



Contact : paul.robin@inra.fr

¹ INRA (UMR SAS) – RENNES² ITAVI – PLOUFRAGAN³ ITAVI – MONT DE MARSAN*Le CASDAR et le CIFOG ont contribué financièrement à cette étude*

Ambigaine : un outil d'aide au percement des gaines de brassage en salle de gavage

Résumé

Le passage des canards en logement collectif pendant le gavage nécessite de faire évoluer les modalités de gestion de l'ambiance pour répondre aux besoins bioclimatiques des canards pendant cette phase. L'amélioration du bien-être des canards passe par une meilleure connaissance du besoin des animaux en vitesse d'air et par une meilleure maîtrise de la distribution des vitesses d'air par les dispositifs installés en élevage. Les dispositifs de brassage par gaine ont été choisis pour ce travail car ils permettent des économies d'énergie pour des flux de vitesse d'air similaires. L'objectif du présent travail est de développer un outil d'aide au percement des gaines de brassage en salle de gavage permettant d'obtenir les vitesses d'air souhaitées au niveau des animaux.

Pour ce faire, une série de mesures dimensionnelles, de vitesses d'air en sortie de trous de gaine et dans les logements, de pressions statiques et dynamiques ont été réalisées pour 2 configurations de gaines équipant une salle expérimentale de gavage du Palmipôle. Les observations réalisées associées aux données des constructeurs pour les ventilateurs ont permis d'établir un outil sous Excel® pour un calcul de la vitesse d'air avec un pas de 10 x 10 cm. Ces calculs tiennent compte des particularités de la configuration : intervalles irréguliers des loges, dimensions, diamètre et hauteur de gaine, modèle et position du ventilateur, position et diamètre des trous. Ils tiennent compte également de la rotation de l'air induite par le ventilateur et de la diminution du débit le long de la gaine et des changements de pression associés.

Cette phase de collecte et intégration de données a permis de développer un outil de calcul, destiné aux techniciens d'organisation de production et aux gaveurs. Il dispose de deux fonctions, la première permet d'établir un plan de perçage d'une nouvelle gaine adapté à l'obtention des vitesses d'air souhaitées sur l'ensemble des logements associés à cette gaine, la deuxième permet de simuler les vitesses d'air obtenues dans les logements à partir d'un perçage déterminé à des fins de diagnostic des salles de gavage et d'amélioration de cet outil de calcul. L'outil sera diffusé à partir de 2018 après présentation au CIFOG.

Contexte

Le confort thermique des volailles passe par le respect de la Température Effectivement Vécue (TEV) par l'animal. Cette dernière intègre les composantes de température, d'hygrométrie mais aussi de vitesse d'air dans leur zone de vie. Lors du gavage, un palmipède peut digérer presque un kilogramme d'aliment par jour. Cette digestion entraîne une production de chaleur importante qui rend leur confort thermique aussi essentiel.

Un travail sur l'optimisation de l'ambiance en salle de gavage a été engagé à partir de 2011 par l'INRA et l'ITAVI en appui au Palmipôle et soutenu par le CIFOG. Ce travail devrait permettre de mieux cerner les apports de chaleur des canards en gavage ainsi que leurs besoins bioclimatiques pendant cette phase. Ceci conduira à mieux dimensionner les installations (apport d'air neuf, brassage de l'air ambiant, refroidissement), mais aussi à préciser les modalités de régulation de l'ambiance en fonction du stade de gavage et des heures de repas.

Le passage récent au logement collectif en phase de gavage, associé aux efforts de la filière pour améliorer le

bien-être animal et réduire son empreinte environnementale a favorisé le choix du brassage par gaine qui permet de réduire la consommation d'électricité pour un résultat similaire de vitesses d'air. L'amélioration de la connaissance du besoin des animaux en vitesse d'air conduit au besoin de mieux maîtriser la distribution de celle-ci dans les logements.

1. Introduction

Augmenter la vitesse d'air au contact des volailles entraîne une diminution de la température effectivement vécue (TEV) par l'animal (Le Menec et Valancony, 1994). Ainsi, le brassage d'air est l'une des composantes sur laquelle les gaveurs s'appuient pour améliorer le bien-être des animaux en leur facilitant l'évacuation de l'excédent de chaleur produite par leur métabolisme. Le brassage d'air permet ainsi de produire du foie gras à des périodes où le climat serait trop chaud pour assurer le confort thermique des animaux.

Les vitesses d'air doivent cependant être bien gérées. Trop faibles, elles ne permettent pas d'obtenir un effet rafraîchissant suffisant, le canard a trop chaud et ralentit sa

digestion. Trop fortes, l'animal ressent le froid, ce qui réduit son bien-être et l'amène à mobiliser ses graisses et augmenter son indice de consommation (kg aliment/kg produit).

Une enquête réalisée en 2011 auprès d'un échantillon de gaveurs représentant une centaine de salles de gavage a montré que le potentiel de gestion de l'ambiance des bâtiments est correct (renouvellement, brassage, refroidissement, régulation) (Amand et al., 2015). Elle a montré que les réglages des paramètres d'ambiance utilisés par les gaveurs pour atteindre un même niveau de production peuvent être assez différents. En d'autres termes, des combinaisons contrastées des paramètres d'ambiance (température, hygrométrie, vitesse d'air) peuvent conduire à des résultats similaires (consommation d'aliment, production de foies, croissance).

Toutefois, pour progresser dans l'optimisation de ces paramètres, deux directions doivent être explorées : (i) mieux définir le besoin des animaux, c'est-à-dire l'ambiance optimale alliant performance et bien-être animal ; (ii) définir les moyens techniques pour atteindre ces conditions. L'estimation du besoin des canards est en cours dans le cadre d'expérimentations en chambre métabolique. Le présent travail concerne la mise en œuvre des moyens techniques, plus particulièrement l'obtention des vitesses d'air nécessaires à l'ambiance optimale.

L'enquête évoquée ci-dessus a montré que les dispositifs de brassage par gaine présentent des débits moyens installés de l'ordre de 66 m³/h/animal contre 146 m³/h/animal pour les systèmes de brassage en cascade. En outre, le nombre de ventilateurs est réduit dans le cas d'un brassage par gaine. Le choix des gaines permettrait ainsi de diviser par 2 la consommation d'énergie associée au brassage. Dans un souci d'économie d'énergie et par conséquent d'amélioration de la durabilité, c'est donc le brassage par gaine que nous avons privilégié.

Notre objectif est de proposer un outil de calcul du perçage des gaines de brassage destiné aux techniciens d'organisation de production et aux gaveurs. La problématique de ce travail est d'une part de définir les gammes de vitesse que l'on cherche à obtenir dans les logements et d'autre part d'intégrer les principaux phénomènes physiques qui déterminent la distribution des vitesses d'air.

2. Matériels et méthodes

2.1. Les contraintes de développement de l'outil

Pour servir au plus grand nombre (techniciens, gaveurs, ...), l'outil doit être facilement accessible, adaptable à des

Dans les salles de gavage, 3 types d'équipements contribuent à l'ambiance :

- les extracteurs assurent le renouvellement d'air,
- le pad ou/et la brumisation assure(nt) le refroidissement de l'air entrant,
- les brasseurs assurent les vitesses d'air au contact des animaux.

Le renouvellement d'air est assuré par des ventilateurs de grand diamètre qui permettent d'évacuer la chaleur et la vapeur d'eau produites par les animaux. Ainsi l'extraction d'air permet de moduler la température et l'humidité de l'air dans la salle. Aux valeurs élevées, l'extraction contribue à de faibles vitesses d'air autour des animaux.

Le refroidissement est assuré par des « pads », couvrant l'entrée d'air. L'évaporation de l'eau liquide circulant dans le pad refroidit l'air. Ces systèmes réduisent la température de l'air entrant en augmentant son humidité. Des buses de brumisation, situées à proximité des animaux, complètent parfois le pad en refroidissant l'air réchauffé par les animaux et les parois du bâtiment. L'augmentation de l'extraction est nécessaire lorsque cette vapeur d'eau additionnelle devient importante en regard de celle produite par les animaux.

Les brasseurs sont répartis dans la salle. Ils ne contribuent pas à l'extraction d'air. En augmentant la vitesse d'air au contact des animaux, ils diminuent la TEV ce qui entraîne une baisse de la vapeur d'eau produite par les animaux (CIGR, 2002).



bâtiments variés, les informations demandées ne doivent pas être trop complexes ou trop nombreuses à renseigner. Il faut néanmoins que les informations fournies pour le calcul soient suffisamment spécifiques de la salle et complètes pour prédire correctement la répartition des vitesses d'air dans les logements.

Pour réaliser cet outil, nous avons décidé d'utiliser le tableur Excel®, simple d'accès et d'utilisation par la majorité des personnes visées. Les paramètres qui influencent les vitesses d'air dans les logements sont renseignés en entrée de l'outil. Ce sont notamment les caractéristiques du ventilateur (diamètre, courbes débit/pression à différentes fréquences), son positionnement par rapport aux premiers logements, la géométrie des rangées de logements et des logements (longueur, largeur, emplacements sans logements), les particularités de la gaine (longueur totale, longueur de gaine souple, diamètre de la gaine, distance du bas de la gaine au fond de la cage), les perforations (diamètres utilisés, nombre de lignes de trous par rangée de logement, nombre et position des trous par ligne).

2.2. Bases théoriques

Les processus à représenter ont été identifiés à partir de mesures de vitesses d'air effectuées dans des salles de gavage, en l'absence des animaux.

2.2.1. Pression statique et dynamique

L'air se déplace entre une zone de haute pression et une zone de moindre pression. **Dans le cas d'une gaine, on distingue la pression dynamique de la pression statique** (Figure 1). La pression totale est égale à la somme de ces 2 composantes. La pression totale ne diminue que faiblement entre le début et la fin de gaine (faible perte de charge). Les mesures permettent de paramétrer la perte de charge en fonction de la vitesse d'air dans la gaine.

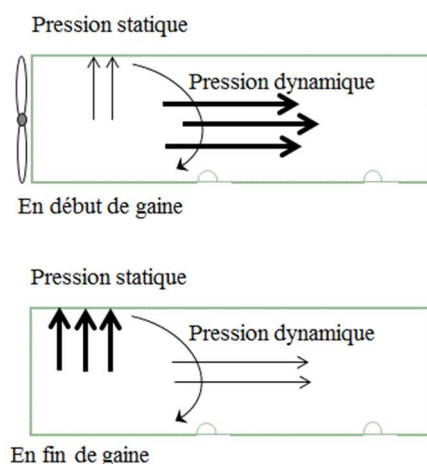


Figure 1 : Illustration des pressions statique et dynamique ; la somme de ces deux termes, la pression totale, diminue légèrement entre le ventilateur et l'extrémité de la gaine (perte de charge) ; comme la pression dynamique diminue pour s'annuler en fin de gaine (sortie progressive de l'air par les trous), la pression statique est minimale en début de gaine et maximale en fin de gaine.

Entre le ventilateur et l'extrémité de la gaine, la pression dynamique diminue et la pression statique augmente.

La pression dynamique s'exerce selon l'axe de la gaine. Elle diminue avec la vitesse de déplacement de l'air dans la gaine. En conséquence, pour un même débit d'air, elle sera d'autant plus élevée que la section de la gaine est faible. Comme le débit diminue le long de la gaine (sortie d'air par les trous), la pression dynamique diminue pour s'annuler en fin de gaine.

La pression statique s'exerce perpendiculairement aux parois de la gaine. Elle explique la sortie d'air par les trous de la gaine. La vitesse de soufflage est d'autant plus élevée que la pression statique dans la gaine est grande. Comme la pression dynamique se transforme en pression statique le long de la gaine (pression totale quasi-constante), la vitesse de sortie d'air par les trous est plus élevée en fin de gaine.

2.2.2. Courbes débit-pression d'un ventilateur

Le ventilateur crée une zone de surpression à l'origine du déplacement de l'air. Le débit d'air réellement déplacé par le ventilateur diminue à mesure que l'on referme la section à la sortie du ventilateur. En conséquence, pour une puissance électrique donnée, **lorsque le nombre et la section des trous d'une gaine diminuent, la pression statique augmente et la pression dynamique diminue.**

Lorsque la puissance électrique du ventilateur augmente, la pression totale engendrée augmente également. Ainsi, il est possible d'obtenir le même débit d'air avec une pression statique croissante à condition d'augmenter la puissance électrique tout en diminuant la section de sortie d'air (Figure 2). Les courbes débit-pression-puissance permettent de calculer le débit et la pression statique dans la gaine en fonction de la puissance électrique à chaque changement de la section de sortie d'air (nombre et section des trous). Leur connaissance est par conséquent essentielle pour calculer la vitesse d'air à la sortie des trous.

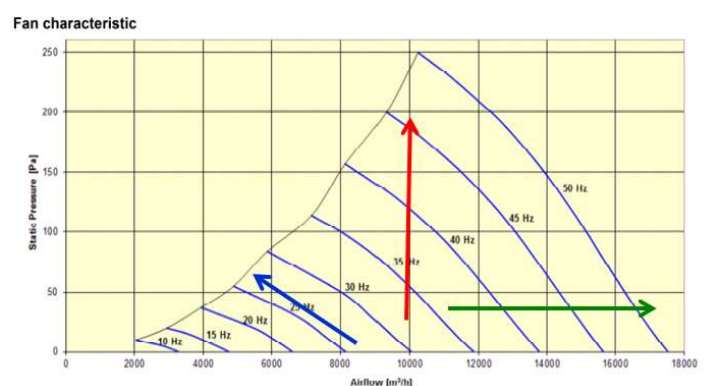


Figure 2 : Courbes débit-pression d'un ventilateur à différentes puissances électriques (exemple FANCOM 3463 17000 m³/h) : flèche rouge=augmentation de pression avec l'augmentation de puissance ; flèche bleue=diminution du débit et augmentation de pression statique (diminution de la section de sortie d'air) ; flèche verte=pour une pression statique donnée, augmentation du débit avec l'augmentation de puissance.

2.2.3. Effet de la rotation du ventilateur

Nous avons constaté en élévation que la rotation de l'air à la sortie du ventilateur a des conséquences sur la distribution des vitesses d'air dans les logements. Dans le cas des ventilateurs hélicoïdes, l'air est en rotation à la sortie du ventilateur. Ce mouvement s'atténue à mesure que l'air se déplace le long de la gaine. Ainsi, en fin de gaine, l'air sort perpendiculairement à la gaine ; en revanche, à proximité du ventilateur, on constate un angle de sortie (Figure 3). A l'angle dû à la rotation de l'air s'ajoute une inclinaison due à la pression dynamique dans la gaine. En conséquence, **la position d'un trou destiné à générer une vitesse d'air à un endroit donné du logement dépend de la distance au ventilateur, du débit soufflé et du diamètre de la gaine**. Nos hypothèses étaient que l'angle dû à la rotation diminuait avec la vitesse de rotation du ventilateur et que l'angle dû à l'avancée de l'air dans la gaine diminuait avec la pression dynamique. Les observations au Palmipôle avaient pour but de quantifier ces effets pour deux ventilateurs.

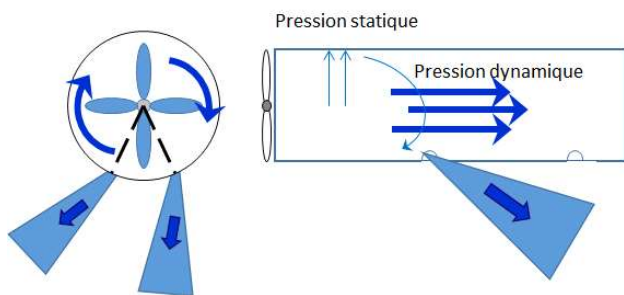


Figure 3 : effet de la rotation et du déplacement de l'air dans la gaine sur l'angle de soufflage à la sortie du trou, à proximité du ventilateur.

2.2.4. Cône de soufflage à la sortie du trou

Lorsque l'air sort de la gaine, il entraîne l'air situé à l'extérieur (Figure 4). Ce mélange a trois effets :

- la vitesse au centre du cône diminue à mesure que l'on s'éloigne du trou ;
- le diamètre du cône augmente avec la distance au trou ;
- la longueur du cône (la distance à laquelle on considère que le trou n'a plus d'effet sur la vitesse d'air) augmente avec le diamètre du trou.

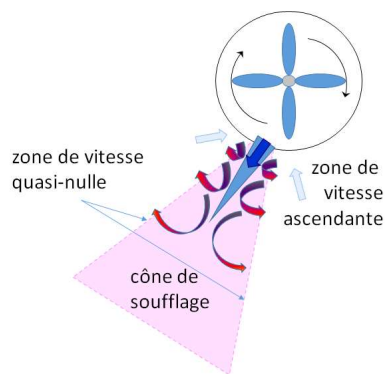


Figure 4 : cône de soufflage à la sortie du trou, généré par le mélange progressif de l'air sortant de la gaine avec l'air ambiant

La forme du cône dépend donc de l'intensité du mélange entre l'air sortant de la gaine et l'air à l'extérieur de la gaine. On sait par exemple que l'intensité du mélange est réduite lorsque l'air soufflé et l'air ambiant sont à des températures contrastées. On sait également que l'intensité du mélange augmente lorsque la surface de contact entre l'air soufflé et l'air ambiant augmente. Plus le mélange est intense, plus le cône de soufflage s'élargit rapidement (rapport du débit dans le cône au débit sortant du trou à une distance donnée). Pour notre application, les mesures en situation réelle avaient pour but de quantifier l'intensité de mélange afin de prédire correctement la forme du cône.

2.3. Les mesures en élévation

Les visites d'élévages nous ont permis de mieux connaître les gammes de vitesse souhaitées par les éleveurs ainsi que les limites actuelles des choix de perçage.

Des observations de vitesses d'air ont été réalisées dans 2 élévages équipés de brasseurs en cascade et 4 élévages équipés de gaines. Les mesures ont été faites dans 3 configurations : (i) extraction maximale et brassage arrêté ; (ii) extraction à 50% et brassage à 50% ; (iii) extraction à 50% et brassage à 100%. Ces trois configurations avaient pour but de représenter trois configurations de gestion des équipements. Ces configurations correspondent respectivement aux conditions d'élévation en climat froid, aux conditions d'élévation en climat chaud en milieu de lot, aux conditions d'élévation en climat chaud et en fin de lot.

Les mesures ont été faites sur trois logements situés en début, milieu et fin de gaine (ou à trois distances du ventilateur dans les systèmes cascade). Les mesures ont été réalisées en 27 points répartis uniformément dans le volume du logement (3 hauteurs x 3 profondeurs x 3 positions longitudinales). Les distances entre points de mesure dépendaient des dimensions du logement.

2.4. Les mesures en salle expérimentale

Les mesures au Palmipôle nous ont permis de quantifier les phénomènes physiques à intégrer au modèle de prédiction et de valider nos calculs.

Au Palmipôle, la salle expérimentale comportait 168 logements collectifs répartis sur 4 doubles rangées. Les mesures de vitesse d'air dans les logements ont été complétées par des mesures de pression statique et dynamique dans la gaine, des mesures de vitesse d'air destinées à caractériser le cône de soufflage à la sortie d'un trou, ainsi que par des mesures de débit du ventilateur.

Ces mesures complémentaires avaient pour but d'acquérir les paramètres permettant de prédire : (i) le débit et la pression générés par un ventilateur dans une gaine pour différents niveaux de puissance et différentes sections de sortie (nombre et diamètre des trous) ; (ii) la distribution spatiale des vitesses d'air générées par une gaine dans une rangée de logements de gavage en collectif.

Les mesures au Palmipôle ont été réalisées en deux séries : une première sur une gaine destinée strictement à caractériser les processus et leur hiérarchie ; une seconde sur une gaine après gavage d'un lot de canards.

Nous avons utilisé deux gaines constituées chacune d'un tronçon rigide et d'un tronçon souple. La partie rigide en PVC est connectée au ventilateur d'un côté et raccordée au tronçon souple à l'aide d'une sangle de l'autre côté. Les caractéristiques des deux gaines sont reprises dans le Tableau 1. Celle qui est raccordée au ventilateur de marque Fancom est identifiée (F) et celle qui est alimentée par le ventilateur de marque Ziehl-Abegg est notée (Z).

Tableau 1 : Caractéristiques des gaines de brassage utilisées

Partie de gaine	Caractéristique	Gaine (F)	Gaine (Z)
Tronçon rigide	Diamètre (m)	0,66	0,53
	Section (m ²)	0,342	0,221
	Longueur (m)	2,1	2,1
Tronçon souple	Diamètre fin (m)	0,68	0,60
	Section fin (m ²)	0,363	0,283
	Longueur (m)	16,065	16,065

Chaque gaine est positionnée sur une double rangée de logements collectifs de marque La Guitoune et de dimensions 0,825 m de long x 0,650 m de profondeur x 0,600 m de hauteur. Le Tableau 2 indique les emplacements de mesure le long de cette rangée.

Tableau 2 : Distance des emplacements de mesure par rapport au ventilateur

N°	Distance au ventilateur (m)
1	10,93
2	12,57
3	14,24
4	15,68
5	17,08

En amont de chaque gaine se trouve un ventilateur de marque et caractéristiques différentes (Tableau 3). Les ventilateurs sont commandés par un variateur de fréquence (FControl de marque Ziehl-Abegg) permettant de moduler leur vitesse de rotation et donc leur débit. Les mesures ont été faites alternativement sur chaque gaine alors que le ventilateur de l'autre gaine était arrêté.

Tableau 3 : Caractéristiques des ventilateurs utilisés (source : données constructeurs)

Marque et modèle	Fancom 3463	Ziehl-abegg FC0564D_4I_VT 560
Diamètre (mm)	629	560
Débit maxi à 0 Pa (m ³ /h)	17 530	12 700
Pression maxi (Pa)	250	?
Vitesse de rotation maxi à 0 Pa (Tr/mn)	1445	1260
Alimentation électrique (V)	400-415	400
Intensité à 0 Pa (A)	2,64	1,6

Initialement, un redresseur de flux était installé dans chaque gaine en sortie de ventilateur. Nous avons réalisé des mesures avec redresseur de flux puis sans redresseur de flux. Compte tenu de l'absence d'impact clair de ce redresseur de flux sur la trajectoire de l'air à la sortie de la gaine et de la diversité des redresseurs disponibles sur le marché, nous avons pris l'option de supprimer le redresseur de flux. Cette dernière option nous permet une réduction des coûts et des pertes de charge ainsi qu'une plus grande facilité de nettoyage et désinfection des gaines.

2.5. Les mesures et matériels utilisés

Des matériels de mesure utilisés couramment en climatisation ont été choisis afin de faciliter la reproduction de ces mesures pour calibrer ou valider l'outil de dimensionnement. Les mesures suivantes ont été effectuées : débit d'air à l'aide d'un anémomètre à hélice (Kimo, Ø 100 mm relié à un boîtier AMI 301 Pro), pression statique, pression dynamique et pression totale en gaine à l'aide d'un tube de pitot (Kimo, tube 300 mm de type L raccordé à un boîtier AMI PRO 301), vitesse d'air en sortie des trous de la gaine et dans les logements (Testo,

appareil multifonction équipé d'un capteur multidirectionnel à boule chaude).

Les mesures ont été réalisées en alimentant les ventilateurs à une fréquence de 20, 35 et 50 Hz. Le débit a été mesuré sur un cadre rectangulaire, placé en amont des ventilateurs. Les mesures de débit ont été effectuées sans gaine, avec gaine débouchée et avec gaine obturée (configuration d'utilisation). Pour chaque configuration, les pressions statique, dynamique et totale ont été mesurées dans la gaine à 10, 20 et 30 cm du bord de la gaine sur son diamètre et ceci à 5 emplacements de la gaine (tableau 2).

Pour tenir compte de la rotation de l'air, les mesures de vitesse ont été prises en sortie des trous et suivies pour établir la direction des jets d'air à l'aide de l'anémomètre et de fumigènes, sur 2 logements situés à proximité du ventilateur.

Dans les logements, nous avons réalisé des mesures de vitesse d'air à 3 hauteurs différentes : sur le fond du logement (0 ; hauteur de référence), à 20 cm du fond (+20 ; équivalent « dos des canards couchés ») et à 40 cm du fond (+40 ; équivalent « cou des canards »). Dans la première série les mesures ont été faites à un pas de 20 cm à partir de 10 cm des parois verticales, soit en tout 36 mesures par logement. Dans la seconde série, un pas de 10 cm a été choisi pour mieux représenter le cône de soufflage et la variabilité des mesures depuis le centre jusqu'à l'extérieur du cône.

3. Résultats et discussion

3.1. Mesures en élevage

Lorsque l'extraction est à l'origine des vitesses d'air, ces dernières sont faibles (0,2 à 1 m/s) et relativement homogènes entre logements.

Lorsque les systèmes de brassage sont à l'origine des vitesses d'air, ces dernières peuvent dépasser 7 m/s. Toutefois, dans la plupart des salles visitées, les valeurs maximales constatées étaient voisines de 4 m/s. Nous avons constaté une forte hétérogénéité des vitesses d'air à la fois entre logements et à l'intérieur d'un même logement (Figure 5 et Figure 6). Dans le cas du brassage par gaine, l'hétérogénéité diminue lorsque l'on se rapproche du sol du logement car le contraste entre la vitesse à l'intérieur ou à l'extérieur du cône de soufflage diminue.

Position longitudinale	hauteur	Fond	Centre	Bord
Entrée Air = A	+ 50 cm	0,41 m/s	0,84 m/s	0,26 m/s
	+ 30 cm	0,37 m/s	0,48 m/s	0,42 m/s
	+ 10 cm	0,58 m/s	0,58 m/s	0,62 m/s
Milieu = B	+ 50 cm	0,60 m/s	0,79 m/s	0,28 m/s
	+ 30 cm	0,54 m/s	0,93 m/s	0,68 m/s
	+ 10 cm	0,95 m/s	1,32 m/s	0,88 m/s
Sortie air = C	+ 50 cm	0,55 m/s	3,74 m/s	0,20 m/s
	+ 30 cm	0,44 m/s	0,84 m/s	0,57 m/s
	+ 10 cm	0,31 m/s	0,40 m/s	1,38 m/s

Figure 5 : exemple de vitesses d'air observées dans un logement sous une gaine (vitesse en sortie de trou : 10 m/s) ; les positions « fond, centre, bord » correspondent aux 3 profondeurs et les positions « A, B, C » correspondent aux 3 positions longitudinales

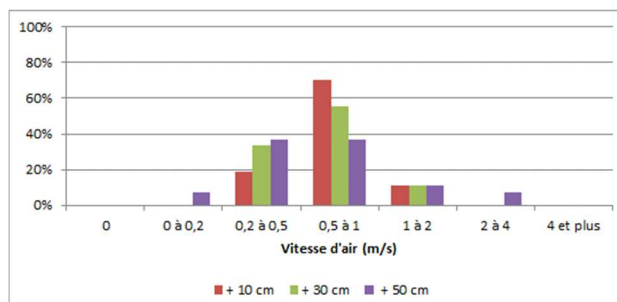


Figure 6 : fréquence des vitesses d'air observées dans les 3 logements pour toutes les positions, en fonction de la hauteur de mesure (10, 30, 50 cm au-dessus du sol du logement)

La forte variabilité des observations, à des distances voisines de 20 cm, montre l'importance de restituer les calculs et d'effectuer les observations avec un maillage assez fin (10 à 20 cm selon le temps disponible pour effectuer les observations).

Les observations visuelles sur les gaines et les discussions avec les éleveurs ont montré que le perçage était réalisé soit de façon empirique (1 trou par canard), soit de façon systématique (positionnement symétrique de part et d'autre de la gaine) voire souvent une conjonction de ces deux cas de figure. L'hétérogénéité de distribution des vitesses d'air entre logements a montré que les phénomènes physiques qui déterminent les vitesses d'air n'étaient pas pris en compte de façon complète par les éleveurs lors du perçage des gaines.

En conséquence, il est souhaitable que le déploiement de l'outil de calcul soit accompagné de formations pratiques montrant, par des mesures de vitesses d'air dans des salles de gavage, l'effet des phénomènes physiques sur la distribution des vitesses d'air.

3.2. Processus représentés

Dans notre outil, cinq processus ont été pris en compte pour calculer la distribution de l'air dans les logements. Ils sont, par importance décroissante :

- l'augmentation de la pression totale et du débit d'air à l'entrée de la gaine avec l'augmentation de la puissance d'alimentation du ventilateur (régulation en

tension ou fréquence) ; il s'agit du processus pris en compte dans un calcul basique de la vitesse d'air à la sortie de la gaine (division du débit total par le nombre de trous et leur section) ;

- la diminution du débit d'air et l'augmentation de la pression totale à l'entrée de la gaine avec la diminution de la section totale de sortie d'air (nombre et diamètre des trous) ; ce processus est pris en compte lorsque l'on souhaite augmenter la vitesse de soufflage pour une puissance donnée du ventilateur ; la vitesse de soufflage est plafonnée par la pression statique maximale spécifique du ventilateur ;
- la diminution de la pression dynamique entre le ventilateur et l'extrémité de la gaine ; cette diminution correspond à la baisse de débit associée à la sortie d'air par les trous ; lorsque ce processus est pris en compte, les trous de début de gaine sont décalés vers le ventilateur (prise en compte de l'effet de cette pression sur l'angle de soufflage) ;
- l'augmentation correspondante de la pression statique (pression totale diminuant légèrement avec la perte de charge associée à la gaine) ; lorsque ce processus est pris en compte, le diamètre des trous diminue en fin de gaine afin d'obtenir la même vitesse dans les logements qu'en début de gaine ;

- la rotation de l'air à la sortie du ventilateur ; lorsque ce processus est pris en compte, la position des trous sur les côtés droit et gauche de la gaine est dissymétrique.

3.3. Présentation de l'outil de calcul

L'outil « Ambigaine » se présente sous la forme d'un classeur Excel® composé de trois feuilles de calcul. Dans la feuille de « saisies », l'utilisateur sélectionne les caractéristiques de sa salle : logements, gaine, ventilateur. Pour faciliter la saisie, la liste des logements collectifs actuellement utilisés a été pré-remplie. De même, les caractéristiques des ventilateurs, des gaines et des emporte-pièce pour les trous peuvent être complétées à partir des données fournies par les fabricants. L'utilisateur complète ces informations avec les indications spécifiques de la salle étudiée : rangée simple ou double, nombre de modules, espaces de la rangée non constitués de loges (moteur, renforts, ...), position relative du ventilateur, de la gaine et de la rangée de logements.

Deux feuilles de « sorties » complètent la feuille de « saisie ». La feuille de sortie « vitesses d'air » sert à visualiser, avec un maillage de 10 cm, les vitesses d'air obtenues sur le plancher des logements arrosés par la gaine pour les débits mini et maxi du ventilateur (Figure 7). Le maillage de 10 cm est un bon compromis entre la facilité de lecture, la variabilité spatiale des vitesses d'air et la difficulté à évaluer un maillage plus fin par le nombre de mesures demandées.



Figure 7 : exemple de sorties couleur selon les vitesses d'air (absc=distance au ventilateur en m) sur le visuel du schéma de sortie – ① = à puissance maxi du ventilateur – ② = à puissance mini du ventilateur – ③ échelle des couleurs utilisées selon les vitesses d'air calculées (m/s) ; les variations spatiales s'expliquent notamment par le choix de 2 lignes de trous et la présence des séparations de logements ; les différences entre les cartes ① et ② s'expliquent par la répartition des pressions dans la gaine en fonction du perçage et du ventilateur)

Géométrie de perçage choisie																																					
numéro du premier logement :		126																																			
sens variation		-1																																			
début comptage		fin de gaine																																			
n° section gaine				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19															
n° logement				126											125											124											123
absc. début cage/gaine				0,00											0,82											1,64											2,46
1ère ligne côté gauche				n° trou	1	2			3	4			5			6			7			8			9												
				diamètre (mm)	54-D	54-D			54-D	54			54-D			54			54			54			54												
				distance fin de gaine (m)	17,94	17,53			17,12	16,90			16,71			16,49			16,08			15,67			15,21												
				distance pliure (cm)	-12,5	-12,5			-12,5	-9,5			-9,5			-9,5			-9,6			-9,7			-9,9												
1ère ligne côté droit				n° trou	1			2	3			4			5			6			7			8			9										
				diamètre	54-D			54-D	54-D			54			54-D			54			54			54			54										
				distance fin de gaine (m)	17,94			17,53	17,12			16,86			16,71			16,45			16,04			15,63			15,18										
				distance pliure	11,4			11,4	11,4			12,9			12,9			12,9			12,8			12,8			12,7										

Figure 8 : Exemple de sortie du plan de perçage associé à la Figure 7. Les trous notés « D » sont équipés d'un « déflecteur ». Ce dispositif permet de diriger le cône de soufflage vers le logement. Dans notre cas il est mis en œuvre sur la portion de gaine rigide. En l'absence de ce déflecteur, l'inclinaison du cône de soufflage à proximité du ventilateur empêcherait d'obtenir des vitesses d'air dans le logement. Certains fabricants proposent des buses permettant de réaliser cette fonction sur les gaines souples.

La feuille de sortie « plan de perçage » (Figure 8) permet d'éditer le plan de perçage de la gaine indiquant pour chacune des perforations : son diamètre (en millimètres), sa distance en mètre(s) de l'extrémité de la gaine ou du ventilateur, sa distance à la pliure de la gaine (ligne diamétralement opposée à la ligne d'accrochage de la gaine). Le numéro de logement sert de repérage afin de vérifier le calage longitudinal correct de la gaine (premiers trous décalés vers le ventilateur, derniers trous centrés sur le logement).

3.4. Validation

La deuxième série d'observations terrain (au Palmipôle), réalisée sur une gaine ayant servi durant le gavage d'un lot de canards, a été comparée aux données calculées par l'outil. Les vitesses moyennes sont correctement prédites ($\pm 0,5$ m/s) mais le calcul ne rend pas compte des fluctuations rapides de la vitesse au cours du temps. Ces fluctuations dépassent 1 m/s lorsque le brassage est à 100%. Elles doivent être prises en compte pour relativiser les écarts entre vitesses prédites et observées. Des outils plus sophistiqués et gourmands en données et en puissance de calcul (type CFD : Computational Fluid Dynamics) permettraient de calculer et valider ces fluctuations rapides. Nous n'avons pas prévu actuellement d'intégrer ces fluctuations rapides dans les prédictions du modèle.

4. Conclusion

Des progrès dans la maîtrise des vitesses d'air dans les salles de gavage permettraient aux éleveurs d'améliorer le confort thermique des canards. Nous nous sommes

Déploiement

Le déploiement sur le terrain est prévu en deux phases. Dans une première étape l'adéquation de l'outil avec les modalités du conseil en élevage sera testée avec quelques techniciens préoccupés par cet enjeu spécifique. Dans une seconde étape, des sessions de formation seront organisées. Elles associeront une partie expérimentale en salle de gavage, destinée à illustrer et expliquer les processus à l'origine de la distribution des vitesses d'air, à une partie théorique conduisant à définir un plan de perçage adapté aux spécificités d'une salle.

Nous souhaitons en outre accompagner ce déploiement d'une série de diagnostics comportant la caractérisation des vitesses d'air avant et après modification du perçage d'une gaine.

L'outil devrait intégrer prochainement les données sur les besoins spécifiques des animaux. Des indicateurs agrégeant l'information spatiale (moyenne, variabilité) pourraient être aussi calculés pour faciliter l'évaluation des scénarios de perçage et les utiliser comme facteurs explicatifs du confort thermique des animaux. A terme, de tels indicateurs pourraient être utilisés pour automatiser l'optimisation du perçage des gaines, la conception des logements, la régulation conjointe de la température, de l'hygrométrie et des vitesses d'air dans les salles de gavage.

intéressés au brassage par gaine car il permet *a priori* une économie d'énergie électrique par rapport au brassage par des ventilateurs en « cascade ». Les salles équipées d'un brassage par gaine que nous avons visitées présentaient une hétérogénéité des vitesses d'air dans les logements.

Un nouvel outil d'aide au perçage des gaines a été développé pour les salles de gavage. Il est basé sur des observations de vitesses d'air sous des gaines, en élevage et au Palmipôle. Il s'appuie sur les connaissances actuelles des logements collectifs. Son déploiement est en cours.

5. Remerciements

Chaleureux remerciements à Jean-Paul Saint-Cricq pour son aide précieuse à la réalisation des expérimentations au Palmipôle ainsi qu'aux éleveurs et organisations de production qui nous ont accueilli en élevage. Ce travail a bénéficié du soutien financier du CIFOG et du CASDAR. Nous remercions également les relecteurs pour leurs conseils de rédaction.

Références bibliographiques

- Amand G., Peillod C., Audren C., Diguët J., Laborde M., Robin P., Hassouna M., Litt J., Rousset N., 2015, Caractérisation des salles de gavage et de leur gestion par un échantillon de gaveurs – TeMA N°33, p 4-9.
- CIGR, 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses. Heat and moisture production at animal and house levels. Editors: Pedersen, S. & Sällvik, K. ISBN 87-88976-60-2. http://www.cigr.org/documents/CIGR_4TH_WORK_GR.pdf, 46p.
- INRS, 1989, Principes généraux de ventilation – Guide pratique de ventilation, ED 695, 40 p.
- ITAVI-CNEVA, 1997. La maîtrise de l'ambiance dans les bâtiments avicoles. Sciences et Techniques Avicoles, hors-série, 64 p.
- ITAVI-CNEVA, 1998. La gestion technique des bâtiments avicoles. Sciences et Techniques Avicoles, hors-série, 64 p.
- Le Menec M., Valancony H., 1994. Utilisation des vitesses d'air dans la lutte contre le coup de chaleur. - Sciences et Techniques Avicoles, N°11, p 28-30.

Ambigaine: a tool to aid design of ventilation ducts for gavage housing

The changing of ducks housing from individual into collective cages during gavage requires to adapt climate control to meet the bioclimatic needs of ducks during this phase. Improving the welfare of ducks requires a better knowledge of the needs in air velocity and a better control of the distribution of air velocities by the housing equipment. We chose to study air speed delivered by air ducts for this work because they allow energy savings for similar air velocities. The objective of this work was to develop a tool to assist in the design of the diameter and the distribution of the holes in gavage housing, allowing the desired air velocities to be achieved in the ducks living area.

To do this, a series of dimensional measurements, air velocities at the exit of holes and in the housings, of static and dynamic pressures were realized for 2 configurations of ducts equipping an experimental gavage room of the Palmipôle. Our observations associated to the data provided by the manufacturers of the fans made it possible to establish a tool under Excel® for a calculation of the air speed with a 10 x 10 cm mesh size. These calculations take into account the specific organization of the gavage room: irregular intervals of the cages, dimensions, diameter and height of the ducts, model and position of the fan, position and diameter of the holes. They also take into account the fan-induced rotation of the air, the reduction of the flow along the duct and the associated pressure changes.

This phase of data collection and integration has led to the development of a computing tool for production organization technicians and feeders. This tool has two functions. The first one makes it possible to establish a duct plan indicating the diameter and the position of the holes adapted to obtain the desired air velocities over all the cages. The second one makes it possible to simulate the air velocities that should be observed in an existing gavage room equipped with a known duct. This second function aims at improving this calculation tool and audit of existing rooms. The tool will be distributed from 2018 after presentation to CIFOG.