

Étude de la performance de stratégies de contrôle de ventilation sur le confort thermique et la qualité des ambiances intérieures

A. Selma Bouasria, Mahi Abdelkader, Abbès Azzi et Harouz Keltoum

Université des Sciences et de la Technologie d'Oran, département de Génie Civil,
E-mail: bouasriasel@yahoo.fr

Résumé : L'objectif de notre travail est d'étudier numériquement les écoulements d'air d'un local ventilé afin de déterminer un microclimat confortable pour un occupant. Le local contient des sources de chaleur et un mannequin représentant l'occupant. Deux types de configurations ont été étudiés. La première est traitée en considérant que le local est sans fenêtre, dans la deuxième configuration le local est muni d'une fenêtre. Nous étudions l'influence de la vitesse de soufflage de l'air et du flux solaire incident sur la fenêtre sur le confort thermique de l'occupant. Pour mener cette étude nous avons utilisé les modèles de turbulence type k-ε standard à haut nombre de Reynolds, RNG et SST. L'outil numérique utilisé est basé sur la méthode des volumes finis. Nous présentons les résultats suivants : la distribution de la température et de la vitesse de l'air dans le local.

Mots clés :

Local ; confort ; thermique ; ventilation ; environnement intérieur ; concentration du polluant

1. Introduction

L'évaluation du bilan thermique d'un local fait intervenir les bilans des différents types d'échanges thermiques [1], les déperditions à travers l'enveloppe du local, les déperditions par renouvellement d'air, les apports gratuits tels que le flux solaire [2, 3] et le flux de chaleur émis par les équipements situés dans ce local [4, 5 et 6]. Actuellement, le confort thermique constitue une demande reconnue et justifiée dans le bâtiment du fait de son impact sur la qualité des ambiances intérieures, la santé et la productivité de l'occupant puisque ce dernier passe les trois quarts de son temps dans des espaces clos tels que les logements ou les lieux de travail. En été, pour le confort thermique, nous observons une forte consommation d'énergie électrique qui est utilisée pour le rafraîchissement de l'air intérieur des locaux. L'objectif recherché dans ce travail est l'optimisation des écoulements d'air du système de ventilation sur le confort thermique dans un local de type bureau.

Cette étude est basée sur la détermination du champ thermique et dynamique de l'air intérieur du local.

2. Description du local et des conditions aux limites

Le local étudié est un bureau sans fenêtre identique à celui qui a été étudié expérimentalement par Loomans (cas 6a) [7]. Il a une forme parallélépipédique de dimensions 3.60 m de largeur, 5.16m de profondeur et 2.50m de hauteur (fig.1). Ce local est occupé et contient différentes sources de chaleur : une personne émettant un flux de chaleur de 59.8 W (représentée par un mannequin), deux ordinateurs dont la puissance de chaleur émise par chaque PC est prise égale à 61.5 W, une unité centrale émettant un flux de 10.9 W et trois lampes fluorescentes dont chacune génère une puissance de 18.1 W. L'occupant est assis sur une chaise devant un bureau situé en face de la grille de soufflage de l'air frais. L'approvisionnement du local en air neuf est assuré par une unité de soufflage située sous la table du bureau. Le débit d'air neuf entrant dans le local est égal à 0.047 m³/s, sa température est égale à 19.8 °C. La bouche d'extraction de l'air vicié se situe au niveau du coin supérieur de paroi latérale du bureau. Les températures des parois du bureau à savoir le plafond, le plancher, la paroi nord, la paroi sud, la paroi est et la paroi ouest, sont prises respectivement égales à : 22.3 °C, 22.2 °C, 23.1°C, 22.8 °C, 22.6 °C et 22.7 °C.

Local avec fenêtre : Nous considérons le même local étudié précédemment mais munie en plus d'une fenêtre de dimensions 3.6*1.4 m² placée sur la façade (fig.2).

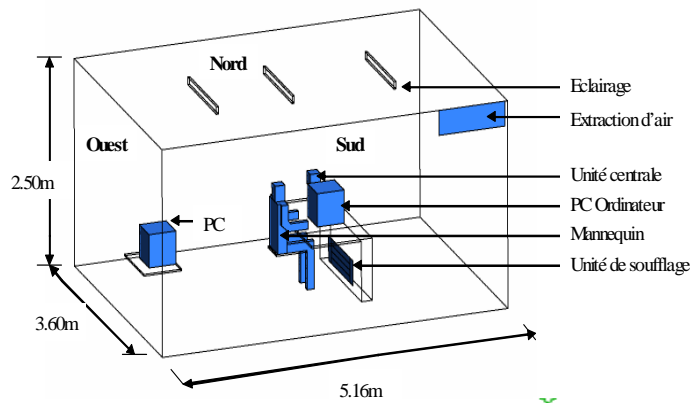


Figure 1 : Modèle du bureau sans fenêtre

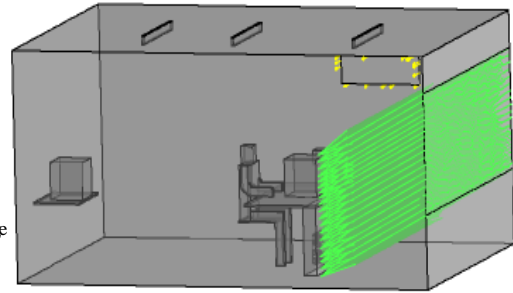


Figure 2 : Modèle du bureau avec fenêtre

3. Méthode de résolution

Pour mener cette étude nous avons utilisé trois modèles de turbulence type $k-\epsilon$ standard, RNG et SST associés à une loi de paroi. L'outil numérique utilisé est CFX 10 [8]. Cet outil est basé sur la méthode de discrétisation en volumes finis pour la résolution des équations moyennes de Reynolds et de l'équation de l'énergie pour la prédiction du champ de températures. Le maillage utilisé est une grille de type tétraédrique épousant parfaitement la géométrie du domaine de calcul où le maillage est raffiné davantage près des parois actives et du mannequin en raison du fort gradient thermique (fig.3) en ces endroits. Dans notre modèle, nous considérons que l'hypothèse de Boussinesq est admise et que l'écoulement est turbulent et stationnaire.

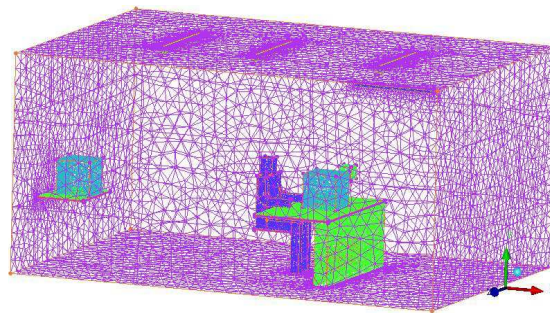


Figure 3 : Maillage du domaine de calcul

3.1. Optimisation du maillage et validation du modèle

Sur la figure 4 nous présentons l'évolution verticale de la température de l'air obtenue en utilisant le modèle de turbulence standard $k-\epsilon$ et en considérant trois différents types de maillage Mail.1, Mail.2 et Mail.3. Nous constatons que les grilles de Mail.2 et Mail.3 constituées respectivement de 484 933 et 535 745 éléments donnent presque les mêmes résultats et que ces derniers sont plus proches des résultats expérimentaux donnés par [7]. Nous avons donc choisi d'utiliser dans tous nos calculs la grille constituée de 484 933 éléments pour le modèle $k-\epsilon$.

Une étude similaire a été réalisée pour les modèles SST et RNG. Pour le modèle RNG on a déterminé une grille constituée de 484 933 et pour le modèle SST la meilleure grille est celle de 1 016 395 éléments. La figure 5 représente la distribution verticale de la température d'air en utilisant les trois modèles de turbulence. Nous constatons qu'en prenant un maillage adéquat pour chaque modèle de turbulence nous obtenons presque les mêmes résultats et que ces derniers sont bien proches des résultats expérimentaux donnés par Loomans (cas 6a) [7].

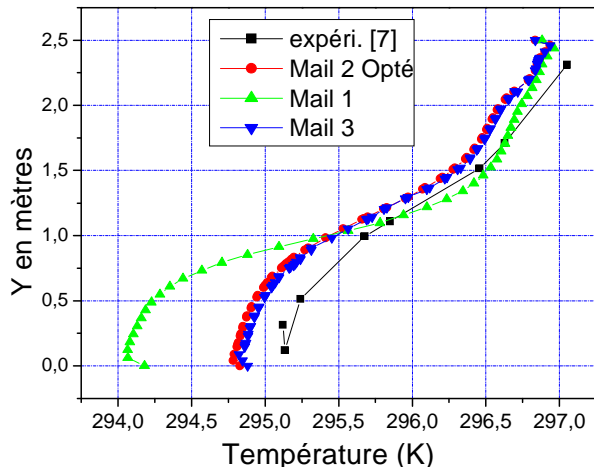


Figure 4 : Évolution verticale de la température d'air obtenu en utilisant trois grilles de calcul

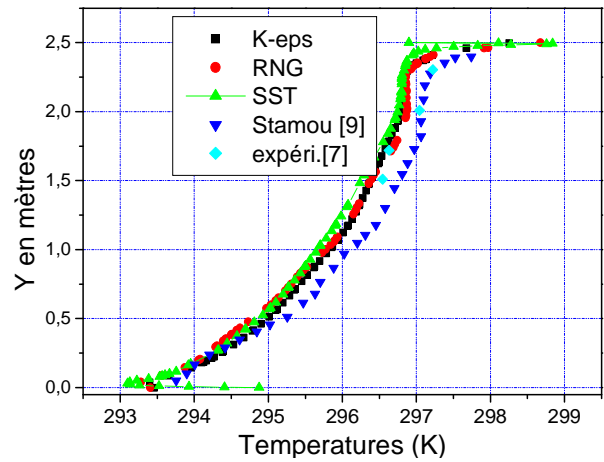


Figure 5 : Profils comparatifs de la température de l'air

4. Résultats et discussions

4.1. Local sans fenêtre

4.1.1. Étude de l'influence du jet de soufflage

Afin de mettre en évidence l'intérêt du contrôle local de la ventilation sur le confort thermique de l'occupant ainsi que sur l'amélioration de l'efficacité du système de ventilation nous faisons une étude comparative avec différents types d'écoulements en utilisant un jet d'air sortant de la grille avec une vitesse moyenne égale à $v=0.156$ m/s et un jet d'air de vitesse non uniforme. Dans le dernier cas nous avons réparti la section de la grille de soufflage en 6 parties (figure 6). Afin d'éviter les courants d'air sur le mannequin on injecte l'air à la vitesse la plus élevée uniquement dans les sections S1 et S2. Dans les autres sections plus en face de l'occupant l'air est injecté à une vitesse plus faible (voir tableau 1).

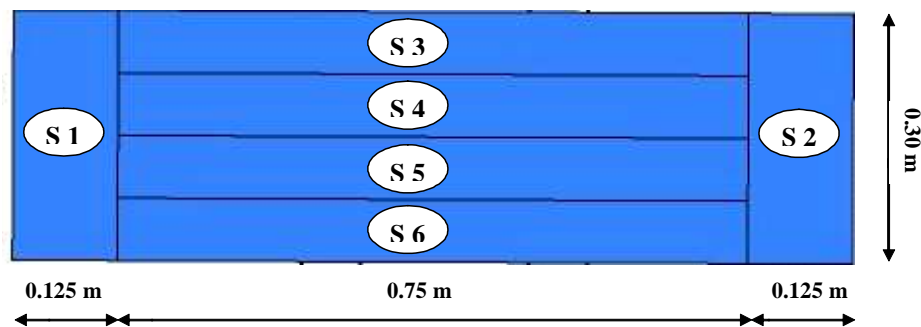


Figure 6 : Schéma de la grille de soufflage

	segment S1	segment S2	segment S3	segment S4	segment S5	segment S6
vitesse d'air (m/s)	0,40	0,40	0,10	0,08	0,06	0,062

Tableau 1 : Vitesse de l'air à la sortie des segments

4.1.2. Champ dynamique

Comme résultat nous présentons sur la figure 7 la répartition de vitesses d'air dans le plan horizontal ($y=0.1$ m) en considérant un jet d'air de vitesse non uniforme à la sortie de la grille de soufflage (tableau 1). Nous constatons que l'air frais arrivant sur les membres inférieurs du mannequin à une vitesse inférieure à 10 cm/s, par contre loin du mannequin la vitesse d'air est de l'ordre de 35 cm/s. Cette configuration limite bien les courants d'air sur le mannequin. Sur la figure 8 on présente le champ de vitesses dans le plan horizontal ($y=0.1$ m) mais en considérant dans ce cas que le jet d'air à une vitesse uniforme à la sortie de la grille ($v=0.156$ m/s). Nous remarquons dans ce cas que l'air frais arrive sur le mannequin avec une vitesse comprise entre 14 et 17 cm/s.

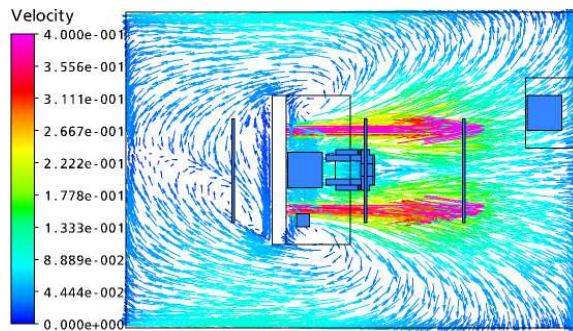


Figure 7 : Distribution de vitesse d'air dans le plan $y = 0.1$ m (Jet d'air de vitesse non uniforme)

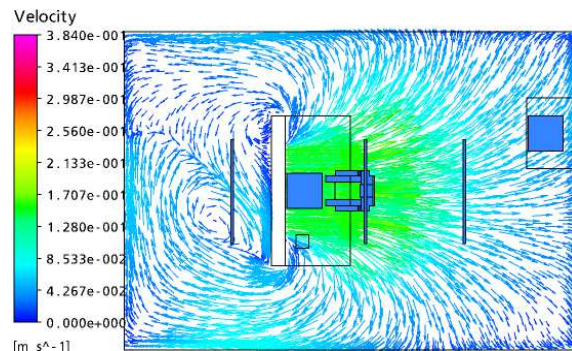


Figure 8 : Champ de vitesse d'air dans plan $y=0.10$ m (Jet d'air de vitesse uniforme)

4.1. Analyses de la distribution de CO₂ dans le local

L'amélioration de la qualité d'intérieur d'air a été prévue en livrant l'air frais près de l'occupant [10]-[11]-[12]. La figure- 9 montre l'évolution de la distribution du polluant le long de la hauteur du local, dans la zone occupé. Sur la figure 10 nous présentons le graphe de l'évolution verticale de la concentration de CO₂ dans le local. Nous avons utilisé ici un indice qui permet d'apprécier la capacité du système de ventilation à éliminer les polluants présents dans un domaine ventilé → indice d'élimination du polluant.

Cet indice C_i représente le rapport entre la concentration du polluant à un point donné et la concentration de référence (concentration du CO₂ dans l'air).

Nous remarquons que la concentration du polluant reste acceptable et presque égale la concentration de référence. L'indice d'efficacité d'élimination du polluant est égal à 1.016. Le confort est vérifié dans cette région.

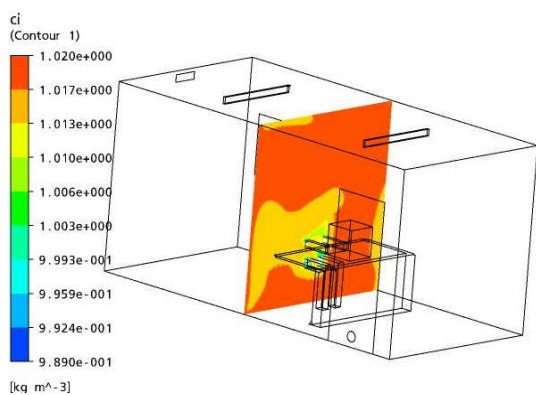


Figure 9 : concentration en CO₂ (C/C_{ref}) dans le plan ($x=2.5$ m).

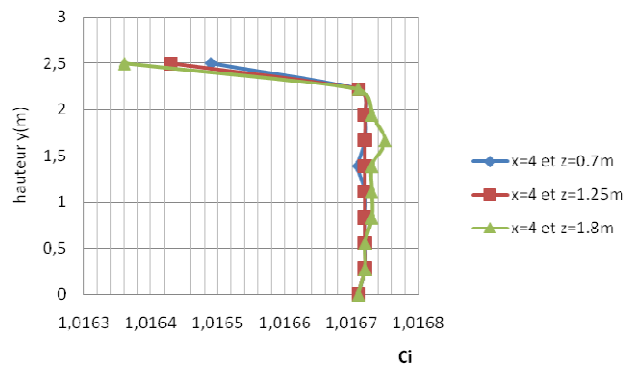


Figure 10 : concentration en CO₂ (C/C_{ref}) dans la zone occupée

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer:

- Les concentrations du polluant ne présentent pas de risques majeurs pour la santé de l'occupant du local.
- La configuration du système de ventilation c'est-à-dire la position des bouches soit soufflage ou reprise joue un rôle plus efficace sur la distribution des températures et ainsi sur les concentrations du polluant.

5. Conclusion

Les résultats obtenus nous ont permis de tirer les conclusions suivantes. En utilisant l'outil numérique CFX-10 nous pouvons prédire le champ thermique et le champ dynamique de l'écoulement d'air intérieur ainsi que le niveau de confort thermo-aéroulrique de l'occupant d'un local. La précision des résultats obtenus dépend non seulement du modèle de turbulence utilisé comme l'avait affirmé Stamou [9] mais encore plus par la finesse et de la qualité du maillage choisi. En choisissant un maillage adéquat pour chaque modèle de turbulence (K- ϵ , RNG et SST), nous avons obtenus des résultats comparables et proches des résultats expérimentaux obtenus par Loomans[7].

La répartition des vitesses du jet de soufflage à la sortie de grille de ventilation modifie clairement et influe de manière significative sur la structure de l'écoulement thermo-aéroulrique dans la pièce.

Le concept d'efficacité de la ventilation a été défini pour apprécier la capacité des systèmes de ventilation à assurer leurs deux fonctions essentielles que sont la fourniture de l'air neuf (rafraîchissement thermo-aéroulrique) et l'extraction des polluants intérieurs. sachant que la concentration en CO₂ est un indices très important pour prédire la qualité de l'ambiance intérieur.

Le code de calcul utilisé dans le cadre de ce travail peut être utilisé pour étudier les différentes stratégies de contrôle de micro climat dans un projet sans avoir besoin d'une étude expérimentale au préalable afin de cerner l'influence de certains paramètres sur la consommation ou le confort thermique.

Références

- [1] S. Recknagel, Manual pratique de génie climatique, *première édition*, (1997).
- [2] S. Laurent et al, Flux solaires absorbés par l'occupant d'un local vitré. Prise en compte dans l'équation du confort thermique, *J. Therm. Sci.* 40 (2001), pp. 478-488.
- [3] S. Laurent, Etude de l'impact d'une perturbation thermique locale de type tache solaire. Influence sur le confort thermique, *Thèse de doctorat Toulouse*, France (1997).
- [4] ASHRAE Handbook, Chapter 8: Thermal Comfort, *ASHRAE Handbook of Fundamentals*, (1997).
- [5] ISO 7730, Ambiances thermiques modérées. Détermination des indices PMV et PPD et spécifications des conditions de confort thermique, *AFNOR*, Paris, (1994).
- [6] H. Bouia, Modélisation simplifiée d'écoulements de convection mixte interne. Application aux échanges thermo-aéroulriques dans les locaux, *Thèse de doctorat Université de Poitiers*, France (1993).
- [7] M. Loomans, The measurement and simulation of indoor air flow, *These PhD, The Netherlands University of Eindhoven* (1998).
- [8] Documentations CFX. 10: (1) Solver Theory / (2) Turbulence And Near Wall Theory.
- [9] A. Stamou and I. Katsiris, Verification of a CFD model for indoor airflow and heat transfer, *Int. Journal Building and Environment*, 41, issue 9 (2006), 1171-1181.
- [10] Zhang H, Arens E, Kim D, Buchberger E, Bauman F, Huizanga C. Comfort, perceived air quality, and work performance in a low-power task ambient conditioning system. *Build Environ* 2010;45(1):29e39
- [11] Chen Q. Ventilation performance prediction for buildings: a method overview and recent applications. *Building and Environment* 2009;44(4):848-58.
- [12] D.P. Wyon, The effects of indoor air quality on performance and productivity, *Indoor Air* 4 (Suppl. 7) (2004) 92-101.