

MAITRISE CLIMATIQUE EN BATIMENT STATIQUE D'ELEVAGE DE VOLAILLES DE CHAIR REFROIDISSEMENT D'AMBIANCE EN PERIODE DE FORTE CHALEUR

Robin P., Souloumiac D., J.C. Ferren

I.N.R.A. Bioclimatologie, 65 rue de Saint-Brieuc
35042 RENNES cédex, Fax : (33) 99.28.54.30

Résumé

Dans de nombreuses régions d'Europe, les fortes chaleurs estivales entraînent des pertes économiques par déficit de croissance et par mortalité animale. Un abaissement de température important est possible par évaporation d'eau dans l'air du bâtiment (« cooling évaporatif »). Les auteurs en démontrent la faisabilité de façon théorique et expérimentale dans le cas des bâtiments « statiques ». En l'absence de vent, le renouvellement d'air est favorisé par l'abaissement de température qui accroît l'écart de densité entre l'air intérieur et l'air extérieur. L'abaissement de température peut dépasser 10°C sous nos climats.

Abstract

Environment control in poultry buildings naturally ventilated: evaporative cooling during hot periods

In many european regions, severe summers result in lower productivity and death losses. Evaporative cooling make this temperature reduction possible. The authors show that this technique is applicable even in the case of buildings naturally ventilated, through a theoretical analysis and an experimental validation. They show also that the natural ventilation is enhanced by evaporative cooling when the wind is lacking, because of an increase in the density difference between the air inside and outside the building. The temperature reduction can reach 10°C (18°F) in our regions.

Introduction

Chaque année les chaleurs estivales entraînent un manque à gagner de plusieurs dizaines de millions de francs pour la profession avicole à travers les déficits de croissance, les mortalités animales et les limitations volontaires de productions. Les fortes chaleurs sont particulièrement dommageables lorsque les animaux arrivent en fin de bande et qu'ils sont élevés à de fortes densités. Ce manque à gagner vient notamment de la difficulté pour l'animal d'évacuer la chaleur métabolique produite par la transformation de l'aliment en viande. En période de forte chaleur, la simple augmentation des vitesses d'air est insuffisante. Le seul moyen économique permettant à la fois d'absorber la quantité de chaleur dégagée par les animaux et les litières et de refroidir la masse d'air intérieure, est l'évaporation d'eau dans l'air entrant dans le bâtiment.

L'efficacité de cette technique est démontrée depuis plusieurs années dans le cas des bâtiments ventilés dynamiquement (i.e. par des moto-ventilateurs). Bien qu'elle soit largement mise en oeuvre dans le monde, peu d'éleveurs osent la mettre en oeuvre dans les bâtiments d'élevage ventilés statiquement (i.e. par des différences de pression induites naturellement). La faisabilité théorique a été démontrée récemment (Souloumiac, 1995). Notre but ici est de préciser la validité des modélisations mises au point à l'unité de Bioclimatologie du centre I.N.R.A. de Rennes, en particulier celles permettant de dimensionner les surfaces d'ouverture des bâtiments dans les cas les plus préjudiciables où le vent est absent et où le chargement animal est important.

Théorie

Lorsqu'un air non saturé en eau rencontre une surface mouillée, il cède une partie de son énergie à l'eau qui s'évapore. L'état d'équilibre est atteint quand toute l'eau s'est évaporée ou quand l'air a cédé toute son énergie, il est alors saturé en eau et se trouve à la température dite du « bulbe humide ». Le refroidissement important vient de la valeur élevée de la chaleur latente de vaporisation de l'eau (air à 35°C et 40% d'humidité : 13°C !).

Dans le cas des bâtiments ventilés statiquement, le renouvellement d'air est minimum en l'absence de vent. L'air circule alors sous la seule action des forces de densité : des ouvertures basses vers l'ouverture haute si l'air est réchauffé dans le bâtiment ; de l'ouverture haute vers les ouvertures basses si l'air est refroidi dans le bâtiment. Du fait des variations de contenu en eau de l'air par évaporation de l'eau issue du cooling ou des animaux ou des litières, on se ramène à un air sec standard en caractérisant l'air par sa « température

virtuelle », T_v , plutôt que par sa seule température T ($T_v = T \cdot [1 + 0,61 \cdot q]$ où q est le contenu en eau de l'air (kg eau/kg d'air sec). Le débit d'air D (m^3/s) à travers le bâtiment s'exprime alors par (Souloumiac & Itier, 1989) :

$$D = \alpha \cdot S \cdot \sqrt{2 \cdot g \cdot Z \cdot \frac{\Delta T_v}{T_v}} \quad (1)$$

où ΔT_v représente l'écart de température virtuelle entre l'air entrant et l'air sortant, T_v la température virtuelle moyenne de l'air (Kelvin), S la surface d'ouverture (m^2) et α un coefficient d'efficacité de cette ouverture, g l'accélération de la pesanteur (m/s^2), Z la hauteur du plan de neutralité de pression (m). Dans l'expression (1), la variation relative de température virtuelle $\Delta T_v/T_v$ est déduite de la double variation de température ΔT (Kelvin) et de contenu en eau Δq selon :

$$\frac{\Delta T_v}{T_v} = \frac{\Delta T}{T} + 0,61 \Delta q \quad (2)$$

Dans cette dernière expression, la variation de température vient de la chaleur sensible des animaux et des litières, tandis que la variation de contenu en eau vient de l'évaporation d'eau par les animaux et les litières. Dans le cas du fonctionnement du cooling évaporatif, un premier transfert de chaleur se produit dans l'air qui se charge en vapeur d'eau au détriment de sa température. On a alors les deux expressions suivantes :

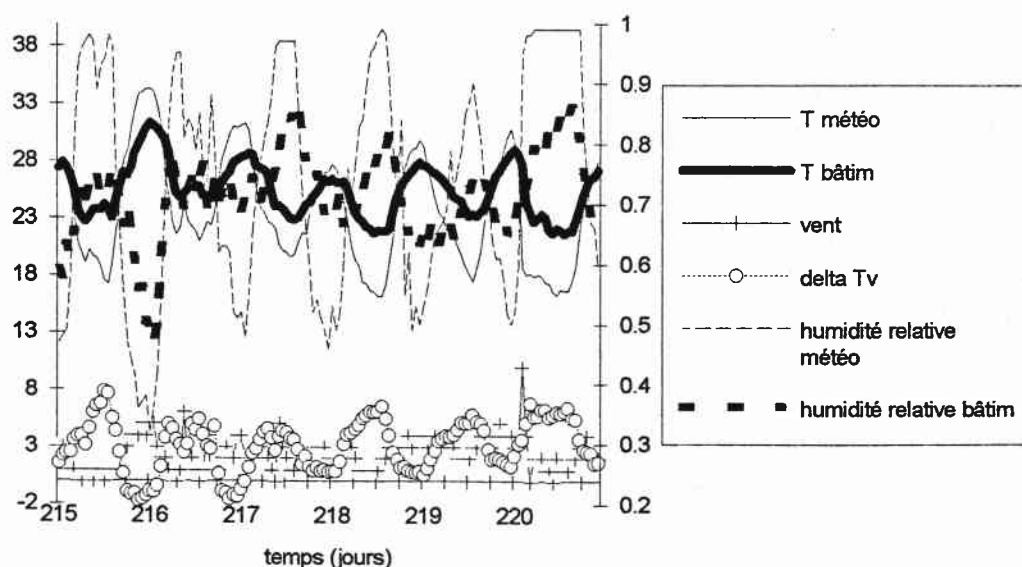
$$\Delta T = \frac{C_s - L \cdot E_a}{D \cdot \rho \cdot C_p + a} \quad (3)$$

$$\Delta q = \frac{C_l + E_a}{D \cdot \rho} \quad (4)$$

Dans les expressions (3) et (4), E_a représente la quantité d'eau pulvérisée dans l'air, C_s et C_l représentent respectivement les quantités de chaleur dégagées sous forme sensible (échauffement, en W) et latente (évaporation, en kg), L la chaleur latente de vaporisation de l'eau (J/kg), ρ la masse volumique de l'air (kg/m^3), C_p la chaleur massique de l'air (J/kg/K), a le coefficient de pertes par les parois (W/K). Les expressions (3) et (4) montrent comment les écarts de température et d'humidité augmentent avec les productions internes (C_s et C_l), diminuent si le débit augmente, tandis que le terme de cooling E_a apparaît comme un transfert de la part sensible vers la part latente.

En période de forte chaleur, le cooling permet d'inverser la valeur de l'écart de température ($\Delta T < 0$) et de retrouver un écart de densité suffisant pour assurer le renouvellement d'air. Lorsque le vent accroît le débit d'air, une réduction de la surface d'ouverture permet de limiter le renouvellement d'air (D) et d'assurer l'abaissement de température. La quantité d'eau est en effet limitée par le débit maximum de brumisation.

FIGURE 1 : évolution de l'ambiance du bâtiment au cours d'une semaine de forte chaleur.
(axe de gauche : température ($^{\circ}\text{C}$), vent (m/s) ; axe de droite : humidité relative (%))



Expérimentation

La période d'observation s'étend sur une semaine de forte chaleur, entre le 2 et le 8 août 1994. Le bâtiment se trouve dans la région de Bressuire (Deux-Sèvres), il couvre une surface de 1000 m^2 avec un chargement de 50 tonnes de dindes en fin de bande. Le débit de cooling évaporatif est de 200 l/heure . L'air extérieur est

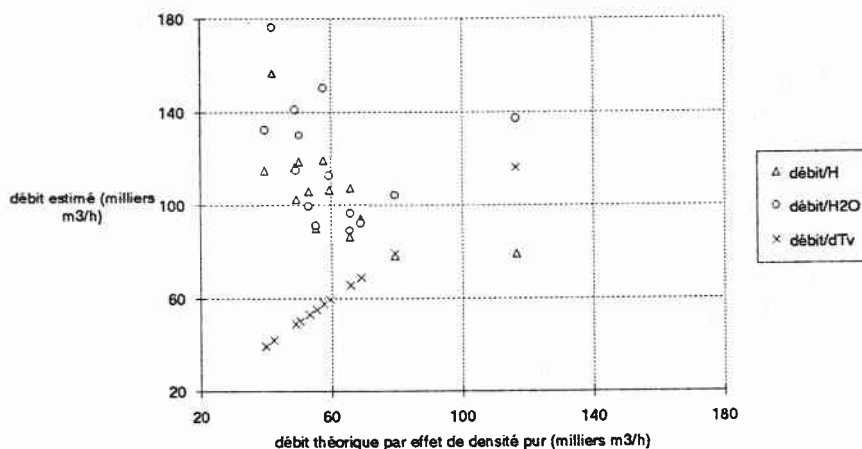
caractérisé par la station météorologique automatique de Bressuire. Le bâtiment a été équipé de mesures de températures sèches et humides. Ces mesures sont faites par thermocouples, acquises toutes les cinq secondes et moyennées toutes les heures sur une centrale d'acquisition NCIA 200 (Garros, Nantes).

Les résultats sont présentés en termes d'ambiance (T, HR) et en indiquant la valeur des deux « moteurs » du renouvellement d'air (vent, Δt_v ; fig. 1). On observe une bonne stabilité des températures et hygrométries internes malgré les fortes évolutions climatiques extérieures. L'effet du cooling est d'inverser l'écart de température virtuelle. L'inversion n'a pas lieu lorsque le cooling est faible vis-à-vis d'un renouvellement d'air accru par les effets de vent ($>3\text{m/s}$). Le niveau faible de cooling pratiqué ici a limité l'abaissement de température interne à 3°C sous la température de l'air extérieur. L'importance d'utiliser la température virtuelle plutôt que la température (Souloumiac & Itier, 1989) est mise en relief ici par la différence entre l'écart de température et l'écart de température virtuelle (figure 1) et d'autre part par le décalage temporel entre les inversions de l'écart de température et de l'écart de température virtuelle (jours 216 et 217).

Discussion

La théorie présentée ci-dessus pour les périodes sans vent, les plus préjudiciables pour le renouvellement d'air et donc pour les animaux, est discutée à partir des points où le vent est négligeable ($<2\text{m/s}$ ou orienté à moins de 30°) et où le cooling a fonctionné (10h-17h). Le débit d'air est estimé par trois méthodes en partie indépendantes : l'équation (1) donne le débit théorique, l'équation (3) et l'équation (4) donnent le débit réel par traçage, en prenant dans ces dernières les productions de chaleur C_s et C_l recommandées par le C.I.G.R. (1984) et améliorées par Souloumiac (1995) pour tenir compte des litières. La comparaison des trois méthodes est présentée sur la figure 2. Les deux méthodes de traçage donnant le débit réel sont en bon accord. Les facteurs négligés par la théorie ne tendent qu'à accroître le débit. Plus ce dernier est important, plus la dilution qui en résulte diminue l'écart de température virtuelle, ce qui explique la forte sous-estimation théorique aux faibles écarts de température virtuelle. L'estimation théorique des ouvertures maximales nécessaires n'est donc pas préjudiciable puisque la régulation permet ensuite de limiter l'ouverture effective. Un affinement de la théorie est possible en tenant compte des brasseurs verticaux, des gouttelettes en suspension, des effets de vent.

FIGURE 2 : comparaison du débit réel (traçage) au débit théorique dû au seul effet de densité.



Conclusion

L'efficacité réelle du cooling évaporatif est donc démontrée théoriquement et expérimentalement dans un bâtiment statique équipé de brasseurs d'air. Le niveau de cooling était faible ici en regard de la chaleur métabolique des animaux (40%) et du vent favorisant le renouvellement d'air (2 à 5m/s). La théorie du renouvellement d'air par le seul effet de densité, c'est-à-dire sans rôle du vent, permet de dimensionner les surfaces d'ouvrant à respecter dans la construction des bâtiments statiques.

Références

- C.I.G.R., 1984. Report of working group on climatization of animal houses. Comm. Internat. du Génie Rural, S.F.B.I.U., Aberdeen, 72p.
- SOULOUMIAC D., 1995. Thèse I.N.A. Paris-Grignon, janvier 1995, 170p.
- SOULOUMIAC D., ITIER B., 1989. C. R. Acad. Sci., série II, tome 308, n°3, 269-274.