

Modélisations tri-dimensionnelles des vitesses d'air au niveau des poulets de chair en cas de fortes chaleurs

Yann Guyot¹, Saliou Cissé¹, Maxime Quentin¹

¹ITAVI, 7 rue du Faubourg Poissonnière, 75009 Paris, France
guyot@itavi.asso.fr

RÉSUMÉ

Le changement climatique a pour conséquence une multiplication des coups de chaleur qui risque, à terme, de remettre en question le bien-être et la santé des volailles et rend cruciale la bonne gestion de l'ambiance dans les poulaillers. Il est possible de refroidir les animaux via des vitesses d'air importantes. En effet, la température ressentie (ou température effective) est la combinaison de la température ambiante (dite sèche), de l'humidité et de la vitesse de l'air autour des animaux. Les deux premières composantes soient des mesures simples à obtenir. Il est néanmoins assez délicat d'estimer les vitesses d'air au niveau des animaux, d'autant plus que ces dernières peuvent varier en fonction du poids vif et de la densité. La simulation tri-dimensionnelle de type computational fluid dynamics (CFD) dans des configurations de bâtiments de référence offre une solution intéressante pour préciser les flux d'air et mieux appréhender leur distribution et leur magnitude. Dans un premier temps des pré-simulations ont été réalisées afin de déterminer les paramètres physiques qui permettent de modéliser la couche animale comme un milieu poreux (venant freiner l'air). Par la suite, deux bâtiments représentatifs du parc français comprenant une ventilation par extraction latérale ou longitudinale ont été réalisés en 3D. A 100% de fonctionnement du matériel de ventilation (forte chaleur), les résultats de simulations démontrent de plus grandes vitesses d'air moyennes et de plus grandes variabilités pour les bâtiments à extraction longitudinale que pour ceux à extraction latérale. Enfin, les simulations ont permis de construire des lois de réponse associant la distribution des températures ressenties dans un bâtiments type en fonction du poids vif et de la densité.

ABSTRACT

Three-dimensional modeling of air velocity at broilers level in case of intense heat

With global warming, frequencies and intensity of heat stress events will be detrimental for broilers health and welfare. A good management of environment in broilers house is crucial to tackle this issue. An efficient way for cooling down animals is by exposing them to relatively high air velocities. Indeed, the effective temperature is the combination of dry bulb temperature, relative humidity and air velocity. Although the first two are conveniently collectables, air velocities at animals level can be tricky to estimate, especially since it varies with body weight and density. Computational fluid dynamics (CFD) simulations are an efficient tool to apprehend air streams distribution and magnitude. As a first step, pre-simulations have been conducted in order to estimate the parameters to model the animal occupied zone as a porous media. In a second step, two representative configurations of typical french broiler houses have been designed. These configurations differ from their ventilation modes. At one hundred percent of air extraction, lengthway systems show a higher average air velocity and variability than crosswise systems. Afterwards, response laws relating broiler house type, body weight and animal density to air velocity distribution at animal level has been constructed.

INTRODUCTION

Les fortes chaleurs peuvent avoir plusieurs conséquences sur les volailles de chair, allant de l'inconfort et la réduction de l'ingéré et donc du gain de poids à une mortalité accrue (Le Douarin, 2020a). De surcroît, la multiplication des épisodes caniculaires dus au changement climatique tend à aggraver le problème. Une bonne gestion de l'ambiance (température, humidité et vitesse d'air) peut permettre de réduire la température ressentie par les animaux et donc limiter les coups de chaleur et leurs effets délétères. Deux options existent pour réduire la température ressentie. La première consiste en la réduction de la température ambiante via l'ajout d'eau sous forme liquide dans le bâtiment (brumisation ou pad-cooling). La deuxième consiste à réduire la température ressentie elle-même via un accroissement des vitesses d'air au niveau des animaux (Le Douarin, 2020b). La présente étude propose de se focaliser sur cette deuxième option. Dans des bâtiments dits dynamiques, la ventilation est générée par des ventilateurs et des extracteurs, gérées par des boîtiers de régulation. Il est donc possible de connaître le débit d'air lorsque le bâtiment est au maximum de sa capacité d'extraction (configuration correspondant à une forte chaleur). En revanche, il n'est pas évident d'extrapoler ce débit à la distribution des vitesses d'air au niveau des animaux, d'autant plus que ces dernières varient en fonction du poids vif et de la densité. La modélisation tri-dimensionnelle des écoulements de type Computational Fluid Dynamics (CFD) permet d'obtenir une cartographie de la distribution des vitesses d'air et de leurs magnitudes dans le bâtiment (Du *et al.*, 2019; Osorio Saraz *et al.*, 2013; Rojano *et al.*, 2015). Une des difficultés liées à ce type de modélisation en élevage avicole est la grande quantité d'animaux à inclure dans la géométrie pouvant nécessiter un nombre considérable de ressources informatiques. Afin d'outrepasser cette difficulté, plusieurs auteurs suggèrent de modéliser la Zone Occupée par les Animaux (ZOA) comme un milieu poreux venant freiner l'écoulement de l'air (Bjerg *et al.*, 2011; Cheng *et al.* 2018; Du *et al.*, 2019). L'acquisition des paramètres physiques du milieu poreux modélisant une ZOA d'un poids vif (PV) et d'une densité animale donnée est donc essentielle et constitue la première partie de cette étude.

Une fois ces paramètres obtenus, il est possible de modéliser les écoulements d'air en bâtiment entier. Deux types de bâtiments représentatifs du parc français caractérisés par leur mode d'extraction (extraction latérale dit Colorado et extraction longitudinale) ont été sélectionnés comme géométries de référence pour les simulations CFD. Suite à l'extraction de la distribution des vitesses d'air pour chaque configuration, des lois de réponse ont pu être générées permettant de connaître

la température effective (ressentie) (Bjerg *et al.*, 2018) en fonction de la température et l'humidité ambiantes observées.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Approximation de la ZOA par un milieu poreux

Afin d'outrepasser la difficulté liée au maillage d'un grand nombre d'animaux, la ZOA peut être considérée comme un milieu poreux. Les paramètres physiques de ce dernier sont dépendants de la géométrie des animaux, c'est à dire du volume occupé et doivent donc dépendre du PV et de la densité animale. Cette alternative consiste à ajouter un terme source **S** aux équations de Navier-Stokes :

$$\mathbf{S} = \frac{\Delta p}{\Delta x} = \left(\mu \mathbf{D} + \frac{1}{2} \rho \mathbf{F} \mathbf{U} \right) \mathbf{U}$$

Avec **D** et **F** respectivement les matrices de coefficients de résistance visqueuse (m^{-2}) et inertielle (m^{-1}), **U** le vecteur vitesse d'air (m.s^{-1}), μ la viscosité dynamique ($\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$) et ρ la densité (kg.m^{-3}). Afin de déterminer ces coefficients, un modèle de soufflerie virtuelle a été construit de telle sorte à pouvoir estimer le gradient de pression pour une vitesse donnée, au travers d'un volume représentatif d'un m^2 occupé par des poulets d'un PV et d'une densité prédéfinis (figure 1). Dans le but de générer des coefficients de résistance dépendants du PV et de la densité, plusieurs volumes représentatifs ont été créés à l'aide du procédé suivant. Dans un premier temps, une géométrie de référence représentant un poulet est adaptée pour correspondre à la surface d'un poulet au PV voulu. Ainsi, l'équation suivante reliant PV (kg) et surface de l'animal (m^2) est utilisée (Aerts *et al.*, 2004) :

$$A_p = 0.081 PV^{0.667}$$

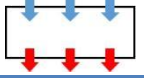
Cette géométrie est alors distribuée de façon aléatoire sur une surface d'un m^2 à la densité voulue. La géométrie ainsi obtenue est virtuellement soumise à plusieurs vitesses d'air afin d'en extraire le gradient de pression et, à l'aide d'une régression quadratique, les coefficients de résistance correspondants. La ZOA n'étant pas isotrope, les composantes suivant l'axe *z* et le plan *xy* ont été différenciées.

1.2. Simulations à l'échelle du bâtiment

Deux configurations types de bâtiments ont été sélectionnées afin d'en extraire la distribution des vitesses d'air au niveau des animaux. Ces configurations se distinguent par leur mode d'extraction. Le premier correspond à un bâtiment de type colorado, à extraction latérale, où l'air entre par un des long-pans et est extrait de l'autre côté. Le deuxième correspond à une extraction longitudinale,

où l'air entre par les deux longs pans et est extrait au pignon.

Tableau 1. Description des deux configurations types de bâtiments (flèches bleues : entrées d'air, flèches rouges : extraction d'air)

Paramètres	Colorado	Longitudinal
Longueur (m)	80	100
Largeur (m)	15	18
Pente de toit (%)	30	30
Hauteur long-pans (m)	2.3	2.5
Ventilateurs (m ³ .h ⁻¹)	6x12000	1x25000
Extracteurs (m ³ .h ⁻¹)	5x40000	8x40000
Schéma		

Chaque géométrie a été reproduite virtuellement en trois dimensions et le modèle d'écoulement turbulents k-epsilon a été utilisé (Versteeg *et al*, 2007). Les trappes d'admission d'air étaient ouvertes avec une amplitude (environ 50°) de telle sorte à obtenir une dépression interne proche de 25 Pa.

1.3. Lois de réponse : Température effective

Plusieurs simulations ont été effectuées dans chaque configuration de bâtiment, pour des poids vifs (1.5, 1.7 et 1.9 kg/animal) et des densités animales (18, 20 et 22 anx/m²) différents, afin d'en extraire des lois de réponse reliant ces données d'entrée à la distribution des vitesses d'air dans la ZOA. Enfin, la distribution de la température effective (TE) peut être estimée d'après l'équation suivante (Bjerg *et al*, 2018) :

$$TE = 0.794T + 0.25T_w + 0.7 + 0.7(43 - T)(u^{0.5} - 0.2^{0.5})$$

Avec T la température ambiante, T_w la température humide et u la magnitude de la vitesse d'air.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Paramètres de la ZOA

Les expressions des paramètres permettant de modéliser la ZOA d'un PV et d'une densité (d) donnés comme un milieu poreux sont les suivantes :

$$\begin{cases} D_{x,y} = 82d^2 - 2988d + 29567 \\ D_z = (0,075d - 0,274)(1,065PV - 0,482) \\ F_{x,y} = -14d^2 + 768d - 1686 \\ F_z = (0,237d - 2,918)(3,575PV - 3,934) \end{cases}$$

Ces expressions ont été obtenues à l'aide de régressions linéaires à deux variables sur la base de résultats de simulations.

2.2. Vitesses d'air

Les résultats de simulations démontrent de plus grandes vitesses d'air moyennes et de plus grandes variabilités pour les bâtiments à extraction

longitudinale que pour ceux à extraction latérale (figure 2a,b). Les bâtiments à extraction longitudinale apportent une vitesse moyenne 32 % supérieure à celle des colorados, indépendamment du PV et de la densité animale. A titre d'exemple, pour un PV de 1.9 kg et une densité de 22 animaux/m², la vitesse moyenne est de 0.41 ± 0.25 m/s pour les longitudinaux et 0.31 ± 0.18 m/s pour les colorados. La distribution statistique des vitesses d'air est illustrée en figure 2b.

2.3. Températures effectives

Afin d'obtenir la distribution des températures effectives pour un PV, une densité, une température et une humidité relative ambiantes donnés, un modèle f(u) de type loi log-normale a été ajusté sur la distribution des vitesses d'air (figure 2d)

$$f(u) = \frac{1}{(u - \theta)\sigma\sqrt{2\pi}} e^{\left(-\frac{\ln\left(\frac{u-\theta}{m}\right)^2}{2\sigma^2}\right)}$$

Tableau 2. Formulation des paramètres de la distribution des vitesses d'air f(u)

Paramètres	Longitudinale	Colorado
σ	$(0.002d + 0.12) \times (0.33PV + 1.65)$	$(0.04d + 1.25) \times (0.023PV + 0.09)$
θ	$(-0.03d + 1.24) \times (0.19PV + 0.6)$	$(-3.08d + 1.19) \times (0.004PV + 0.01)$
m	$(-0.003d + 0.17) \times (-2.07PV + 9.05)$	$(-0.01d + 0.51) \times (-1.06PV + 4.25)$

Il est donc possible d'extrapoler cette distribution des vitesses d'air aux températures effectives dans le bâtiment, à condition de connaître la température et l'humidité ambiantes. Des exemples de distributions de températures effectives sont illustrées en figure 3. Les simulations de gauche décrivent le cas d'un été modéré, celles de droite le cas de très fortes chaleurs et celles du milieu l'effet potentiel d'ajout de brume. On constate que les bâtiments à extraction longitudinale permettent de mieux refroidir les animaux que les colorados, du fait de vitesses plus importantes.

Ce modèle d'évaluation de la température effective pourrait être utilisé comme un outil d'objectivation du bien-être animal en cas de fortes chaleurs dans un bâtiment dynamique de poulets standards mais aussi comme un outil d'évaluation de l'efficacité des systèmes de ventilation. Comme démontré, connaître plus précisément la distribution des vitesses d'air au niveau des animaux est essentielle pour mieux appréhender la température ressentie et donc les coups de chaleur. En revanche, une étude tri-dimensionnelle plus approfondie en incluant les équations de transport et de production de chaleurs (température et humidité) permettrait de cartographier les zones du bâtiment où la température effective dépasse un certain seuil et donc d'envisager des améliorations structurelles plus ciblées. De plus, il serait nécessaire de réaliser des

simulations dans des bâtiments avec des configurations différentes (hauteur, largeur, longueur...) afin d'évaluer les potentielles différences avec les résultats présentés ici. Ce type d'outil pourrait également être développé pour évaluer les températures ressenties par les poussins pendant le démarrage.

CONCLUSION

La présente étude propose une méthodologie de calcul des températures effectives à l'aide de la distribution

des vitesses d'air en bâtiment dynamique. Une pré-étude a été réalisée dans le but de déterminer les paramètres physiques permettant de modéliser la zone occupée par les animaux comme un milieu poreux. Par la suite, cette approche a été mise en œuvre dans le cadre de simulations en bâtiments entiers afin d'en extraire la distribution des vitesses d'air au niveau des animaux pour différents poids vifs et densités animales. Enfin, un outil d'indicateur du bien-être en cas de fortes chaleurs a été présenté.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aerts, J., & Berckmans, D. (2004). A virtual chicken for climate control design: static and dynamic simulations of heat losses. *Transactions of the ASAE*, 47(5), 1765
- Bjerg, B., Cascone, G., Lee, I.-B., Bartzanas, T., Norton, T., Hong, S.-W. Zhang, G. (2013). Modelling of ammonia emissions from naturally ventilated livestock buildings. Part 3: CFD modelling. *Biosystems Engineering*, 116(3), 259-275. doi:https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2013.06.012
- Bjerg, B., Zhang, G., Pedersen, P., & Morsing, S. (2018). Effective Temperature for Poultry and Pigs in Hot Climate. In *Animal Husbandry and Nutrition* (pp. 23-41). InTechOpen London.
- Cheng, Q. Y., Li, H., Rong, L., Feng, X. L., Zhang, G. Q., & Li, B. M. (2018). Using CFD to assess the influence of ceiling deflector design on airflow distribution in hen house with tunnel ventilation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 151, 165-174. doi:10.1016/j.compag.2018.05.029
- Du, L. H., Yang, C. W., Dominy, R., Yang, L., Hu, C. M., Du, H. R., . . . Jiang, X. S. (2019). Computational Fluid Dynamics aided investigation and optimization of a tunnel-ventilated poultry house in China. *Computers and Electronics in Agriculture*, 159, 1-15. doi:10.1016/j.compag.2019.02.020
- Le Douarin P., (2020a, 15/04). Anticiper le coup de chaleur sur les volailles. *Reussir Volailles*
- Le Douarin P., (2020a, 17/03). Pour éviter le coup de chaleur, il faut privilégier d'abord la vitesse d'air sur les oiseaux. *Reussir Volailles*
- Osorio Saraz, J. A., Arêdes Martins, M., Oliveira Rocha, K. S., Silva Machado, N., & Ciro Velasques, H. J. (2013). Use of computational fluid dynamics to simulate temperature distribution in broiler houses with negative and positive tunnel type ventilation systemS. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 16, 159-166.
- Rojano, F., Bournet, P. E., Hassouna, M., Robin, P., Kacira, M., & Choi, C. Y. (2015). Modelling heat and mass transfer of a broiler house using computational fluid dynamics. *Biosystems Engineering*, 136, 25-38
- Versteeg, H. K., & Malalasekera, W. (2007). *An introduction to computational fluid dynamics: the finite volume method*. Pearson education

Figure 1. Description du processus d'obtention des paramètres approxinant la ZOA par un milieu poreux. a) La géométrie de référence est mise à l'échelle d'un poulet à un PV donné. b) Le poulet au PV voulu est distribué aléatoirement sur une surface d'1m² à la densité voulue. c) Utilisation du modèle de soufflerie virtuelle pour obtenir le gradient de pression au travers du volume de référence. c) Après simulations avec plusieurs vitesses d'entrées différentes, une régression quadratique permet d'obtenir les paramètres correspondants.

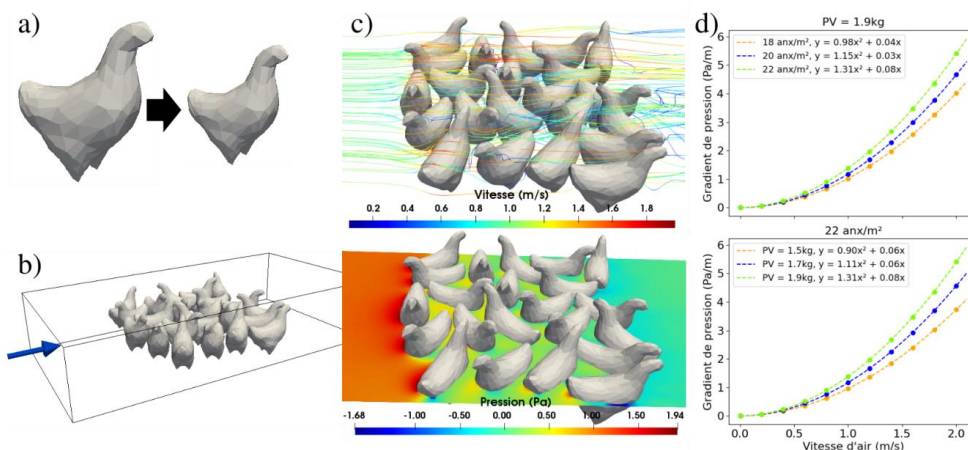


Figure 2. Extraction des vitesses d'air à partir des résultats CFD. a) Lignes de courant en bâtiment colorado (haut) et à extraction longitudinale (bas). b) Vitesses d'air au niveau des animaux en fonction du type de bâtiment, du PV et de la densité animale. c) Distribution des vitesses d'air au niveau des animaux courant en bâtiment colorado (haut) et à extraction longitudinale (bas). d) Ajustement du modèle log-normale sur la distribution statistique des vitesses d'air

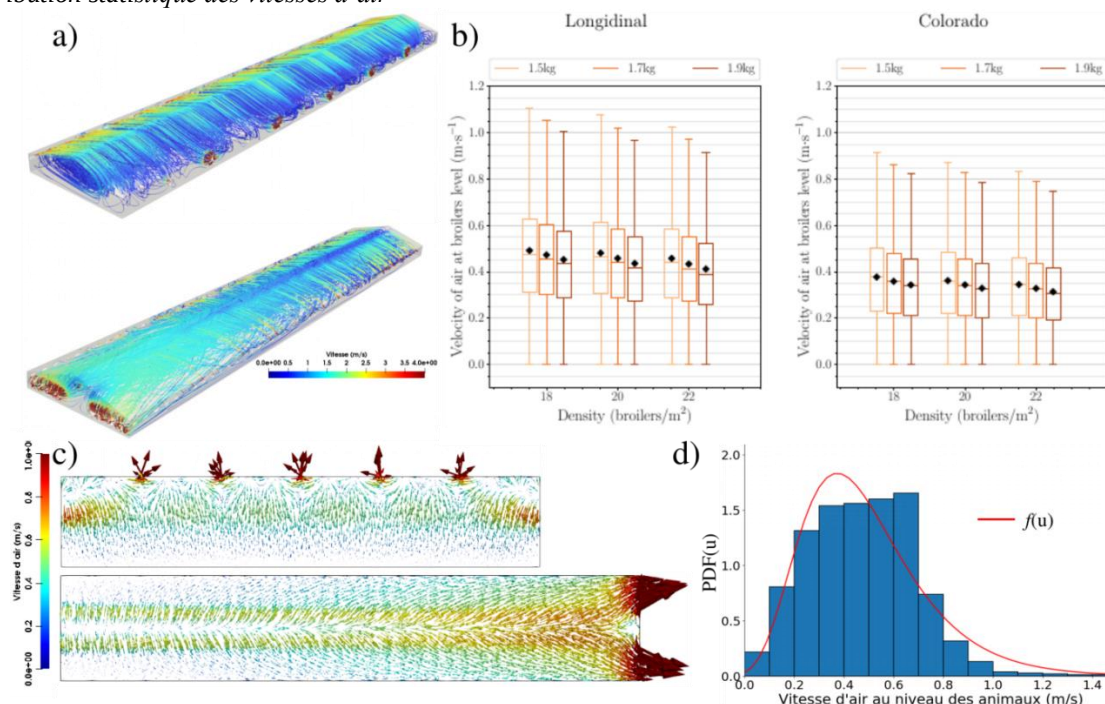


Figure 3. Exemples de distribution des températures effectives. (gauche) $T_{\text{ambiante}} = 30^{\circ}\text{C}$, $HR_{\text{ambiante}} = 40\%$, (centre) $T_{\text{ambiante}} = 32^{\circ}\text{C}$, $HR_{\text{ambiante}} = 70\%$, (droite) $T_{\text{ambiante}} = 36^{\circ}\text{C}$, $HR_{\text{ambiante}} = 40\%$

