HAL open science

GestCO2 -Mesurage des concentrations en dioxyde de carbone en bâtiment de poulets de chair

Pauline Creach, Paul Robin, G. Amand, Alassane Keita, Cecil Nicolas, Elodie Pigache, Jean Philippe Prigent, Nathalie Rousset

To cite this version:

Pauline Creach, Paul Robin, G. Amand, Alassane Keita, Cecil Nicolas, et al.. GestCO2 -Mesurage des concentrations en dioxyde de carbone en bâtiment de poulets de chair. Innovations Agronomiques, 2022, 85, pp.157-169. 10.17180/ciag-2022-vol85-art12 . hal-03745528

HAL Id: hal-03745528

https://hal.inrae.fr/hal-03745528v1

Submitted on 4 Aug 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

GestCO$_2$ - Mesurage des concentrations en dioxyde de carbone en bâtiment de poulets de chair

Créach P.[1], Robin P.[2], Amand G.[1], Keita A.[3], Nicolas C.[4], Pigache E.[1], Prigent J-P.[5], Rousset N.[1]

[1] Institut Technique de l'Aviculture, F-22440 Ploufragan

[2] INRAE UMR SAS, F-35000 Rennes

[3] ANSES SELEAC, F-22440 Ploufragan

[4] Chambre d'Agriculture de Bretagne, F-29270 Carhaix

[5] AVIPOLE FORMATION, F-22440 Ploufragan

Correspondance : creach@itavi.asso.fr

Résumé

L'arrêté ministériel du 28 juin 2010 établissant les normes relatives à la protection des poulets de chair, fixe une limite de 3000 ppm de dioxyde de carbone (CO_2) à ne pas dépasser dans l'air à hauteur des animaux et sur toute la durée du lot. Depuis, les capteurs de concentrations en CO_2 se développent en bâtiment avicole, ce gaz étant un bon indicateur du niveau de confinement de la salle d'élevage. L'objectif de cet article est d'identifier des éléments méthodologiques de mesurage du CO_2 en bâtiment de poulets de chair. Les principaux critères de choix des capteurs CO_2 identifiés sont notamment une précision de 100 ppm et une plage de mesure de 0 à 10 000 ppm. Différents capteurs CO_2, de technologie infrarouge non dispersif ont été testés en élevage commercial. Les résultats montrent que deux des cinq capteurs testés sont à écarter pour une utilisation en continu en bâtiment avicole. De plus, la variabilité spatiale des concentrations en CO_2 a été évaluée dans une première phase en conditions expérimentales d'élevage de poulets de chair puis dans une seconde en bâtiments commerciaux. La première a permis d'identifier que la position du capteur à 80 cm +/- 20 cm du sol entre les pipettes et les mangeoires est le meilleur compromis pour mesurer une concentration représentative de l'ambiance globale du bâtiment en début de lot. En fin d'élevage une mesure à 80 cm du sol sous-estimerait les concentrations à hauteur des animaux en fin de lot. Ce résultat a été confirmé par les essais en bâtiments commerciaux et montre qu'il peut être pertinent d'ajouter un capteur à 10 cm en plus de celui à 80 cm. L'hétérogénéité horizontale des concentrations en CO_2 est plus marquée en début de lot qu'en fin d'élevage et peut suggérer de nouveau l'achat de capteurs supplémentaires pour prendre en compte cette hétérogénéité. Au regard des résultats du test de capteurs effectués, l'investissement dans un capteur performant et dans sa maintenance parait plus pertinent que l'achat d'un capteur supplémentaire.

Mots-clés : poulets de chair, dioxyde de carbone, capteur, bien-être animal

Abstract : Mesuring carbon dioxyde concentration in broiler barns

The ministerial decree of 28 June 2010 establishing the standards for the protection of broilers sets a limit of 3000 ppm of carbon dioxide (CO_2) not to be exceeded in the air at the height of the animals and throughout the all flock. Since then, CO_2 concentration sensors have been implemented in poultry houses and this gas is a good indicator of the level of confinement in the barn. The objective of this article is to identify methodological elements for measuring CO_2 in broiler houses. The main criteria for the choice of CO_2 sensors are an accuracy of 100 ppm and a measurement range of 0 to 10 000 ppm. Different CO_2 sensors, using non-dispersive infrared technology, were tested in commercial poultry houses. The results showed that two of the five sensors tested should not be used continuously in poultry houses. In addition, the spatial variability of CO_2 concentrations was evaluated in a first phase under experimental broiler

conditions and in a second phase in commercial barns. In the first phase, it was found that the position of the sensor at 80 cm +/- 20 cm from the floor between the pipettes and the feeders is the best compromise for measuring a concentration representative of the overall atmosphere in the building at the beginning of the flock. At the end of the breeding period, a measurement at 80 cm from the ground would underestimate the concentrations at the height of the animals at the end of the flock. This result was confirmed by the trials in commercial barns and showed that it may be relevant to add a sensor at 10 cm in addition to the one at 80 cm. The horizontal heterogeneity of CO_2 concentrations was more pronounced at the beginning of the flock than at the end and may suggest to purchase additional sensors to take this heterogeneity into account. In view of the results of the sensors test, investment in an efficient sensor and its maintenance seems more relevant than the purchase of an additional sensor.

Keywords: animal welfare, sensor, carbon dioxide, broiler.

Introduction

En bâtiment avicole, le dioxyde de carbone (CO_2) est produit par la respiration des animaux, la dégradation aérobie de la litière et la combustion de matériaux carbonés et de matières organiques (Hassouna *et al.,* 2015). Les dispositifs de chauffage à combustion directe dans le bâtiment, constituent une source importante de production de CO_2, ce qui n'est pas le cas des dispositifs de chauffage à combustion indirecte (produits de combustion rejetés à l'extérieur du bâtiment d'élevage). Le CO_2 est une molécule naturellement présente dans l'atmosphère à une concentration proche de 400 ppm (INRS, 2005), contre 40 000-60 000 ppm pour l'air expiré pour les humains (CIGR, 1981). Plus lourd que l'air, la concentration en CO_2 est un indicateur du niveau de confinement de l'air des bâtiments. La présence de capteurs de CO_2 s'est beaucoup développée depuis l'application de la réglementation européenne sur le bien-être des poulets de chair (directive 2007/43/CE). Cette réglementation fixe en effet un plafond à 3 000 ppm à ne pas dépasser sur toute la durée de l'élevage, à hauteur des animaux. En effet, le CO_2 peut avoir des effets négatifs sur la santé des poulets, mais aussi sur celle des éleveurs qui circulent quotidiennement dans les bâtiments. Quelques études ont permis de mettre en évidence les effets du paramètre CO_2 sur la santé des animaux. À partir de 6000 ppm vs 2500 ppm, la fréquence des ascites est plus importante (McGovern, 2001). Des expositions à des concentrations très élevées (> 12 000 ppm), sont associées à une augmentation du halètement, un prise alimentaire réduite, ainsi qu'à une réduction de la croissance (Scientific Committee on Animal Health and animal Welfare, 2000 ; Reece, 1980). Or, dans les 10-15 premiers jours où les besoins thermiques des poussins sont plus importants qu'en fin de lot, les éleveurs ont tendance à sous-ventiler (débit de renouvellement faible) pour éviter d'évacuer la chaleur du bâtiment et limiter ainsi les coûts liés au chauffage (Robin *et al.,* 2017). Ceci implique des concentrations en CO_2 pouvant être élevée et dépassant les 3 000 ppm, voir plus dans le cas de chauffage à combustion directe. C'est pour ces raisons qu'il semble nécessaire de bien mesurer le dioxyde de carbone en bâtiment d'élevage avicole. À destination des éleveurs, conseillers techniques et équipementiers, cet article a pour objectif de :

- (1) proposer des critères de choix du capteur de concentration en CO_2 en fonction du besoin de l'utilisateur et pour une mesure en bâtiment de poulets de chair ;
- (2) évaluer la performance de capteurs de concentration en CO_2, qui pourraient être utilisés en bâtiment avicole ou le sont déjà pour certains d'entre eux : écart avec les mesures d'un appareil de référence, évolution de cet écart dans le temps, inertie (c'est-à-dire le temps de réponse ou la réactivité du capteur). Il s'agira aussi de comparer entre eux chacun des capteurs de concentrations en CO_2 testés ;
- (3) conseiller sur la position du capteur de concentration en CO_2, en bâtiment de poulets de chair, pour une mesure représentative de l'ambiance moyenne du bâtiment et une évaluation de la concentration en CO_2 dans l'air respiré par les volailles.

1. Matériel et méthodes

1.1 Comparaison de différents capteurs de concentrations en CO_2

1.1.1 Description des capteurs testés

Les capteurs à tester ont été sélectionnés en fonction des critères de choix :

- Plage de mesure : comprise entre 0 et 10 000 ppm,
- Précision : entre 1 ppm (résolution d'affichage des capteurs les plus courants) et 1000 ppm,
- Temps de réponse du capteur : Le temps de réponse du capteur dépend de l'électronique de traitement du signal qui conduit à l'affichage d'une concentration. Dans la suite, il a été considéré comme étant :
    - faible (=forte réactivité du capteur) lorsqu'il était inférieur ou égale à 5 minutes ;
    - modérée (=réactivité moyenne du capteur) entre 5 et 10 minutes ;
    - élevée (=faible réactivité du capteur) supérieure ou égale à 10 minutes.

D'après les recherches bibliographiques réalisées, la technologie infrarouge non dispersif (IRND) semble être le meilleur compromis entre :

- Le coût du capteur associé ou non à un boîtier d'acquisition avec affichage de la mesure et d'une batterie (de 225 € HT à 1642 € HT pour les 5 capteurs achetés dans le cadre du projet) ;
- Le peu de sensibilité à la dérive dans le temps (variation du biais au cours du temps) et aux interférences avec d'autres gaz ;
- L'absence de consommable autre que l'électricité ;
- Une inertie faible.

Cinq capteurs fonctionnant avec cette technologie ont été testés. Quatre sont dit « autonomes » (numérotés de C1 à C4), ainsi qu'un capteur de concentrations en CO_2 dit « dépendant » (numéroté C5). Les principales caractéristiques des cinq capteurs testés sont décrites dans le Tableau 1.

- Le capteur « autonome » est constitué d'une sonde permettant de mesurer les concentrations en CO_2, d'un boîtier d'acquisition avec affichage de la mesure et d'une batterie. Ce type de capteur est utilisé pour des mesures ponctuelles des concentrations en CO_2.
- Le capteur « dépendant » est uniquement constitué d'une sonde permettant de mesurer les concentrations en CO_2. Il doit être raccordé à une centrale d'acquisition ou au boîtier de régulation du bâtiment pour pouvoir accéder au résultat de la mesure. Ce type de capteur est utilisé pour des mesures en continu des concentrations en CO_2.

1.1.2 Méthode de comparaison des performances de capteurs

Les 5 capteurs ont été placés ensemble au centre d'un bâtiment commercial de poulets de chair, en présence des volailles et sur toute la durée du lot (46 jours). Tous les capteurs ont été placés dans des charlottes jetables afin de les protéger d'un trop fort empoussièrement. Les essais ont été menés en période estivale, entre juillet et septembre 2017. Les concentrations en CO_2 ont été mesurées en continu à une même position à 80 cm du sol, avec une fréquence d'acquisition inférieure ou égale à 3 minutes (Tableau 4). Les valeurs obtenues avec les 5 capteurs ont été comparées aux valeurs mesurées toutes les 2 minutes avec un analyseur de gaz INNOVA 1412® (spectrométrie photoacoustique infrarouge ; précision de 1 %), positionné au même endroit, et qui ont constitué les valeurs de « référence ». Le biais, c'est-à-dire l'écart entre la valeur du capteur et celle de référence (en ppm), a été calculé toutes les 6 min, pour déterminer la précision de chaque capteur. Une précision « élevée » signifie que le capteur indique des valeurs proches de la référence. Au contraire, une précision dite « faible » signifie que le capteur indique des valeurs éloignées de la référence. Les analyses de la précision de mesure et le calcul

des moyennes de concentrations en CO_2 ont été réalisées sur des données corrigées par l'inertie des capteurs. Les évolutions de la précision journalière des capteurs ont été observées graphiquement, afin d'évaluer qualitativement la stabilité de chaque capteur sur les 46 jours d'étude. Pour faciliter l'analyse des résultats et la comparaison des capteurs, les écarts entre les concentrations en CO_2 mesurées par les capteurs n°1, 2, 3 et 5 et la référence ont été calculés toutes les 6 minutes, et toutes les heures pour le capteur n°4 (choix lié à l'inertie des capteurs). En effet pour C4, la concentration enregistrée ne changeait que toutes les heures malgré un pas de temps d'acquisition de 6 minutes. En conséquence, les valeurs observées ont été comparées aux moyennes horaires des concentrations de référence. Enfin, le temps de réponse de chaque capteur a été quantifié en évaluant le déphasage (en minute) entre un pic de concentration observé par le capteur de référence à faible inertie et la valeur maximale observée sur le capteur considéré.

Tableau 1 : Description des capteurs de concentrations en CO_2 testés (informations provenant des fournisseurs) (légende : IRND=Infra Rouge Non Dispersif)

Identifiant	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
Plage de mesure (ppm)	0-10 000	0-10 000	0-10 000	0-10 000	0-10 000
Technologie	IRND	IRND	IRND	IRND	IRND
Précision des mesures de CO_2 (ppm)	+/- 50 ppm + 5 % de la lecture	• 0 à 5 000 ppm : +/- 50 ppm + 2 % de la lecture • 5 001 à 10 000 ppm : +/- 100 ppm + 3% de la lecture	A 25°C et 1013 hPa : • 0 à 3 000 ppm : +/- 40 ppm • 3 000 à 10 000 ppm: +/- 40 ppm + 2% de la lecture Incertitude d'étalonnage : • à 2 000 ppm : +/-18 ppm • à 10 000ppm : +/- 66 ppm	+/- 50 ppm + 3 % de la lecture	A 25°C et 1013 hPa : • 0 à 3 000 ppm : +/- 40 ppm • 3 000 à 10 000 ppm : +/- 40 ppm + 2% de la lecture Incertitude d'étalonnage : • à 2000 ppm : +/-18ppm • à 10 000 ppm : +/- 66 ppm
Dérive dans le temps	Pas d'indication	Pas d'indication	• 0 à 3 000 ppm : +/-60 ppm/an, • 3000 à 6 000 ppm : +/- 150ppm/an • 6 000 à 10 000 ppm: +/- 300 ppm/an	Pas d'indication	• 0 à 3 000ppm : +/-60 ppm/an, • 3 000 à 6 000 ppm : +/-150 ppm/an • 6 000 à 10 000 ppm: +/-300 ppm/an
Coût d'achat (prix sur devis ITAVI 2017)	Inférieur ou égal à 550 €HT	Supérieur ou égal à 1000 €HT	Supérieur ou égal à 1000 €HT	Entre 550 €HT et 1000 €HT	Inférieur ou égal à 550 € HT

C1 : Extech CO210 ; C2 : Testo 435-4 ; C3 : Vaisala MI70 et capteur GMP 252 ; C4 : DK660 ; C5 : Vaisala GMP252

1.2 Positionnement du capteur de concentrations en CO_2 en bâtiment poulets de chair

L'évolution de la variabilité spatiale (verticale et horizontale) des concentrations en CO_2 a été étudiée en station expérimentale et en élevages commerciaux de poulets de chair, en présence des animaux et sur toute la durée d'un lot de volailles.

1.2.1 Essai en conditions expérimentales

Ce premier essai visait à tester l'intérêt de faire varier la hauteur de placement du capteur CO_2 en fonction du niveau de brassage de l'air dans la salle d'élevage.

Les essais ont été menés dans deux salles d'élevage de 270 m² de l'ANSES de Ploufragan, avec ou sans brassage de l'air, et dans lesquelles étaient élevé des poulets de chair (souche ROSS 308) avec une densité de 20 poulets/m² de surface disponible), sur une durée de 33 jours (2 mars au 4 avril 2017). La salle non brassée était a priori favorable à l'hétérogénéité verticale des concentrations en CO_2 et potentiellement favorable à la stratification de l'air. Les deux salles accueillaient le même nombre d'animaux et avaient le même niveau de renouvellement minimum réglé sur 0,8 m^3/h/kg de poids vif conformément aux recommandations du Scientific Committee on Animal Health and animal Welfare (2000). Le sol bétonné était recouvert d'une litière de copeaux (1 kg/m² au démarrage du lot). L'air était admis par des trappes latérales sur chaque long pan et l'air vicié était extrait par des cheminées en extraction haute. Le chauffage des salles était assuré par un aérotherme gaz à combustion directe. Concernant la régulation, les influences des paramètres extérieurs et du taux d'hygrométrie relative ont été supprimées. La concentration en CO_2 a été mesurée dans chacune des deux salles avec l'analyseur de gaz INNOVA 1412® couplé à un échantillonneur INNOVA 1309®, et ceci a différentes hauteurs (15 et 80 cm pour la salle brassée et 10, 20 et 80 cm). Les points de prélèvements étaient situés entre les lignes de pipettes et de mangeoires (aire de vie des animaux). Les concentrations en CO_2 de l'air extérieur ont aussi été mesurées (2 échantillonnages), ainsi que les concentrations en CO_2 à l'extraction d'air. Chacune des voies a été échantillonnée successivement (intervalle entre deux échantillonnages d'air compris entre 3 et 4 minutes ; durée d'échantillonnage de 20 minutes avant un changement de voie). Ainsi, les enregistrements ne sont pas réalisés en continu pour chacune des voies d'échantillonnage. L'évolution des concentrations en CO_2 entre les différentes hauteurs et l'extraction a été examinée en début et en fin de lot.

1.2.2 Essai terrain

Ce second essai visait à vérifier si les résultats du 1er essai nécessitaient des adaptations méthodologiques en fonction du type de ventilation, notamment sur :

- Le nombre de capteurs de concentration en CO_2 à installer ;
- La position horizontale du capteur en bâtiment, généralement placé au centre de celui-ci.

Trois bâtiments à ventilation longitudinale ont ainsi été sélectionnés. L'hypothèse initiale est qu'un bâtiment en ventilation longitudinale présente des différences de concentrations en CO_2 entre les deux pignons (des concentrations supérieures en pignon d'extraction par rapport à l'autre pignon).

Les trois bâtiments étudiés sont différents en termes d'équipements de chauffage utilisés et d'isolation (Tableau 2).

Deux visites ont été réalisées pour chaque bâtiment par le même opérateur (durant la 1ère semaine puis la dernière semaine du lot). Lors de chaque visite les concentrations en CO_2 ont été mesurées à l'aide d'un appareil Vaisala MI70 équipé du capteur de CO_2 GMP 252 à 10 et 80 cm de hauteur pour 3 emplacements : un point au centre du bâtiment, entre les lignes de pipettes et de mangeoires ; un second point de prélèvement au niveau des trappes d'entrée d'air à 1 m de la paroi (3 points prélèvement) et le dernier au niveau de l'extraction d'air à 2 m de la turbine d'extraction de l'air vicié (3 points de prélèvement), à l'aide d'un appareil Vaisala MI70 équipé du capteur de CO_2 GMP 252. Pour chaque point

de prélèvement, l'opérateur réalisait une séquence de mesures toutes les 5 secondes durant 2 minutes au cours desquelles il est immobile de façon à s'abstenir de l'effet de l'activité des animaux. Durant la réalisation des mesures, les heures de démarrage et d'arrêt du chauffage ont été relevées, ainsi que les heures de début et de fin de période de mesure. Une notation de la qualité de la litière a aussi été réalisée lors de la seconde visite à chaque point de prélèvement (« litière sèche et friable » notée 1 à « litière totalement croûtée ou humide » notée 5). Les concentrations moyennes et les écart-types associés ont été calculés pour les 2 hauteurs, pour les 3 bâtiments et les 3 emplacements, en début et en fin de lot. Des tests non paramétriques ont été réalisés au seuil de significativité de 5 % pour tester la variabilité horizontale (différences entre les emplacements, krukal.test) et verticale (différence entre les hauteurs, kruskalmc).

Tableau 2 : Principales caractéristiques des trois bâtiments étudiés (E=élevage).

	E1	**E2**	**E3**
Niveau d'isolation global* (W/k/m²) [référence bâtiment moyen parc bâtiment français 1 W/k/m²]	*0.63*	*0.54*	*1.67*
Type de chauffage	*Combustion indirecte (+ chauffage d'appoint aérotherme gaz combustion directe au démarrage)*	*Combustion indirecte***	*Combustion directe****

(*) niveau de déperditions global parois, plus il est élevé plus le bâtiment présente des déperditions thermiques (=bâtiment mal isolé) ; (**) pas de production de CO_2 par le dispositif de chauffage (exemple : chauffage eau chaude, etc) ; (***) combustion du gaz propane avec rejet des gaz à l'intérieur du bâtiment.

2. Résultats et discussion

2.1 Comparaison de différents capteurs de concentrations en CO_2

2.1.1 Concentrations en CO_2 mesurées (Tableau 4)

Tableau 4 : Résultats descriptifs sur les 46 jours du lot ; calcul avec fréquence d'acquisition de 6 minutes (REF = concentrations de référence)

	REF	**C1**	**C2**	**C3**	**C4**	**C5**
Moyenne +/- écart-type (ppm)	1 331 +/-490	1 618 +/- 691	1 850 +/-429	1 449 +/- 451	1 057 +/- 450	1 415 +/-467
Mini (ppm)	416	434	498	441	153	464
Maxi (ppm)	2 836	2 940	2 661	2 928	2 724	3 584
Nombre de mesures	5075	6903	125 514	37 242	133 920	26 800
Fréquence d'acquisition	3 min	3 min	30 sec	30 sec	30 sec	2 min

Au cours de l'essai, les concentrations en dioxyde de carbone n'ont pas dépassé 3 000 ppm (Tableau 4). Des valeurs aberrantes, c'est-à-dire inférieures à 300 ppm alors que la concentration de l'air extérieur est proche de 400 ppm, ont été observées pour C4, entre le milieu et la fin d'élevage. Le nombre de mesures réalisées pour chacun des capteurs et pour la référence n'est pas le même car des micro-coupures de courant ont engendré des arrêts d'enregistrement plus ou moins long et la fréquence d'acquisition n'était

pas identique pour tous les capteurs. La moyenne des concentrations en dioxyde de carbone, sur les 46 jours d'enregistrement, est plus élevée pour le capteur C1 et plus faible pour le C4. Pour le calcul des moyennes, les valeurs aberrantes n'ont pas été supprimées. Les écart-types se situent dans la gamme 400-500 ppm pour tous les capteurs.

2.1.2 Précision et temps de réponse des capteurs testés

Les capteurs C3 et C5 présentent des biais inférieurs à 100 ppm. Leur précision correspond au besoin défini précédemment. Au contraire, les capteurs C1, C2 et C4 ont des biais supérieurs à 100 ppm. Le biais le plus élevé est observé pour le capteur C4 (422 ppm). Il est associé à une très forte variabilité (Tableau 4). De même, le capteur C1 présente un biais élevé, deux fois supérieur au besoin de 100 ppm défini précédemment. Le capteur C2 se rapproche des besoins prédéfinis au regard de sa précision et de l'écart-type de 63 ppm associé. Concernant l'inertie, les capteurs C2 et C3 présentent des inerties faibles (temps de réponse inférieur ou égal à 5 minutes). Les capteurs C4 et C5 présentent une inertie qualifiée de « modérée » puisqu'elles sont proches de 10 minutes. L'utilisation du capteur C4 en bâtiment avicole n'est donc pas recommandée au regard de sa précision et de la présence de valeurs aberrantes. De même au regard du Tableau 1 et des retours sur les essais réalisés, la forme du capteur C1 rend son utilisation difficile en bâtiment avicole. De plus, le C1 présente un écart-type supérieur aux autres capteurs. Les différences de précision observées entre les capteurs peuvent s'expliquer en partie par le dispositif expérimental. En effet, les mesures ont été réalisées en bâtiment conventionnel où l'air est hétérogène et le brassage de l'air peut faire que les capteurs ne mesurent pas exactement le même air, bien que ceux-ci aient été positionnés à proximité les uns des autres. Des essais en situation mieux contrôlée permettraient de garantir l'homogénéité et la stabilité des concentrations autour des capteurs. Les différences de précision entre capteurs peuvent aussi s'expliquer par des différences d'inertie de ces capteurs c'est pourquoi les analyses de précision de mesure ont été corrigées par l'inertie des capteurs. En effet, les capteurs à faible inertie vont capter des bouffées d'air expirées concentré en CO_2 à un instant proche de l'instant t. Au contraire, un capteur à forte inertie ne va pas mesurer ces bouffées ponctuelles. Au regard du Tableau 1, les biais mentionnés par les fournisseurs sont plus faibles que ceux calculés dans l'étude (+ 137 ppm en moyenne pour les précisions calculées par rapport aux indications des fournisseurs). Ce résultat s'explique certainement par des différences de protocoles. En effet, les résultats des fournisseurs ne sont pas issus d'essais réalisés dans un environnement correspondant à celui d'un bâtiment avicole (ambiance chargée en poussières, humidité et autres gaz par exemple). La réalisation des essais en période hivernale aurait peut-être permis d'avoir des résultats plus discriminants car les concentrations en CO_2 sont plus élevées en période hivernale. Dans les conditions de test, les capteurs C3 et C5 semblent être les plus performants pour une utilisation en bâtiment avicole.

2.1.3 Evolution de la précision des capteurs dans le temps (Figure 1)

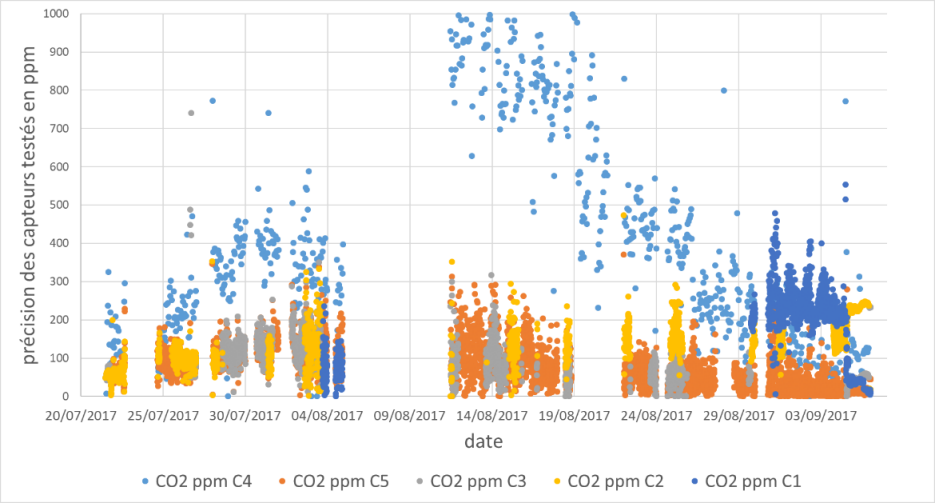

Figure 1 : Evolution de la précision (en ppm) des capteurs testés au cours du temps

Les biais des 5 capteurs varient au cours du temps. Le capteur C4 présente une augmentation du biais jusqu'en milieu de lot puis diminue. De même pour les capteurs C3 et C5, pour lesquels les précisions en milieu de lot tendent à augmenter puis à diminuer jusqu'à la fin du lot. Pour le capteur C1, le petit nombre de mesures en début et en fin de lot permet néanmoins de distinguer une précision légèrement plus haute en fin de lot, par rapport au début du lot. Les conditions dans lesquelles ont été réalisés les essais ont pu altérer les précisions des appareils testés. En effet, l'atmosphère du bâtiment d'élevage peut être chargée en poussières et peut parfois être corrosive pour les appareils de métrologie (ex : ammoniac).

2.2 Positionnement du capteur de concentrations en CO_2 en bâtiment de poulets de chair

2.2.1 Variabilité verticale des concentrations en CO_2, en conditions expérimentales

En début de lot, aucune différence n'est observée entre la salle brassée et la salle non brassée (Figure 2). Aucune différence n'est non plus observée entre les concentrations mesurées à 80 cm et celles mesurées à 10-20 cm du sol (ce que respire l'animal), ou à l'extraction. Ceci qui s'explique par le fait que durant cette période la variabilité en CO_2 est due principalement au couple chauffage-ventilation, et moins par la fermentation de la litière ou la respiration des animaux. Les mesures à 80 cm sont donc représentatives de l'ambiance globale dans ces conditions expérimentales (Figure 3).

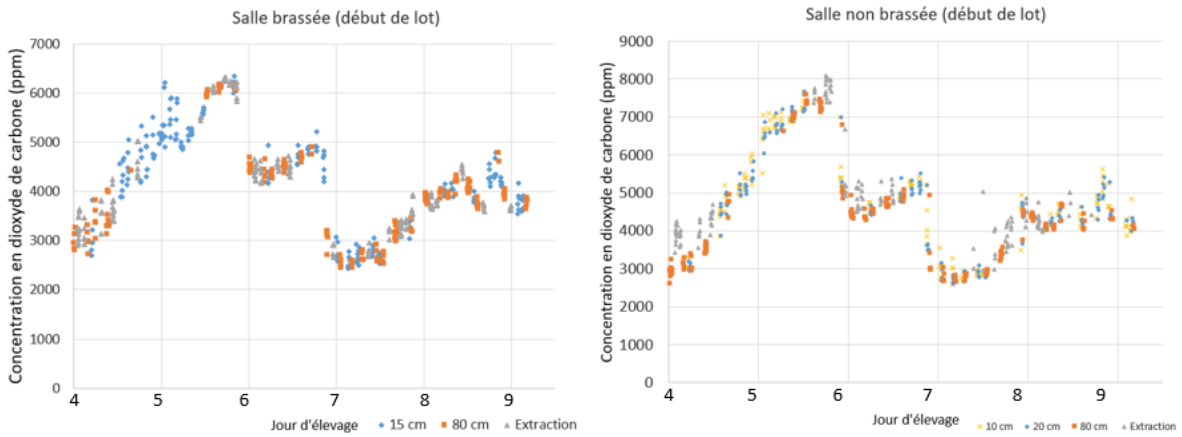

Figure 2 : Evolution de la concentration en dioxyde de carbone mesurée en début lot (du 6 mars au 11 mars 2017; 4 à 9 jours d'âge des volailles ; à différentes hauteurs en fonction de la salle (brassée graphique de gauche et non brassée graphique de droite)

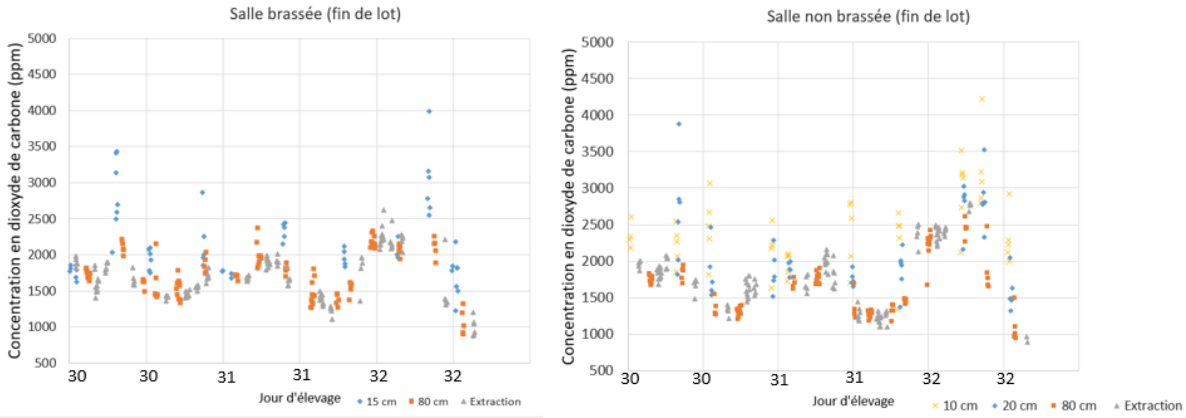

Figure 3 : Evolution de la concentration en dioxyde de carbone mesurée en fin de lot (du 1 avril au 3 avril 2017 ; 30 à 32 jours d'âge des volailles ; à différentes hauteurs en fonction de la salle (brassée graphique de gauche et non brassée graphique de droite)

En fin de lot, les valeurs obtenues à 80 cm et celles à l'extraction suivent les mêmes évolutions quel que soit la salle. Néanmoins, les concentrations mesurées à 80 cm sont plus faibles que les valeurs obtenues à 15 cm pour la salle brassée et à 10 et 20 cm pour la salle non brassée, qui sont supérieures. Ces différences s'expliquent d'une part par une dégradation de la litière en fin de lot qui a généré une production de CO_2 importante près du sol, et d'autre part par la respiration des animaux. Suite à cette première phase en conditions expérimentales, il semble opportun de positionner le capteur à 80 cm du sol en début de lot, car ne considérer que les valeurs à 10 cm pourraient engendrer des fluctuations trop importantes de la ventilation et donc potentiellement des courants d'air froid au niveau des animaux. En revanche, en fin d'élevage l'ajout d'un capteur plus bas à hauteur des animaux permettrait de considérer les fluctuations dues à la fermentation de la litière et à la respiration des animaux. Cependant, il faudra veiller à ce que ce capteur soit protégé pour éviter d'être endommagé par les animaux. Si l'ajout d'un capteur est trop coûteux, il pourrait être appliquée une correction au niveau du boîtier de régulation en cas de litière dégradée.

2.2.2 Variabilité des concentrations en CO_2, en bâtiments d'élevage commerciaux

Le capteur autonome identifié comme le plus performant d'après les résultats présentés plus haut (partie 2.1.2) a été utilisé pour réaliser les mesures ponctuelles de cet essai. Il convient d'être vigilant lors de l'utilisation de capteurs moins précis et de prendre en compte la précision du capteur utilisé dans l'analyse des résultats.

Au démarrage, les concentrations en CO_2 les plus élevées ont été observées dans l'élevage E3 (Figure 4). En effet, cet élevage dispose d'un bâtiment avec un chauffage par combustion directe qui peut expliquer ce résultat. Cette différence est d'autant plus marquée que les conditions extérieures étaient plus froides pour cet élevage lors de la visite de début de lot, par rapport aux autres élevages (7,1°C pour E3 contre 15,7°C pour E2 et 12,0°C pour E1). Au contraire, les deux autres élevages disposent de chauffage par combustion indirecte, aérotherme eau chaude pour E2 et plancher chauffant à eau chaude pour E1 (associé à un chauffage d'appoint en combustion directe pour le démarrage du lot). En ce qui concerne les différences de concentrations moyennes obtenues aux différents emplacements et hauteurs, il est possible de dégager les résultats suivants : la variabilité verticale et celle horizontale.

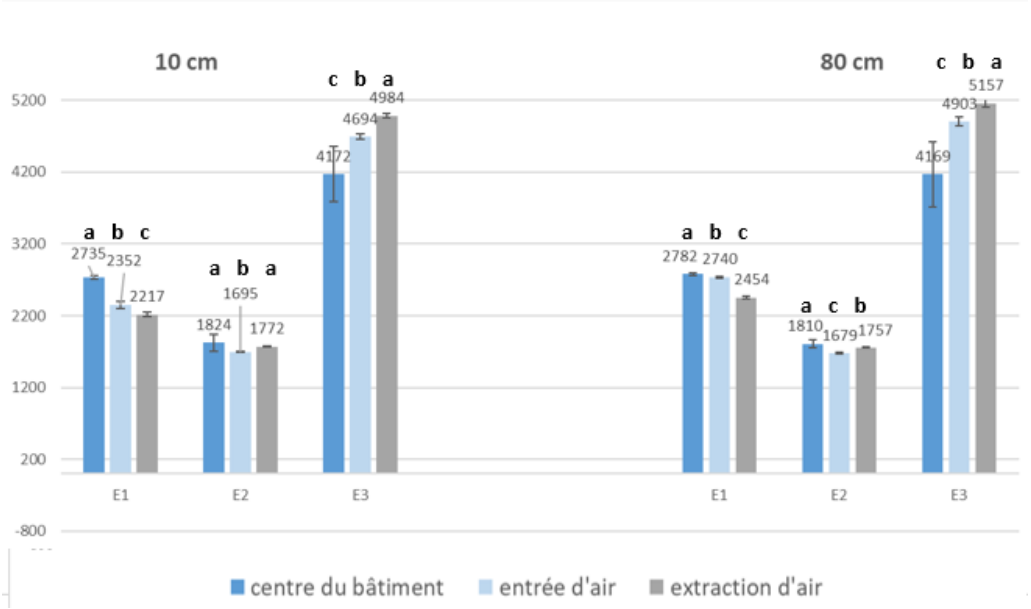

Figure 4 : Concentrations en CO_2 moyennes (ppm) pour chacun des 3 élevages, mesurées à 10 cm (gauche du graphique) et 80 cm (droite du graphique), à 3 endroits du bâtiment, en période de démarrage des volailles. [E=élevage]. Les moyennes présentant des lettres (a, b ou c) différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

Variabilité verticale *:* les valeurs obtenues à 80 cm sont significativement supérieures à celles mesurées à 10 cm du sol pour l'élevage E1 aux 3 emplacements, et pour l'élevage E3 (excepté au centre du bâtiment où les mesures à 10 et 80 cm ne sont pas significativement différente) (Tableau 5). Ces deux éleveurs disposent de chauffage à combustion directe au démarrage du lot de volailles (potentielle stratification thermique liée au faible renouvellement d'air en début de lot associé à une forte demande en chauffage). Au contraire pour l'élevage E2, il n'y a pas de différence significative entre les mesures à 10 et à 80 cm, au centre et à l'extraction d'air, potentiellement lié à l'usage de chauffage à combustion indirecte associé à un brassage de l'air par les aérothermes eau chaude (Tableau 5). En début de lot, sur l'échantillon des 3 élevages étudiés il semblerait que les concentrations à 10 cm du sol soient supérieures dans les bâtiments à chauffage combustion directe, par rapport à celles à 80 cm.

Tableau 5 : Concentrations en CO_2 moyennes (ppm) mesurées à 10 cm et 80 cm pour chacun des 3 endroits du bâtiment dans les 3 élevages durant la période démarrage des volailles. [E=élevage ; S=Significatif ; NS=Non Significatif ; résultat au seuil de significativité de 5%]

	E1			**E2**			**E3**		
Point de mesure	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**
centre	2735	2782	P<0,01	1824	1810	NS	4172	4169	NS
entrée	2352	2740	P<0,01	1695	1679	P<0,05	4694	4903	P<0,01
extraction	2217	2454	P<0,01	1772	1757	NS	4984	5157	P<0,01

Variabilité horizontale : pour les élevages E1 et E3, les concentrations en CO_2 mesurées au centre du bâtiment, à l'entrée d'air et à l'extraction sont différentes aussi bien pour les mesures à 10 qu'à 80 cm. Le même résultat est observé pour l'élevage E2 mais uniquement pour les mesures réalisées à 80 cm du sol. Pour cet élevage, les concentration moyennes à 10 cm du sol, ne sont pas différentes quel que soit l'emplacement. Les concentrations en CO_2 mesurées au centre du bâtiment et à l'extraction n'étaient pas significativement différentes (au seuil de 5%). Ces observations sont probablement à mettre sur le compte du brassage assuré par les systèmes de chauffage (aérothermes à eau chaude) et le positionnement en long pan des extracteurs en début de lot. Pour l'élevage E1, les concentrations sont significativement supérieures à l'entrée d'air par rapport à l'extraction d'air pour les mesures réalisées à 10 et 80 cm du sol (Figure 4); +210 ppm en moyenne pour l'entrée d'air par rapport à l'extraction. Ce résultat peut s'expliquer par la distance de 1 mètre de la paroi pour la mesure à l'entrée d'air (mauvaise homogénéité de l'air à proximité de la paroi et sous la trappe d'entrée d'air), mais il est observé pour l'élevage E1 uniquement. Pour les élevages E2 et E3, les concentrations en CO_2 sont supérieures à l'extraction d'air par rapport à l'entrée d'air (+175 ppm en moyenne pour les deux élevages). Les mesures de concentrations en CO_2 sont supérieures au centre du bâtiment par rapport à l'extraction et à l'entrée d'air pour l'éleveur E1 (+318 ppm pour les mesures réalisées au centre par rapport à celles de l'extraction et de l'entrée d'air), ceci peut être lié à l'allumage du chauffage au cours des mesures CO_2 et d'un brassage d'air moins efficient. De plus, cet élevage est équipé d'un aérotherme gaz d'appoint au démarrage (chauffage à combustion directe). En revanche pour l'élevage E3, les concentrations en CO_2 sont plus basses au centre et plus élevées à l'extraction (pour les mesures à 10 et 80 cm). Dans cet élevage, le bâtiment est équipé d'un dispositif de chauffage par combustion directe, il y a davantage d'hétérogénéité des concentrations en CO_2 entre les 3 points de mesures, par rapport aux deux autres bâtiments (en chauffage à combustion indirecte). Au contraire, les concentrations en CO_2 mesurées dans l'élevage E2, en chauffage combustion indirecte, étaient moins d'hétérogène, pour les mesures à 10 cm du sol. Ces observations sont probablement à mettre sur le compte du brassage assuré par les systèmes de chauffage (aérothermes à eau chaude) et le positionnement en long pan des extracteurs en début de lot. Ainsi, ces mesures mettent en évidence une hétérogénéité horizontale des concentrations en CO_2 dans les 3 bâtiments étudiés, confirmant l'hypothèse initiale. Ce résultat peut suggérer l'ajout de capteurs pour réaliser davantage de

mesures pour prendre en compte cette variabilité horizontale. Cette variabilité reste voisine du biais que l'on peut constater entre les capteurs et l'achat de capteur(s) supplémentaire(s) représente un coût non négligeable pour l'éleveur. Il convient de privilégier un investissement dans un capteur performant plutôt qu'un capteur supplémentaire.

De manière générale **en fin de lot** (Figure 5), les concentrations les plus élevées sont observées pour les élevages E1 et E3. Pour l'élevage E3, ceci s'explique, comme en début de lot, par le dispositif de chauffage par combustion directe utilisé. Concernant l'élevage E1, les conditions extérieures étaient aussi plus froides lors de la visite de fin de lot, contrairement aux deux autres élevages (8,9 °C pour E1 contre 12,6°C pour E2 et 13,2°C pour E3). En ce qui concerne les différences de concentrations moyennes obtenues aux différents emplacements et hauteurs, il est possible de dégager les résultats suivants : variabilité verticale et variété horizontale.

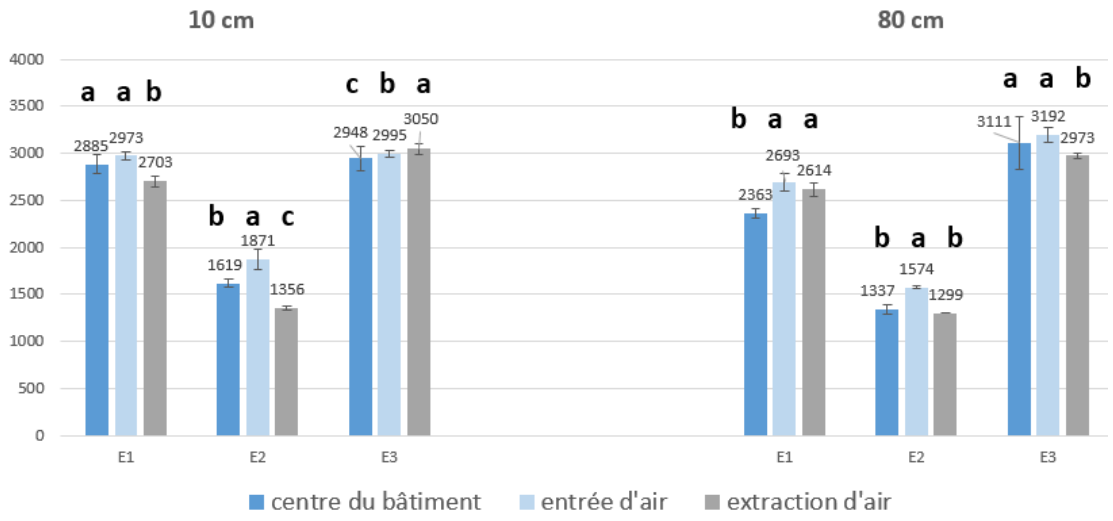

Figure 5 : Concentrations en CO_2 moyennes (ppm) pour chacun des 3 élevages, mesurées à 10 cm (gauche du graphique) et 80 cm (droite du graphique), à 3 endroits du bâtiment, à la fin du lot de volailles. [E=élevage]. Les moyennes présentant des lettres (a, b ou c) différentes sont significativement différentes au seuil de 5%.

Variabilité verticale : A la fin du lot de volailles, les concentrations moyennes mesurées à 10 cm et à 80 cm du sol et pour chaque emplacement ont significativement différentes (Tableau 6). Les mesures à 10 cm sont significativement supérieures par rapport à celles à 80 cm pour les élevages E1 et E2. Ceci peut s'expliquer par des litières dégradées notées 4 à l'endroit des mesures lors des visites réalisées en fin de lot dans l'élevage E1, produisant du CO_2. Par contre, la litière est notée 1 dans l'élevage E2 (litière sèche et friable à l'endroit des mesures). Ce résultat dans l'élevage E2 peut s'expliquer par un potentiel gradient de CO_2 provenant de la respiration des animaux et à un brassage d'air moins efficient. Les concentrations sont plus élevées à 10 cm du sol et sont le reflet d'une dégradation de la litière, par rapport aux mesures à 80 cm, chez un des 3 élevages. Les résultats obtenus en station expérimentale sont confirmés dans un élevage uniquement. Ainsi, si le capteur est positionné à 80 cm du sol, les concentrations en CO_2 à hauteur des animaux vont avoir tendance à être sous estimées. Cette sous-estimation peut être gérée au niveau du boîtier de régulation (si utilisation de l'influence CO_2) par une diminution de la consigne CO_2. Au contraire dans l'élevage E3, les concentrations en CO_2 mesurées à 80 cm sont significativement supérieures à celles mesurées à 10 cm du sol, excepté pour les mesures réalisées au niveau de l'extraction d'air (Tableau 6).

Tableau 6 : Concentrations en CO_2 moyennes (ppm) mesurées à 10 cm et 80 cm pour chacun des 3 endroits du bâtiment dans les 3 élevages à la fin du lot de volailles. [E=élevage ; S=Significatif ; NS=Non Significatif ; résultat au seuil de significativité de 5%]

	E1			E2			E3		
Point de mesure	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**	**10 cm**	**80 cm**	**Résultat**
centre	2885	2363	P<0,01	1619	1337	P<0,01	2948	3111	P<0,01
entrée	2973	2693	P<0,01	1871	1574	P<0,01	2995	3192	P<0,01
extraction	2703	2614	P<0,01	1356	1299	P<0,01	3050	2973	P<0,01

Variabilité horizontale : Pour les 3 élevages, les concentrations sont significativement supérieures à l'entrée d'air par rapport à l'extraction, pour les mesures à 10 et 80 cm du sol, excepté pour l'élevage E1 pour les mesures à 80 cm (NS). Ce résultat peut s'expliquer, comme en début de lot, par le protocole utilisé pour la prise de mesure. De plus, en fin de lot, le brassage et le renouvellement d'air sont augmentés ce qui peut aussi expliquer ce résultat. Les concentrations en CO_2 mesurées au centre du bâtiment sont systématiquement plus basses que celles mesurées à proximité des entrées d'air, néanmoins ces différences ne sont pas significativement différentes pour l'élevage E1 pour les mesures à 10 cm et pour l'élevage n°3 pour les mesures à 80 cm. Pour les 3 élevages, les concentrations sont significativement différentes entre le centre du bâtiment et l'extraction, pour les mesures à 10 et 80 cm du sol, excepté pour l'élevage E2 pour les mesures à 80 cm où la différence n'est pas significative (Figure 5). L'hétérogénéité horizontale des concentrations en CO_2 en fin de lot est moins marquée qu'en début d'élevage pour les 3 élevages étudiés et peut suggérer l'ajout d'un capteur supplémentaire en début de lot.

Conclusion

La précision du capteur (+/- 100 ppm) et la plage de mesure (0-10 000 ppm) sont deux critères importants pour le choix d'un capteur de concentrations en dioxyde de carbone. L'usage que l'on fait de ce capteur en bâtiment avicole (usage ponctuel ou raccordement à un boîtier de régulation) conditionne le choix du temps de réponse du capteur. Les comparaisons des concentrations en CO_2 mesurées par différents capteurs en bâtiment commercial de poulets de chair, révèlent des écarts et des dérives importantes des capteurs pour une même technologie (technologie infrarouge non dispersif). Il est conseillé d'éviter d'utiliser certains capteurs, notamment les capteurs C1 et C4 en bâtiment avicole. Les essais réalisés en station expérimentale suggèrent une position optimale du capteur de la sonde en début d'élevage à 80 cm +/- 20 cm du sol, entre les lignes de pipettes et de mangeoires. En revanche, en fin de lot cette position sous-estime les concentrations dans l'aire de vie des animaux. La mesure réalisée à 80 cm est proche de celle mesurée à l'extraction d'air donc de l'ambiance globale du bâtiment, en début comme en fin de lot. Les résultats de fin de lot suggèrent donc l'ajout d'un capteur à hauteur des animaux en plus d'un capteur à 80 cm. Cependant, il faudra veiller à ce que le capteur soit protégé pour éviter d'être endommagé par les animaux. Si l'ajout d'un capteur dans l'aire de vie des volailles n'est pas envisageable pour des questions de coût, il pourrait être appliqué une correction au niveau du boîtier de régulation en cas de litière dégradée. Considérer uniquement les valeurs mesurées à 10 cm en fin de lot pourrait avoir pour conséquence d'engendrer des fluctuations importantes de la ventilation et donc potentiellement des courants d'air froid au niveau des animaux. L'hétérogénéité horizontale des concentrations en CO_2 en fin de lot est moins marquée qu'en début d'élevage pour les 3 élevages étudiés où les différences entre le centre, la sortie d'air et l'extraction sont significatives et peut suggérer d'ajout de capteurs supplémentaires en début de lot. La variabilité horizontale des concentrations dans les élevages commerciaux et la variabilité verticale dans la zone de vie des poulets restent voisines du biais que l'on

peut constater entre les capteurs. Ainsi, il paraît préférable, à l'heure actuelle et au regard des tests effectués, d'investir dans un capteur de qualité, dans sa maintenance et son usage via la régulation de la ventilation, plutôt que dans un nombre élevé de capteurs destinés à gérer l'homogénéité des concentrations dans les élevages. Le pilotage de la ventilation et du chauffage en fonction des concentrations en CO_2, de l'humidité de l'air et de la litière, reste une cible d'amélioration des élevages de poulets de chair.

Références bibliographiques

CIGR, 1984. Report of working group on Climatization of Animal Houses. Editors: Scottish Farm Building Investigation Unit. Craibstone, Aberdeen, Scotland. ISBN 0 902433 33 4. 80 pages.

INRS (N.Bonnard, M-T Brondeau, M. Falcy, D.Jargot, S.Miraval, J-C Protois, O. Scheneider.), 2005. Fiche toxicologique Dioxyde de carbone FT 238.

INRS, 1999. Intoxication par inhalation de dioxyde de carbone. Dossier médico-technique. 79 TC 74. Document pour le médecin du travail. N°79 ; 3ème trimestre.

McGovern R.H., Feddes J.J.R., Zuidhof M.J., Hanson J.A., 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

Hassouna M., Eglin T., Cellier P., Colomb V., Cohan J.-P., *et al.,* 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. INRA-ADEME, 2-7380-1375-9

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.

Reece F., Lott B., 1980. Effect of carbon dioxide on broiler chicken performance. Poultry Science, 59 (11): 2400-2402

Robin P., Amand A., Nicolas C., Chevalier D., Gallot S., Pigache E., Keita A., 2017. Modélisation thermique des bâtiments d'élevage de poulets de chair en vue d'optimiser le choix des équipements et les paramètres de régulation, 2017. 12èmes journées de la recherché avicole et palmipèdes à Foie Gras, Tours, 5 et 6 avril 2017.

Scientific Committee on Animal Health and Animal Welfare, 2000. The Welfare of Chickens Kept for Meat Productions (Broilers).

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0)

https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL)