisions numériques permettent de valider le modèle en vue d'une optimisation.

1. Introduction

Cette étude concerne l'évaluation des performances d'un nébuliseur : cet appareil est destiné à équiper un système permettant la conservation de produits agro-alimentaires. La technologie piézoélectrique génère des gouttes d'eau de très petit diamètre ($2-3\mu\text{m}$) qui ont la caractéristique de s'évaporer rapidement. Par les propriétés thermodynamiques d'évaporation de l'eau (humidification et rafraîchissement de l'air environnant), il se destine principalement à la conservation de produits agro-alimentaires stockés sur des étals de magasins. Pour cela il faut respecter certaines conditions de température et d'hygrométrie par rapport à l'ambiance et il est nécessaire d'assurer une bonne répartition du brouillard formé sur les produits.

On s'intéresse plus particulièrement ici à la tête de diffusion dont on étudie les caractéristiques géométriques et leurs conséquences sur la dynamique du jet de brouillard diffusé. Les jets ont fait l'objet de nombreux travaux et plus particulièrement les jets à masse volumique variable [1-2], mais les études concernant les jets de brouillard autres que les sprays sont beaucoup moins nombreuses. On peut citer dans le domaine d'une application à l'habitat l'étude de G. Guerrassimoff en 1997 [3].

Pour une première approche, le brouillard est assimilé à un gaz de densité équivalente déterminée en confrontant les résultats théoriques et expérimentaux sur une expérience simplifiée. On détermine ensuite numériquement les champs de vitesses et de températures. Des expériences de tomographie et de PIV ont permis de déterminer la forme du jet et le champ de vitesses dans le jet pour les comparer aux prévisions numériques. Ces expériences et leur confrontation avec les prévisions numériques permettent de valider le modèle en vue d'une optimisation ultérieure.

2. Modélisation théorique

Le mâât mesure 45 cm et il est surmonté d'une tête de diffusion comportant 6 orifices régulièrement disposés sur sa périphérie: sa géométrie est représentée sur la figure 1. On suppose un écoulement d'air chargé de brouillard diffusant dans le milieu ambiant. Cet air est assimilé à un gaz de densité équivalente.

Les équations générales permettant la modélisation de l'écoulement sont celles de la conservation de la masse, de la quantité de mouvement et de l'énergie. La modélisation étant faite sous "FLUENT", l'équation de conservation du constituant le plus dense, issu de la base du mâât, est ajoutée via l'option "species transport" qui permet de définir un gaz équivalent avec l'option "mixture". De plus, l'écoulement étant turbulent, nous devons ajouter les équations permettant de modéliser la turbulence: ce sont celles du modèle k- ϵ classique. Ces équations sont résolues dans "FLUENT" par la méthode des volumes finis [4]. Du point de vue géométrique, compte tenu de la symétrie du problème, il suffit de n'étudier que le sixième du domaine en imposant des conditions de symétrie: il en résulte le domaine schématisé sur la figure 2, les conditions aux limites étant précisées sur la figure 3.

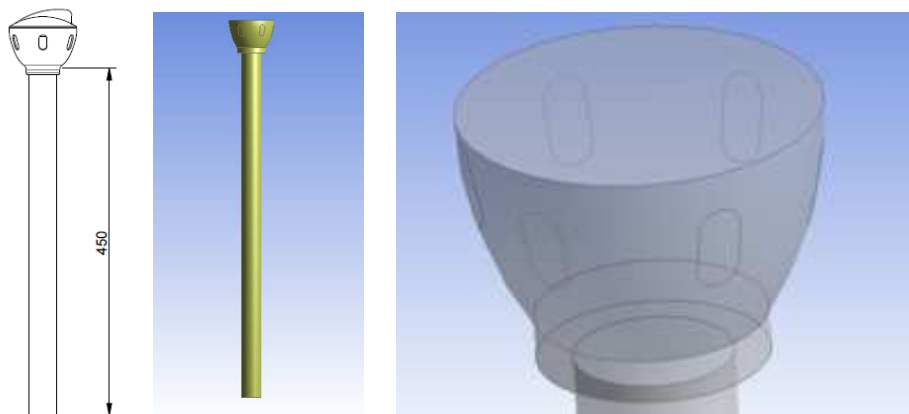


Figure 1: Modélisation géométrique du mat de diffusion et de sa tête

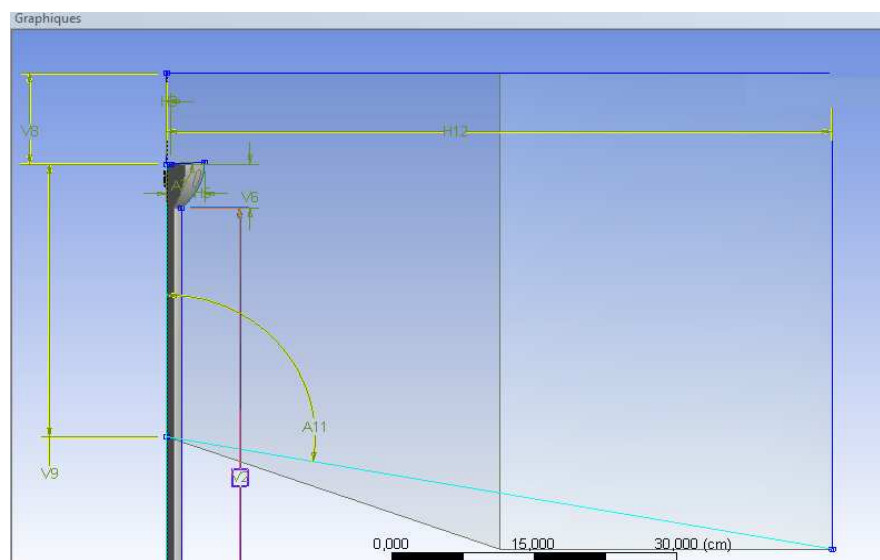


Figure 2: Domaine de calcul utilisé sous FLUENT

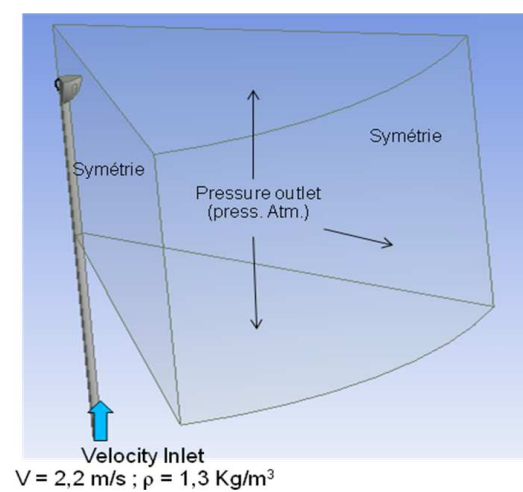


Figure 3: Conditions aux limites.

3. Résultats

Les résultats obtenus permettent de caractériser l'écoulement dans le mât, la tête de diffusion et le milieu ambiant. Sur le plan numérique, les simulations ont été faites à l'aide de ANSYS et FLUENT. L'approximation de la nébulisation de l'air par un gaz plus lourd que l'air ambiant conduit d'abord à définir expérimentalement la correspondance à adopter entre la densité à utiliser et le taux de nébulisation fourni par le générateur. Pour cela, nous avons effectué une étude préliminaire comparative entre la hauteur du jet en sortie du mât non équipé de la tête de diffusion et celle atteinte théoriquement par un gaz de densité fixée, dans les mêmes conditions. Les hauteurs expérimentales sont déterminées par un logiciel permettant de mesurer les luminosités (pixels). Pour les calculs théoriques, elles sont déterminées à l'aide de FLUENT et pour les propriétés physiques du gaz autres que la densité, nous avons pris celles de l'air dans les conditions expérimentales. La figure 3 montre cette correspondance pour plusieurs taux de ventilation et de nébulisation (moins on ventile, plus la densité est élevée pour un taux de nébulisation fixé).

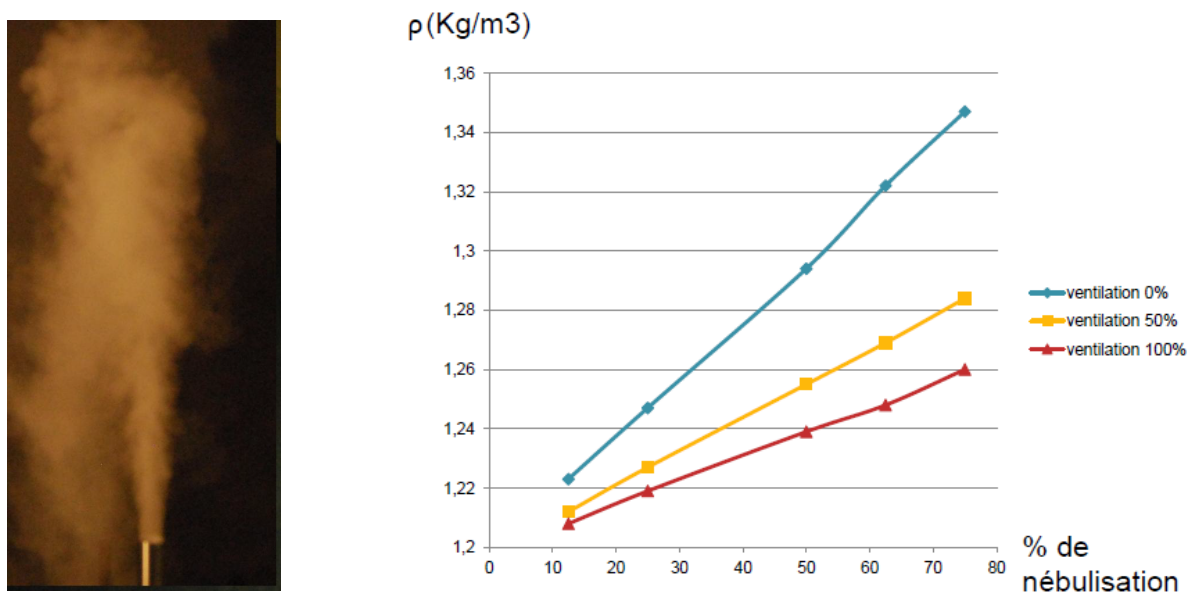


Figure 3: correspondance entre les densités et les taux de nébulisation et de ventilation

Les résultats numériques obtenus par FLUENT avec la tête de diffusion sont présentés sous forme de cartographie des vitesses et des densités dans certains plans caractéristiques. Nous avons pris pour cette modélisation une masse volumique de $1,3 \text{ Kg/m}^3$ à l'entrée du mât, ce qui correspond en moyenne aux valeurs obtenues pour une nébulisation de 75%, avec une ventilation de 50%. C'est également le cas à 100% de ventilation et 100% de nébulisation (point hors courbe représentée sur la figure 3).

La figure 4 est une visualisation numérique du gradient de densité dans un plan situé dans l'axe de l'une des buses de sortie. La valeur maximale de la densité, à la base du mât est $1,3 \text{ Kg/m}^3$ et sa valeur minimale est celle de l'air ambiant, soit $1,2 \text{ Kg/m}^3$. Cette figure est à rapprocher de la figure 5 qui rend compte de la répartition des vitesses dans le même plan. Les valeurs maximale et minimale de la vitesse sont respectivement $2,72 \text{ m/s}$ au centre du mât à la jonction entre la tête de diffusion et le mât vertical et 0 sur la frontière gauche de la figure (air totalement au repos). Noter qu'à la base du mât de diffusion, on rentre un profil uniforme de $2,2 \text{ m/s}$ et l'écoulement s'établit dans le mât avant de pénétrer dans la tête de diffusion.

L'objectif étant surtout, dans un premier temps, de caractériser l'écoulement autour de la tête de diffusion, la frontière inférieure est supposée libre et il sera naturellement nécessaire de la considérer comme une paroi lorsque l'objectif sera d'optimiser l'étalement du brouillard sur les produits à conserver. La figure 6 est un zoom sur la région comprenant la tête de diffusion et son entourage proche: elle permet de comprendre comment l'écoulement se structure dans la tête, la déviation de l'écoulement au travers de la buse de diffusion et sa dispersion dans le milieu ambiant. On constate une zone de survitesses en sortie de buse, sur la partie supérieure (de l'ordre de $2,5 \text{ m/s}$). Il s'ensuit que la répartition des vitesses dans le plan de la buse est assez inhomogène avec des vitesses plus faibles (de l'ordre de $1,5 \text{ m/s}$) dans la moitié inférieure. Il est donc nécessaire de rechercher forme de buse plus adéquate afin d'obtenir des champs plus uniformes.

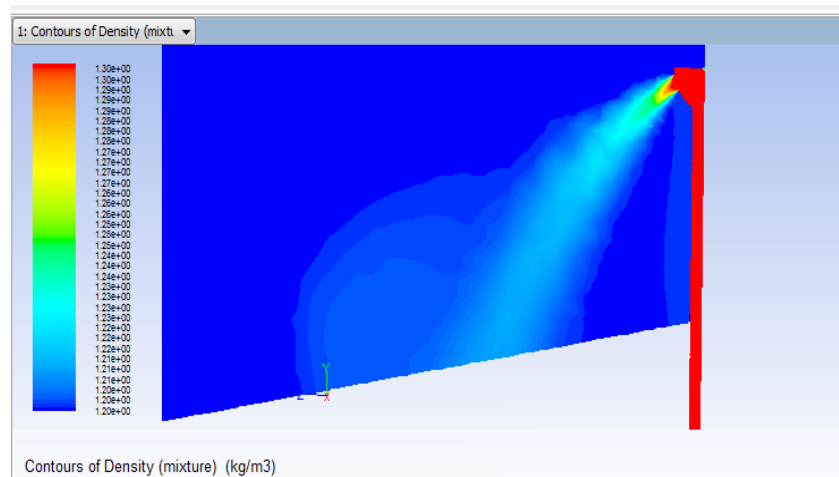


Figure 4: répartition des densités dans le plan médian de sortie de buse.

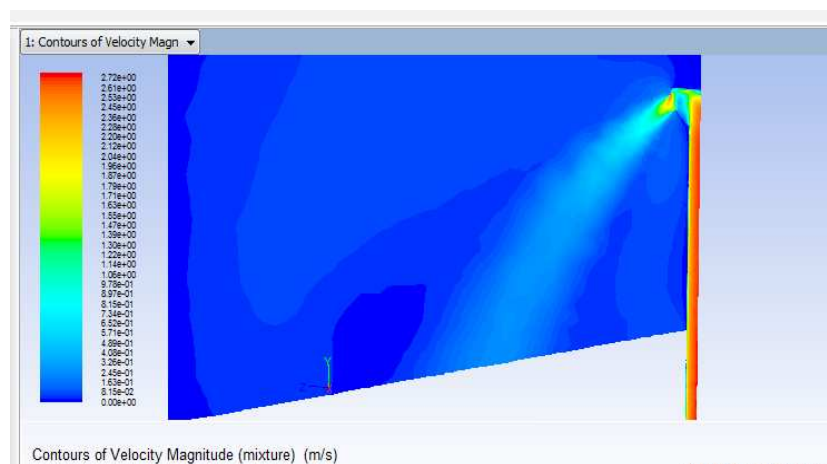


Figure 5: répartition des vitesses dans le plan médian de sortie de buse.

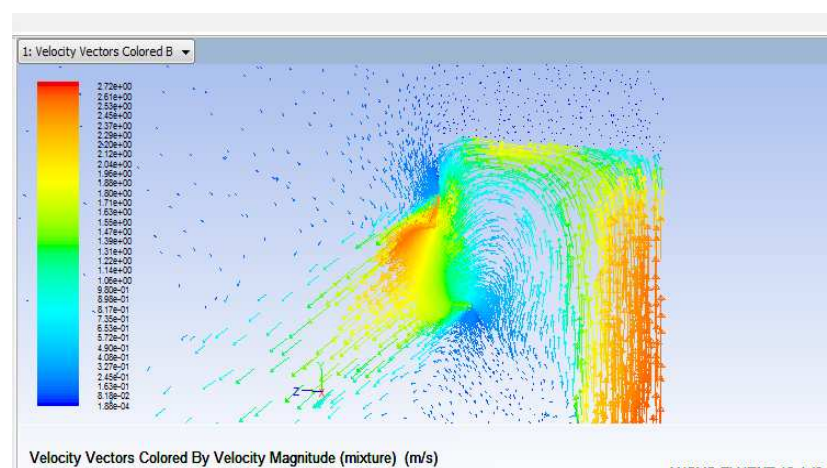


Figure 6: vecteurs vitesse dans le plan médian de sortie de buse.

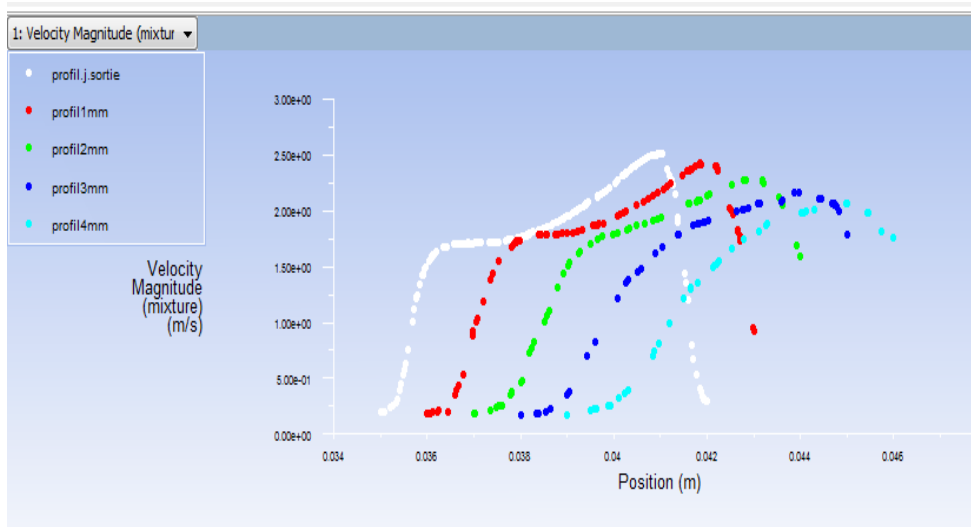


Figure 7: Profils de vitesse dans des plans parallèles à la section de sortie de la buse.

La figure 7 illustre les profils de vitesse dans des sections parallèles à la section de sortie de la buse, vers l'extérieur. Ces sections sont situées à 1, 2, 3 et 4 mm de la buse, parallèlement à celle-ci. Cette figure permet de voir comment le profil de sortie se conserve puis se déforme progressivement pour s'aplatir (section située à 4mm) pour devenir plat loin de la buse (non représenté sur cette figure). On note la décroissance linéaire - du moins dans cette région - de la valeur du maximum sur le bord supérieur du jet et son augmentation sur le bord inférieur: ceci traduit la retombée des gouttes de brouillard sous l'action de la gravité.

4. Conclusion.

Il ressort de cette étude que la répartition des vitesses dans le plan de la buse est assez inhomogène avec des vitesses plus faibles dans la moitié inférieure et une zone de survitesses au voisinage de la paroi supérieure. Les simulations numériques faites en assimilant le brouillard à un air plus dense que l'ambiance sont bien validées quantitativement par des mesures opérées en sortie de buse. Afin d'en améliorer le fonctionnement, il est donc nécessaire de rechercher une forme de buse plus adéquate afin d'obtenir des champs plus uniformes et ainsi améliorer le rendement. Pour cela nous prévoyons d'en modifier la géométrie pour mieux canaliser l'écoulement.

Références

- [1] **W. Kriaa, H. Ben Chikh, H. Mhiri, G. Le Palec, P. Bournot**, A numerical study of non-isothermal turbulent coaxial jet, Heat and Mass Transfer, Vol 44; N°9, PP 1051-1063, 2008.
- [2] **J. Dubois**, Etude expérimentale de jets libres, compressibles ou en présence d'un obstacle. Thèse de doctorat, Aix-Marseille Université, 2010.
- [3] **G. Guerrassimoff**, Etude numérique de jets d'air horizontaux de la brumisation en vue de leur couplage pour le rafraîchissement d'enceintes habitables. Thèse de doctorat, l'Ecole des Mines de Paris, 1997.
- [4] **S.V. Patankar**, Numerical heat transfert and fluid flow. Mc Graw-Hill, 1980