



Pourquoi est-il important de maîtriser la concentration en CO₂ dans son élevage ?

Impact sur la santé et le bien-être des poulets de chair

Contact : rousset@itavi.asso.fr

¹ ITAVI – PLOUFRAGAN

² IDELE - PARIS

³ ITAVI - NOUZILLY

Cette étude a reçu le soutien financier du CIPC

Résumé

Dans les poulaillers, le dioxyde de carbone (CO₂) est le produit de la respiration des animaux, de la dégradation des déjections dans la litière et de la combustion de matériaux carbonés. Les études réalisées en conditions expérimentales, montrent des effets négatifs d'une exposition élevée en CO₂ uniquement à partir de 6 000 ppm. En élevage, les animaux sont exposés à un mélange complexe de gaz et de particules qui peuvent avoir conjointement des effets délétères. L'augmentation de la concentration en CO₂ s'accompagne notamment d'une diminution de la concentration en O₂. Cet article vise à étudier les liens, en conditions d'élevage commerciaux de poulets de chair, entre les niveaux et l'évolution de l'exposition des animaux au CO₂, et des indicateurs de santé, bien-être et de performances zootechniques. Les résultats suggèrent l'existence d'un lien entre le niveau d'exposition en CO₂ à l'arrivée des poussins dans le bâtiment, et le taux de mortalité, ou l'utilisation des antibiotiques à 10 jours d'âge. Ces effets négatifs sur la période de démarrage, pourraient intervenir à des niveaux d'exposition en CO₂ plus faibles que ceux observés en conditions expérimentales. Sur la durée totale de l'élevage, des liens sont observés entre les paramètres d'ambiance (concentrations en CO₂, température et taux d'hygrométrie) dans les bâtiments d'élevage et les animaux : taux de mortalité, indice de consommation et pododermatites. Ainsi, la maîtrise de la concentration en CO₂ en élevage est à intégrer dans la conduite de l'élevage, et notamment la période de démarrage qui apparaît particulièrement sensible. Le paramétrage de la régulation des équipements de ventilation et de chauffage, doit permettre d'adapter l'ambiance du bâtiment aux conditions extérieures, en particulier lorsque le climat devient froid et humide.

Contexte et introduction

L'air des bâtiments est constitué d'un mélange complexe de particules et de gaz notamment l'oxygène (O₂) mais aussi l'ammoniac (NH₃), le dioxyde de carbone (CO₂), le monoxyde de carbone (Cambra-Lopez *et al.*, 2010). Des limites réglementaires existent pour ces différents gaz pour la production de poulets de chair. Ainsi, l'arrêté ministériel du 28 juin 2010 établit les normes relatives à la protection des poulets de chair, fixe une limite à ne pas dépasser, de 3 000 ppm de dioxyde de carbone (CO₂) et de 20 ppm d'ammoniac (NH₃) dans l'air à hauteur des animaux et sur toute la durée du lot.

Le CO₂ est un gaz incolore, inodore et plus lourd que l'air. Dans les poulaillers, il est le produit de la respiration des animaux, de la dégradation aérobie des déjections et de la combustion de matériaux carbonés (Hassouna *et al.*, 2015). Ainsi, les équipements de chauffage fonctionnant par la combustion d'énergie fossile, comme le gaz propane, directement à l'intérieur du bâtiment, sont une source importante de production de CO₂ dans l'ambiance. Les 2^{ème} et 3^{ème} semaines d'élevage, constituent une période où la concentration en CO₂ est la plus élevée. En effet, cette période correspond à une période de forte vitesse de croissance, avec des animaux encore partiellement emplumés, ce qui nécessite un niveau de

température élevée associé à un fort renouvellement de l'air. Ceci a pour effet d'augmenter le besoin de réchauffage de l'air neuf, donc la production de CO₂ engendré par le fonctionnement du dispositif de chauffage. Les dispositifs de chauffage pour lesquels la combustion est indirecte (à l'extérieur du bâtiment) offre une solution intéressante pour supprimer cette source de production de CO₂ dans l'ambiance (exemples : chauffage biomasse, aérotherme eau chaude ou plancher chauffant). Par ailleurs, les parois constituent une voie de déperditions thermiques majeure par rapport aux pertes engendrées par le renouvellement d'air, les premiers jours d'élevage. Plus l'isolation des parois est performante, plus ces pertes thermiques vont être réduites et par voie de conséquence le besoin de réchauffage de l'air va diminuer. Le CO₂ produit par la combustion directe d'énergie fossile dans le bâtiment via le dispositif de chauffage est donc d'autant plus faible que le bâtiment est bien isolé. Les échangeurs récupérateurs de chaleur peuvent également permettre de limiter la production du CO₂ dans un bâtiment, en réchauffant l'air entrant par transfert de calories de l'air chaud sortant. Le besoin de réchauffage de l'air entrant se trouve ainsi limité. Enfin, les pratiques d'élevage peuvent aussi impacter les concentrations en CO₂ dans le bâtiment. Ainsi, les consignes de débit minimum utilisées par l'éleveur, la densité animale (impactant la production de CO₂ au m²) et l'élevage d'animaux à croissance rapide

(plus un animal grandit vite plus il va produire de CO₂, de même plus l'animal est lourd plus il va produire de CO₂) sont des paramètres pouvant influencer les concentrations en CO₂ dans le bâtiment.

Concernant les impacts sur la santé et le bien-être animal, le Scientific Committee on Animal Health and animal Welfare (2000) rapporte que des expositions à des concentrations très élevées (> 12 000 ppm), sont associées à une augmentation du halètement des volailles, à une augmentation de l'indice de consommation, ainsi qu'à une réduction de la croissance. Plusieurs études réalisées en conditions expérimentales, mettent en évidence des effets indésirables d'une forte concentration en CO₂, considérée seule (sans évaluer les impacts conjugués du NH₃, de l'hygrométrie, de la température...), sur la santé et la mortalité des poulets. La fréquence des ascites par exemple, est plus importante lorsque la concentration en CO₂ est supérieure à 6 000 ppm vs 2 500 ppm (McGovern, 2001). Par ailleurs, une exposition à 9 000 ppm de CO₂ durant le jeune âge (14 jours premiers jours) a un impact défavorable sur le taux de mortalité en fin de lot (42 jours), en comparaison à des expositions plus faibles durant cette période (0, 3 000 et 6 000 ppm) (Olanrewaju et al., 2008).

A elle seule, l'exposition au CO₂ ne serait donc susceptible d'engendrer des dommages sur la santé, le bien être, les performances zootechniques qu'à partir de niveaux relativement importants. Cependant, dans les poulaillers, les animaux sont exposés, conjointement au CO₂ à d'autres paramètres d'ambiance pouvant avoir des effets délétères. Il s'agit par exemple du taux d'hygrométrie dont l'augmentation est favorisée par un renouvellement d'air insuffisant, ou de la concentration en NH₃, produit par la fermentation de la litière humide. Le rapport du Scientific Committee on Animal Health and animal Welfare (2000) incite donc à considérer le niveau de CO₂ comme un indicateur de la qualité globale de l'air des bâtiments avicoles et du renouvellement d'air, en l'utilisant pour le paramétrage de la régulation des équipements de ventilation. Le seuil de 3 000 ppm est par ailleurs évoqué comme indicateur pour le dimensionnement des équipements de ventilation des élevages, dans le rapport du Working group on climatization of animal houses (CIGR, 1984).

Le travail présenté dans cet article vise à étudier les liens entre les concentrations en CO₂ mesurées en conditions d'élevage commerciaux et des indicateurs de santé, bien être et de performances zootechniques.

1 Méthode

1.1 Concentration en CO₂ à l'arrivée des poussins, mortalité et l'utilisation des antibiotiques au démarrage

Pour cette première partie, 50 lots de poulets de chair standard (39 lots souche Ross/Cobb, 12 souche JA/JV), mis en place en Bretagne entre avril 2015 et avril 2016, ont été suivis sur la période de démarrage (13 lots au printemps, 10 lots en été, 12 lots en automne et 15 lots en hiver), dans le cadre d'une précédente étude de Rousset et al., 2017. Les lots de poulets ont été mis en place à une densité moyenne de 24 animaux/m² (17 à 34 animaux/m²), dans des bâtiments d'une surface moyenne de 1 170 m² (650 à 1 700 m²). Une grande majorité de bâtiments (41) est équipée d'une ventilation dynamique.

Dans les 24 heures suivant l'arrivée des poussins à l'élevage, les teneurs en dioxyde de carbone (CO₂) ont été mesurées à l'aide d'un détecteur KIMO®AQ100. Les mesures ont été réalisées en 12 points à hauteur de l'aire de vie des animaux. Ces 12 points de mesures sont répartis par quart de bâtiment (trois emplacements de mesures par quart de bâtiment : au niveau des chaînes d'aliment, près des parois, et au niveau de la sonde de température/hygrométrie du bâtiment). Cette sonde portable permet une précision de mesure de ±3 % de la valeur lue, ou au minimum 50 ppm, pour une plage de mesure allant de 0 à 5 000 ppm maximum (les valeurs supérieures à 5 000 ppm sont indiquées à 5 000 ppm). La température et l'hygrométrie ambiantes (sonde KIMO® AMI 301) ont également été mesurées. Pour chaque lot, la mortalité et le tri journalier étaient renseignés par l'éleveur, ainsi que les traitements antibiotiques administrés en cours de lot.

Les liens entre d'une part les concentrations en CO₂ à l'arrivée des poussins et d'autre part, l'utilisation d'antibiotique et la mortalité à 10 jours, ont été étudiés à l'aide d'un test non paramétrique de Wilcoxon pour les variables qualitatives et du coefficient de corrélation de Spearman pour les variables quantitatives.

1.2 Evolution journalière des concentrations en CO₂, et mortalité, indice de consommation, utilisation des antibiotiques et taux de pododermatites en fin d'élevage

Dans cette seconde partie, des données d'évolution de paramètres d'ambiance mesurés à l'aide des sondes du bâtiment, ont été relevées à partir des enregistrements des boîtiers de régulation, pour 15 lots de poulets de chair (souche Ross) relatifs à 4 bâtiments d'élevage. Ces lots ont été mis en place entre septembre 2016 et septembre 2017 (3 lots d'hiver, 5 lots de printemps, 2 lots d'été, 5 lots d'automne), à une densité moyenne de 18 animaux/m² (16

à 21 animaux/m²). A 34 jours d'âge (période d'élevage commune à tous les lots), le chargement moyen s'élevait à $30,4 \pm 3,4$ kg/m². Les 4 bâtiments d'élevage avaient une surface moyenne de 1 638 m² (1 350 à 2 000 m²), avec une ventilation dynamique. Deux des bâtiments étaient équipés d'un dispositif de chauffage à combustion indirecte. Les sondes de concentration en CO₂, installées dans ces bâtiments d'élevage, ont actuellement une plage de mesure allant de 0 à 5 000 ppm maximum (les valeurs supérieures à 5 000 ppm sont indiquées à 5 000 ppm).

Ainsi, pour ces 15 lots, un jeu complet de données a été obtenu, sur la période d'élevage de 1 à 34 jours d'âge, pour les variables de paramètres d'ambiance suivantes : « concentration maximale journalière en CO₂ » (CO_{2max}), « température moyenne journalière » (T), ainsi que « taux moyen journalier d'hygrométrie relative » (HR). De plus, ont été mesurés à la fin de chaque lot, le taux de mortalité cumulé, l'indice de consommation et le taux de pododermatites (mesuré selon la grille propre à l'abattoir).

Les évolutions des variables CO_{2max}, T et HR, ont été synthétisées par des paramètres de distribution de ces

variables, pour chacun des lots intégrés à l'analyse de données :

- Des paramètres de position : moyenne, médiane, minimum, maximum, moyenne censurée (ou trimmed) qui correspond à une moyenne tronquée calculée en éliminant les points extrêmes à gauche et à droite (10%) ;
- Des paramètres de dispersion : écart type, erreur standard, écart absolu médian (ou MAD) qui traduit la variation de l'écart absolu à la médiane (c'est un indicateur moins affecté par les données extrêmes), amplitude.
- Les paramètres de forme de la distribution : Coefficient d'asymétrie (Skewness), et coefficient d'aplatissement (kurtosis).

Les liens entre d'une part les paramètres de distribution des variables CO_{2max}, T et HR pour chaque lot ; et d'autre part les indicateurs techniques caractérisant les lots : indice de consommation, taux de mortalité, et taux de pododermatites à l'abattoir, ont fait l'objet de régressions linéaires multiples.

2 Résultats et discussion

2.1 Concentration en CO₂ à l'arrivée des poussins, mortalité et l'utilisation des antibiotiques au démarrage

2.1.1 Conditions d'ambiance à l'arrivée des poussins

Sur les 12 mesures de concentration en CO₂ réalisées dans chaque bâtiment, 78 % des lots suivis (n=38/49) ne présentent aucune mesure supérieure ou égale à 5 000 ppm (valeur limite mesurée par le capteur utilisé). Pour les 11 autres lots, 2 d'entre eux (n=2/49, soit 4 % de l'échantillon) présentent entre 1 et 5 mesures supérieures ou égales à 5 000 ppm. Ces deux lots ont été mis en place en hiver (n=2/15 lots mis en place en hiver). Les 9 lots restant (n=9/49, soit 18 % de l'échantillon) présentent plus de 5 mesures supérieures ou égales à 5 000 ppm. 8 d'entre eux ont été mis en place en automne/hiver (n= 8/27 lots mis en place en automne/hiver, 1 seul au printemps (n=1/12 lots mis en place au printemps) (figure 1).

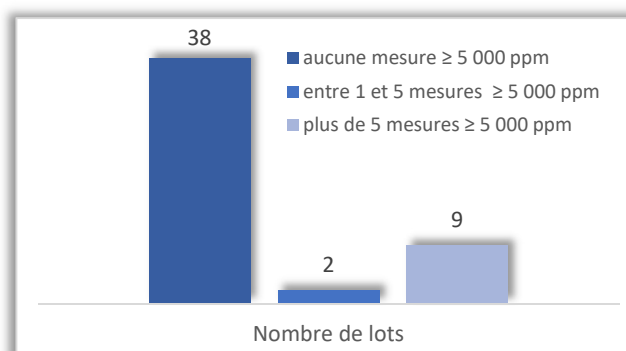


Figure 1. Répartition des lots suivis selon le nombre de mesures de concentrations en CO₂ supérieures à 5 000 ppm (sur les 12 mesures réalisées pour chaque bâtiment)

Si l'on regarde cette répartition par rapport à la valeur limite de 3 000 ppm fixée par la réglementation actuelle relative au bien être des poulets de chair, 29 % des lots suivis (n=14/49) n'ont présenté aucune mesure supérieure à 3 000 ppm. 6 % des lots (n=3/49) présentent entre 1 et 5 mesures supérieures ou égales à 3 000 ppm. Les 32 lots restants (65 % de l'échantillon) présentent plus de 5 mesures supérieures ou égales à 3 000 ppm (figure 2).

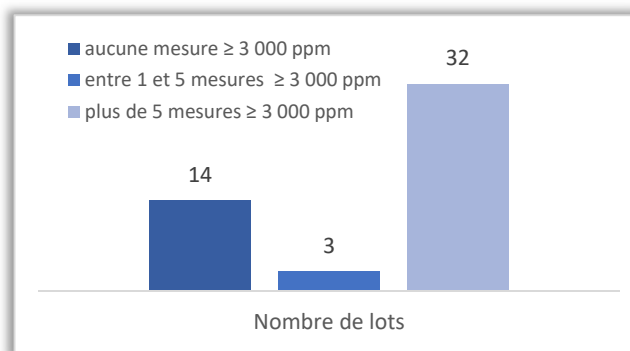


Figure 2. Répartition des lots suivis selon le nombre de mesures de concentrations en CO₂ supérieures à 3 000 ppm (sur les 12 mesures réalisées pour chaque bâtiment)

Pour les mesures inférieures à 5 000 ppm (valeur limite mesurée), la concentration moyenne en CO₂ a été de 3 077 ppm, avec une amplitude sur les 12 mesures réalisées (écart entre la mesure la plus élevée et la plus faible) de 558 ppm en moyenne. Les concentrations moyennes en CO₂ sont peu différentes entre les 3 emplacements de mesures : 3 093 ppm au niveau des chaînes d'alimentation, 3 078 ppm au niveau des sondes de température et d'hygrométrie et 3 069 ppm au niveau des parois. Les moyennes des amplitudes obtenues pour chaque emplacement de mesures sont également peu différentes : 306 ppm en moyenne au niveau des chaînes d'alimentation, 394 ppm en moyenne au niveau des sondes de température et d'hygrométrie, 429 ppm en moyenne au niveau des parois (tableau 1).

Tableau 1. Concentrations en CO₂ mesurées dans les bâtiments d'élevage à l'arrivée des poussins (en ppm)

Concentrations en CO ₂	Moyenne des mesures [minimum ; maximum] ; n= nombre	Amplitude des mesures
pour tout le bâtiment	3 077 [1 335 ; 4 746] ; n= 38	558 [119 ; 1 830] ; n=38
au niveau des chaînes d'alimentation	3 093 [1 339 ; 4 641] ; n= 38	306 [44 ; 996] ; n= 38
au niveau des sondes de température et d'hygrométrie	3 078 [1 321 ; 4 721] ; n= 38	394 [70 ; 1 830] ; n= 38
au niveau des parois	3 060 [1 347 ; 4 876] ; n= 38	429 [44 ; 1 160] ; n= 38

La température des bâtiments à l'arrivée des poussins était de 31,1 °C en moyenne, avec une amplitude sur les 12 mesures réalisées de 2,2°C en moyenne. Les températures moyennes sont identiques entre les 3 emplacements de mesures : 31,1°C en moyenne pour

chaque emplacement. Les moyennes des amplitudes obtenues pour chaque emplacement de mesures sont également similaires: 1,6°C en moyenne au niveau des chaînes d'alimentation, 1,4°C en moyenne au niveau des sondes de température et d'hygrométrie, 1,5°C en moyenne au niveau des parois.

Le taux d'hygrométrie était de 50,5 % en moyenne, avec une amplitude sur les 12 mesures réalisées de 8,1% en moyenne. Les taux d'hygrométrie moyens varient également peu entre les 3 emplacements de mesures. On obtient ainsi, un taux d'hygrométrie moyen au niveau des chaînes d'alimentation de 50,8 %, 50,6 % au niveau des sondes de température et d'hygrométrie et 50,6 % au niveau des parois. Les moyennes des amplitudes obtenues pour chaque emplacement de mesures sont également similaires: 4,8 % en moyenne au niveau des chaînes d'alimentation, 4,2 % en moyenne au niveau des sondes de température et d'hygrométrie, 5,7 % en moyenne au niveau des parois.

2.1.2. Liens avec la mortalité au démarrage et l'utilisation des antibiotiques

Au terme des 10 premiers jours d'élevage, le taux de mortalité s'élève à 1,9 % en moyenne (0,3 à 10,4 %¹, n= 46/49 lots). 22 lots ont reçu un traitement durant cette période : 19 lots avec un traitement antibiotique et 3 lots avec 2 traitements antibiotiques. L'IFTA (Index de Fréquence des Traitements Antibiotiques) qui correspond au nombre de jours d'administration d'une molécule antibiotique rapporté à la période d'élevage, est à 10 jours de 0,3 en moyenne (0 à 1,8 ; n=47/49 lots). **Les lots pour lesquels aucune mesure supérieure à 3 000 ppm n'a été mesurée (n=14/49), présentent un taux de mortalité moyen à 10 jours qui tend à être plus faible que celui des autres lots (1,33 ± 0,69 % vs 2,22 ± 1,95 % ; p = 0,11). De même, ils présentent un IFTA moyen à 10 jours qui tend à être plus faible que celui des autres lots (0,16 ± 0,34 vs 0,40 ± 0,48 ; p = 0,07).**

Si on ne considère que les 38 lots pour lesquels aucune mesure de CO₂ n'est supérieure ou égale à 5 000 ppm (valeur limite mesurée par l'appareil), **une corrélation positive est observée entre la concentration moyenne en CO₂ à l'arrivée des poussins et le taux de mortalité cumulé à 10 jours d'âge des animaux** (p = 0,04, rho = 0,35). Le coefficient de corrélation explique 35 % de la variabilité du jeu de données. Il serait donc intéressant de confirmer ce résultat sur un échantillon plus large, et d'étudier les liens entre les évolutions des concentrations moyennes journalières en CO₂ durant ces 10 premiers jours d'élevage et la mortalité. Les concentrations moyennes en

¹ Ce lot présentant une mortalité très importante (10,4 % à 10j, 13,7 % en fin de lot) était issu de 2 parquets de jeunes reproducteurs, avec des poussins faibles à l'arrivée à l'élevage, et une distance de transport conséquente (300 km)

CO₂ à l'arrivée des poussins et les IFTA à 10 jours d'élevage tendent également à être positivement corrélés ($p = 0,08$, $\rho = 0,29$).

Ces résultats obtenus ici en situation d'élevages commerciaux, indiquent l'existence d'un lien entre l'exposition au CO₂ des poussins à leur arrivée dans le bâtiment, et le taux de mortalité ou l'utilisation des antibiotiques au cours de la période de démarrage (10 jours). Ceci va dans le sens de ceux obtenus par Olanrewaju *et al.* (2008) en conditions expérimentales. Néanmoins, en conditions commerciales, les effets négatifs du CO₂ sur la période de démarrage, pourraient intervenir à un seuil plus bas (3 000 ppm) que celui observé en conditions expérimentales. Ceci est sans doute à mettre en relation avec la présence d'autres gaz (NH₃ par exemple) ou particules et les conditions thermo-hydriques de l'air ambiant. L'observation des niveaux d'exposition au CO₂ des poussins à leur arrivée ne permet toutefois pas de présager des impacts sur les performances techniques en fin de lot.

2.2 Evolution journalière des concentrations en CO₂, mortalité, l'indice de consommation, utilisation des antibiotiques, et taux de pododermatites en fin de lot

2.2.1 Conditions d'ambiance au cours des lots

Durant les 5 premiers jours d'élevage, un tiers des lots présentent une valeur de CO_{2max} au-dessus du seuil réglementaire de 3 000 ppm (figure 3). A partir du 6^{ème} jour, ce pourcentage de lots pour lesquels la valeur de CO_{2max} se situe au-dessus du seuil de 3 000 ppm, s'élève à 50 % ou plus jusqu'au 26^{ème} jour (entre 60 à 80 % des lots entre le 14^{ème} et 26^{ème} jour). A partir du 26^{ème} jour, jusqu'à la fin de la période d'élevage considérée dans l'analyse (34^{ème} jour), le pourcentage de lots dont la valeur de CO_{2max} dépasse ce seuil de 3 000 ppm, redescend en dessous de 50 %.

Entre 20 et 30 % des lots intégrés à l'analyse présentent des valeurs de CO_{2max} supérieures ou égales à 5 000 ppm durant les 3 premiers jours d'élevage. Entre le 4^{ème} et le 14^{ème} jour, ce pourcentage de lots se situe aux alentours de 10 % (20 % au 15^{ème} jour), pour devenir nul par la suite jusqu'à la fin de la période d'élevage considérée dans l'analyse (34^{ème} jour).

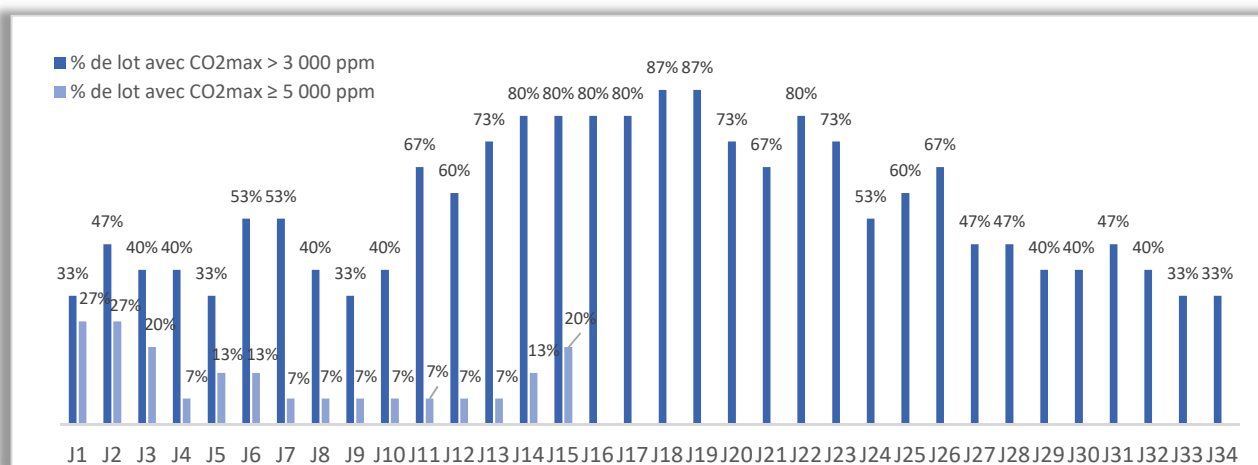


Figure 3. Evolution des pourcentages journaliers de 15 lots d'élevage de poulets de chair pour lesquels la valeur de CO_{2max} se situe au-dessus des seuils de 3 000 ppm ou 5 000 ppm

L'évolution des températures moyennes journalières au cours des 10 premiers jours de démarrage des lots, est présentée figure 4. Le 1^{er} jour d'élevage, l'écart entre le lot ayant la plus faible température moyenne (27 °C) et celui ayant la plus élevée (34 °C) est de 7 °C, ce qui est très important. Lors de ce premier jour, 7 lots présentent par ailleurs, une température moyenne inférieure à 30 °C, ce qui est inférieur aux recommandations des sélectionneurs pour l'accueil des poussins dans le bâtiment. Plusieurs hypothèses peuvent être avancées : les valeurs de températures décrites ont été obtenues à partir des sondes présentes dans le bâtiment, qui peuvent présenter

une dérive à la baisse par rapport à la température réelle. Par ailleurs, l'heure d'arrivée des poussins n'étant pas connue, il se peut que le bâtiment ait été encore en période de préchauffage une partie de ce 1^{er} jour, d'où une valeur moyenne relativement basse et ne reflétant pas la température du bâtiment au moment de l'arrivée des poussins. En outre, il est possible que la durée de préchauffage réalisée par l'éleveur soit trop courte pour que la température de l'air ambiant du bâtiment atteigne 30°C au niveau des animaux. Enfin, l'ouverture des portes pendant la livraison peut faire baisser la température à l'intérieur du bâtiment, engendrant un température

moyenne le jour de l'arrivée plus faible que celle recommandée. Durant le reste de la période de démarrage (jour 2 à 10), l'écart entre le lot ayant la plus faible température moyenne et celui ayant la plus élevée est constant (3°C). Les lots ayant les températures moyennes journalières les plus faibles ou les plus élevés sont

généralement les mêmes d'un jour à l'autre, les 15 courbes de température évoluant globalement de la même façon sur cette période d'élevage, ce qui appuie l'hypothèse d'une dérive relativement constante dans le temps des sondes de température pour certains bâtiments.

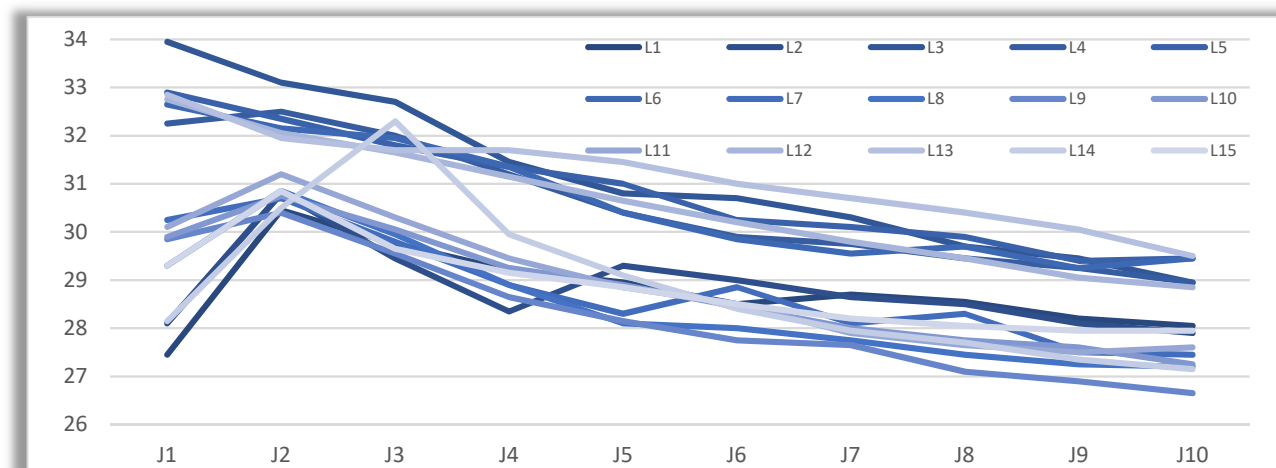


Figure 4. Evolution des températures moyennes journalières (°C) au cours des 10 premiers jours d'élevage pour chaque lot intégré à l'analyse (15).

La figure 5 représente l'évolution des températures moyennes journalières entre le 11^{ème} et le 34^{ème} jour d'élevage. Jusqu'au 28^{ème} jour d'élevage, l'écart entre le lot ayant la plus faible température moyenne et celui ayant la plus élevée reste globalement constant (3 à 4°C), et les courbes de température évoluant globalement de la même façon. Entre le 29^{ème} et le 31^{ème} jour d'élevage, cet écart se creuse un peu (5 à 6 °C), témoignant de stratégies de

consignes de chauffage différentes entre les éleveurs, certains préférant maintenir une température relativement haute sur cette période. Sur les 3 derniers jours de la période prise en compte dans l'analyse, l'écart entre le lot ayant la température moyenne la plus faible et celui ayant la plus élevée redescend à 3 ou 4 °C comme ce qui est observé en début de lot.

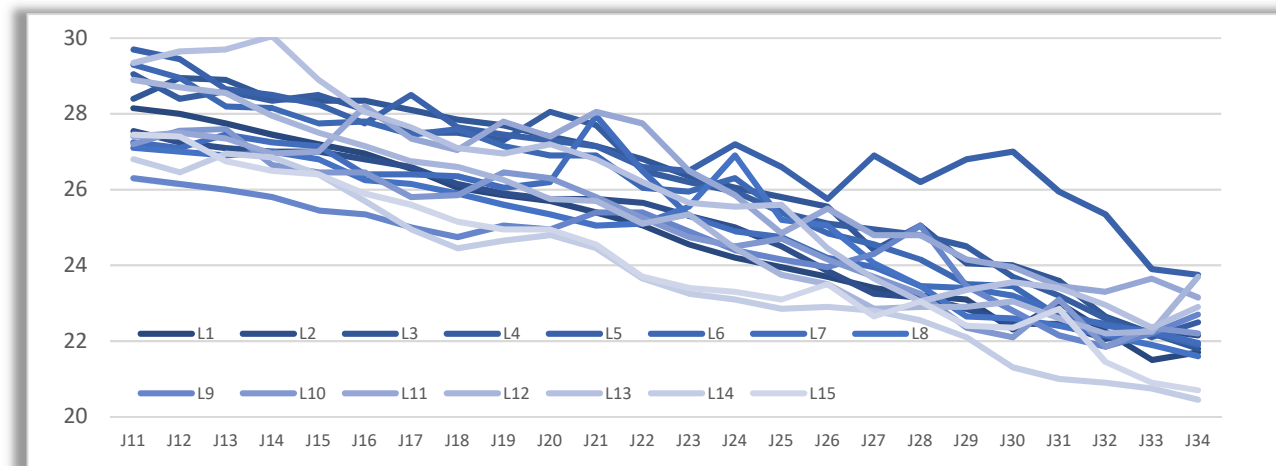


Figure 5. Evolution des températures moyennes journalières à partir du 11^{ème} jour d'élevage et jusqu'au 34^{ème} jour pour chaque lot intégré à l'analyse (15).

L'évolution des taux d'hygrométrie moyens journaliers au cours des 10 premiers jours de démarrage des lots, est présentée figure 6. Sur cette période, deux courbes semblent évoluer distinctement des autres (lot 6 et 11). Pour le lot 6, le taux moyen d'hygrométrie relative est assez faible le 1^{er} jour (33 %) en comparaison aux autres courbes, puis présente un pic à saturation de la sonde (100

%) au jour 4. Le taux d'hygrométrie de ce lot redescend ensuite brusquement en dessous de celui des autres courbes entre les 5 et 6^{ème}, pour remonter progressivement jusqu'au 10^{ème} jour, rejoignant ainsi l'allure des autres courbes. Pour le lot 11, élevé dans le même bâtiment, le taux d'hygrométrie moyen est plutôt élevé le premier jours d'élevage en comparaison aux autres lots (57 %), puis

redescend progressivement pour atteindre des valeurs assez basses à partir du 7^{ème} jour (entre 28 et 25 %). L'allure des courbes d'évolution des taux moyens d'hygrométrie relative des 13 lots restant est assez similaire : une augmentation progressive du taux moyen d'hygrométrie relative de 32 à 52 % à J1 pour atteindre 53

à 66 % à J10. Si on ne considère que ces 13 lots, l'écart entre le lot ayant le plus faible taux moyen d'hygrométrie relative et celui ayant le plus élevé varie entre 16 et 25 % durant ces 10 premiers jours.

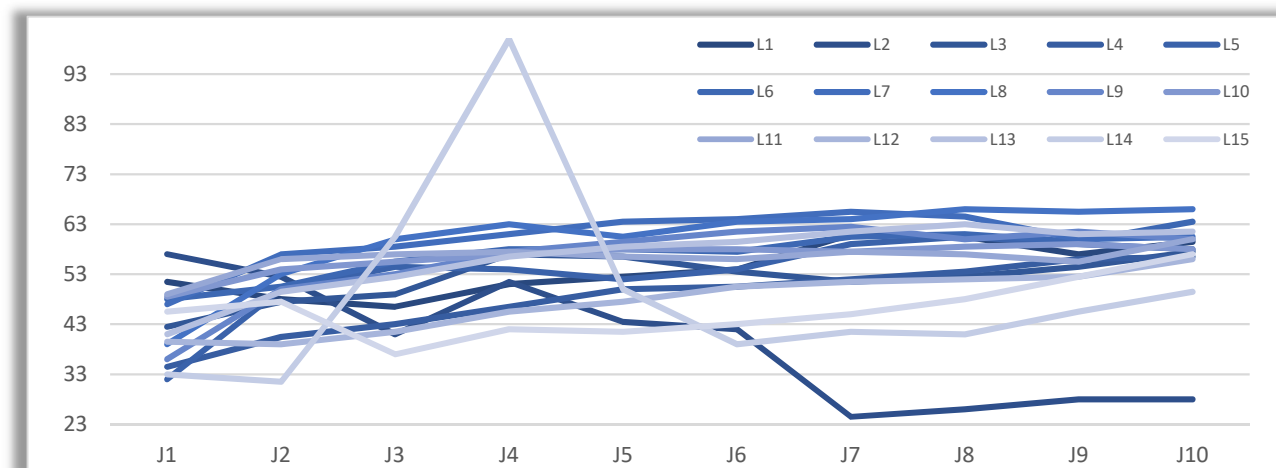


Figure 6. Evolution des taux moyens journaliers d'hygrométrie relative (%) au cours des 10 premiers jours d'élevage pour chaque lot intégré à l'analyse (15).

La figure 7 représente l'évolution des taux moyens journaliers d'hygrométrie relative entre le 11^{ème} et le 34^{ème} jour d'élevage. L'allure de la courbe des lots 6 et 11, semble rejoindre celle des autres courbes sur cette période, bien que le taux moyen journalier d'hygrométrie relative du lot 11 soit relativement faible par rapport aux autres lots jusqu'au 27^{ème} jour (32 % au 11^{ème} jour pour atteindre 44 % au 27^{ème} jour). D'une manière générale, les

taux moyen journaliers d'hygrométrie relative poursuivent leur augmentation progressive sur cette seconde partie d'élevage de 49 à 66 % (lot 11 mis à part) le 11^{ème} jour pour atteindre 60 à 79 % au 34^{ème} jour. L'écart entre le lot ayant le plus faible taux moyen d'hygrométrie relative et celui ayant le plus élevé varie entre 12 et 14 % (lot 11 mis à part) sur la période J11 à J17, puis se creuse sur la période J18 à J34 (12 à 23 %, lot 11 mis à part).

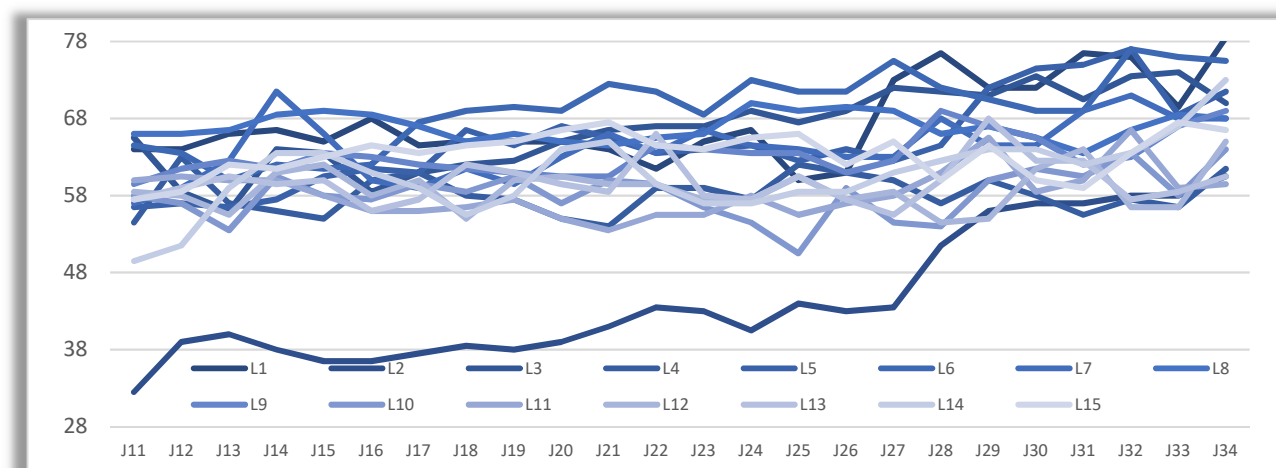


Figure 7. Evolution des taux d'hygrométrie moyens journaliers à partir du 11^{ème} jour d'élevage et jusqu'au 34^{ème} jour pour chaque lot intégré à l'analyse (15).

2.2.2 Liens entre la distribution des variables CO_{2max} , T et HR, la mortalité, l'indice de consommation, et le taux de pododermatites en fin de lot

Le taux de mortalité cumulé en fin de lot s'élève en moyenne à 5,1 % (2,8 à 8,3 %). L'indice de consommation s'élève quant à lui à 1,48 en moyenne (1,14 à 1,99). Enfin le taux de pododermatites à l'abattoir est de 32,3 % en moyenne (2,0 à 85,5 %).

L'analyse par régression linéaire multiple a permis d'établir des modèles de prédiction statistiquement significatifs, basés sur des paramètres de distribution des variables CO_{2max} , T et HR calculé pour chacun des lots. Ainsi, **un premier modèle, basé sur des paramètres de distribution des variables CO_{2max} , T et HR significativement liés au taux de mortalité**, permet de

prédire 95 % de la variabilité rencontrée dans le jeu de données analysée ($R^2 = 0,95$; $p < 0,01$). Par ailleurs, **un second modèle, basé sur des paramètres de distribution des variables CO_{2max} , T et HR, significativement liés à l'indice de consommation**, permet d'expliquer 83 % de la variabilité rencontrée dans le jeu de données analysée ($R^2 = 0,83$; $p < 0,01$). Enfin **un dernier modèle, basé uniquement sur des paramètres de distribution de la variable CO_{2max} , significativement liés au taux de pododermatites à l'abattoir**, permet d'expliquer 78 % de la variabilité rencontrée dans le jeu de données analysée ($R^2 = 0,78$; $p < 0,01$) (tableau 2). Il est important de noter que les paramètres de distribution de la variable CO_{2max} retenus dans ces trois modèles statistiques, sont au final, très peu sensibles aux valeurs extrêmes. La limitation des sondes de CO_2 sur la plage 5 000 ppm n'est de ce fait pas impactant.

Tableau 2. Variables explicatives dont des paramètres de distribution ont été intégrés aux modèles statistiques établis pour le taux de mortalité cumulé, l'indice de consommation en fin de lot et le taux de pododermatites à l'abattoir

	Variables explicatives dont des paramètres de distribution ont été intégrés aux modèles	R^2 du modèle (p)
Taux de mortalité cumulé en fin de lot	Concentration maximale journalière en CO_2 Température moyenne journalière, Taux d'hygrométrie moyen journalier	0,95 (p<0,01)
Indice de consommation en fin de lot	Concentration maximale journalière en CO_2 Température moyenne journalière, Taux d'hygrométrie moyen journalier	0,83 (p<0,01)
Taux de pododermatites à l'abattoir	Concentration maximale journalière en CO_2	0,78 (p<0,01)

Les résultats obtenus indiquent l'existence d'un lien entre l'évolution journalière des paramètres d'ambiance (concentrations en CO_2 , température et taux d'hygrométrie) dans les bâtiments d'élevage et les taux de mortalité, les indices de consommation et les taux de pododermatites à l'abattoir. Il serait pertinent de les confirmer sur la base d'un jeu de données plus important.

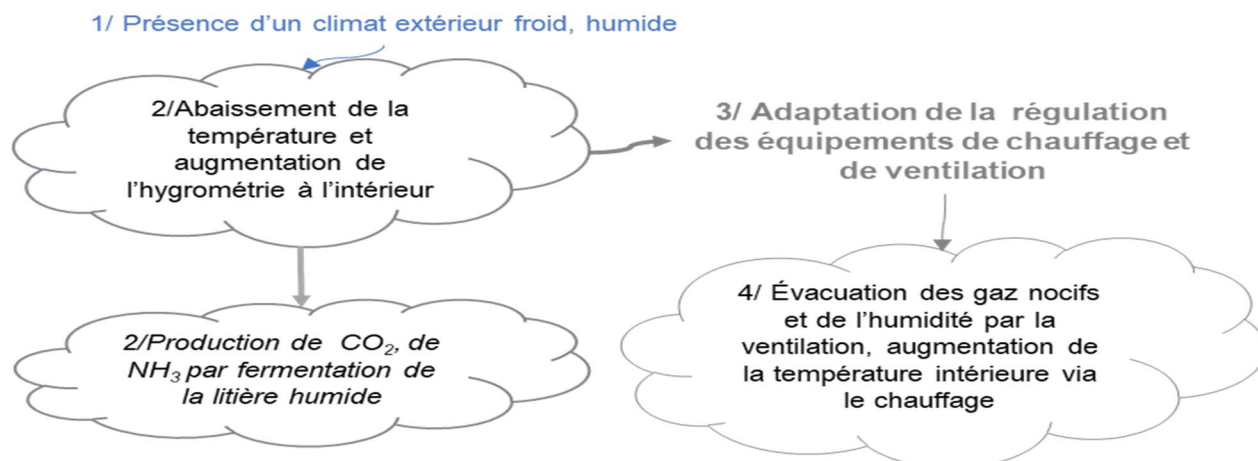
Discussion

Les résultats de ce travail indiquent des liens entre les niveaux et l'évolution des paramètres d'ambiance en particulier la concentration en CO_2 , la température et le taux d'hygrométrie dans les bâtiments d'élevage et des indicateurs de bien-être (pododermatites), de santé (mortalité, IFTA) et technique (IC). La période de démarrage des animaux apparaît particulièrement sensible vis-à-vis de la maîtrise des paramètres d'ambiance.

Conséquences en termes de régulation de l'ambiance

Le paramétrage de la régulation des équipements de ventilation et de chauffage, doit permettre d'adapter l'ambiance du bâtiment aux conditions extérieures. En particulier lorsque le climat devient froid et humide (étape 1 de la figure 8 ci-dessous), la température à l'intérieur du bâtiment a tendance à s'abaisser, tandis que le taux d'hygrométrie augmente du fait d'un apport d'air froid et chargé en humidité. Si l'humidité ambiante n'est pas évacuée, la litière s'humidifie également. Les fermentations de la litière humide produisent de CO_2 et du NH_3 , gaz nocifs pour la santé des animaux lorsque leur teneur est trop élevée (étape 2 de la figure 8). La régulation du bâtiment déclenche alors généralement le fonctionnement des appareils de chauffage afin d'augmenter la température intérieure (étape 3 de la figure 8). Les équipements de ventilation sont également mis en route afin d'évacuer les gaz (CO_2 , NH_3 ...) et l'humidité, et renouveler les apports en O_2 (étape 4 de la figure 8).

Figure 8. Adaptation de la régulation des équipements de ventilation et de chauffage pour la gestion des paramètres d'ambiance à l'intérieur d'un bâtiment avicole



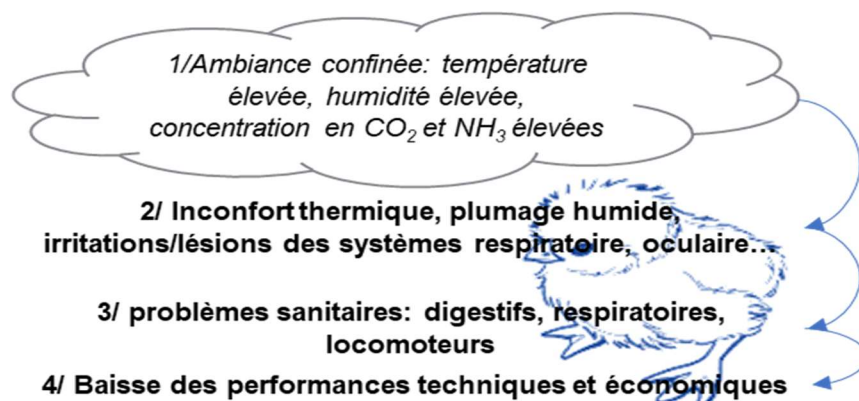
Privilégier la combustion indirecte

Le paramétrage de la régulation est un compromis entre le confort de ces animaux, et le niveau de consommation des appareils de chauffage (consommation de gaz). Ce compromis est d'autant plus difficile à trouver pour des types de bâtiments équipés par exemple d'un chauffage en combustion directe (combustion de propane avec production importante de CO_2 à l'intérieur du bâtiment), ou ayant une isolation peu performante (pertes de chaleur importantes par les parois). Le renouvellement d'air réel permis par la régulation de la ventilation, à un instant donné, va donc directement impacter la qualité de l'ambiance du bâtiment. En effet si celui-ci s'avère insuffisant, les gaz tels que le CO_2 ou le NH_3 , mais aussi l'eau, présents dans l'air ambiant seront plus difficilement évacués (étape 1 de la figure 9 ci-dessous). Cette ambiance « confinée » peut engendrer un inconfort thermique pour les volailles, un plumage humide, des irritations voire des lésions des système respiratoire ou

oculaire (étape 2 de la figure 9). Les animaux en particulier lors de la période de démarrage peuvent donc être fragilisés, et plus susceptibles de développer des pathologies respiratoires, digestives, locomotrices (étape 3 de la figure 9). Il en résulte des baisses de performances techniques et économiques si aucune action correctrice n'est mise en place (étape 4 de la figure 9).

Il serait donc intéressant de poursuivre les travaux concernant l'optimisation du paramétrage de la régulation des bâtiments afin d'améliorer la maîtrise de la santé et du bien-être des animaux, tout en maîtrisant les consommation d'énergie fossile. Dans ce contexte, une réflexion de la filière sur l'accompagnement de l'évolution des équipements des bâtiments, en particulier sur le type de chauffage serait intéressante à conduire. Certains équipements de chauffage à combustion indirecte offrent le double avantage de supprimer une source de production de CO_2 à l'intérieur du bâtiment et de pouvoir fonctionner avec une source d'énergie alternative au gaz.

Figure 9. Impact d'un renouvellement d'air insuffisant sur le bien-être, la santé et les performances technico-économiques en élevage avicole.



Conclusion

L'augmentation de la concentration en CO₂, qui est associée à une diminution de la concentration en O₂ dans les bâtiments d'élevage de poulets de chair, se traduit par une mortalité et des utilisations antibiotiques plus importants. Ainsi, la maîtrise de la concentration en CO₂ en élevage est à intégrer dans le paramétrage de la régulation des équipements de ventilation et de chauffage, au même titre que la température et le taux d'hygrométrie. Les

équipements de chauffage à combustion indirecte sont par ailleurs à privilégier.

Remerciements

Les auteurs souhaitent remercier les éleveurs ayant contribué à la constitution des jeux de données ayant servi à cette étude, ainsi que le CIPC pour son soutien financier.

Références bibliographiques

- Cambra-Lopez M., Aarnink A.J.A., Zhao Y., Calvet S., Torres A.G., 2010. Environmental Pollution, 158: 1-17.
- CIGR, 1984. Report of working group on climatization of animal houses. Pp 80.
- Hassouna, M., Eglin T. et al., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Ed. INRA-ADEME. 314p. ISBN : 2-7380-1375-9.
- McGovern R.H., Feddes J.J.R., Zuidhof M.J., Hanson J.A. and Robinson F.E., 2001. Growth performance, heart characteristics and incidence of ascites in broilers in response to carbon dioxide and oxygen concentrations. Canadian Biosystems engineering, 43 : 4.1-4.6
- Ministère de l'alimentation, de l'agriculture et de la pêche, 2010. Arrêté du 28 juin 2010 établissant les normes minimales relatives à la protection des poulets destinés à la production de viande. Journal officiel de la république française. 111 pages.
- Olanrewaju H., Dozier W. A, Miles D., Lott B. D, 2008. Growth performance and physiological variables for broiler chickens subjected to short-term elevated carbon dioxide concentrations. International journal of poultry science 7 (8): 738-742.
- Purswell J.L., Davis J.D., Luck B.D., Kim E.J., Olanrewaju H.A, Kiess A.S. et Branton S.L., 2011. Effects of elevated carbon dioxide concentrations on broiler chickens performance from 28 to 49 days. International journal of poultry science 10 (8): 597-602.
- Rousset N., Souillard R., Thomas R., Pezeron M., Beucher V., Amand G., Chauvin C., Le Bouquin S., 2017. Conditions de démarrage des poulets de chair influençant L'utilisation d'antibiotiques et le taux de mortalité dans les 10 premiers jours. Douzièmes Journées de la Recherche Avicole et Palmipèdes à Foie Gras, Tours, 05 et 06 avril 2017, P 418-422.
- Scientific Committee on Animal Health and Animal W, 2000. The Welfare of Chickens Kept for Meat Productions (Broilers). Report adopted on 21 March 2000, pp 150

Why is it important to control the CO₂ concentration in your farm? Impact on the health and welfare of broilers

In poultry houses, carbon dioxide (CO₂) is the product of animal respiration, litter degrading and the burning of carbonaceous materials. Experimental Studies indicate negative effects of CO₂ exposure from 6000 ppm level when it is isolated. However, in farm conditions, animals are exposed to a complex mixture of gases and particles that can have negatives effects. This article aims to study the links, under commercial rearing conditions, between the levels and evolution of CO₂ exposure, and indicators of health, welfare and performances. The results suggest a link between CO₂ exposure at the arrival of chicks, and mortality rate, and antibiotic use at 10 days of age. The negative effects on the early postnatal rearing period could occur at lower CO₂ exposure levels than those observed under experimental conditions. A link between the daily evolution of ambient parameters (CO₂ concentrations, temperature and hygrometry rate), and cumulative mortality rates, feed conversion rate and pododermatitis rates at the slaughterhouse, seems to exist also. The early postnatal rearing period appears particularly sensitive vis-à-vis the control of the environment parameters. Setting the regulation of the ventilation and heating equipment must make it possible to adapt the building environment to outdoor conditions, particularly when the climate becomes cold and humid.