

QUALITE DE L'AIR ET EMISSIONS GAZEUSES *en fonction du type de logement des poules pondeuses*

INTRODUCTION

L'air des bâtiments d'élevage est un milieu complexe constitué à la fois de gaz, de particules et de bioaérosols. Il représente le premier paramètre contrôlé en élevage par le biais de la ventilation. La qualité de l'air a un impact direct sur la santé et les performances des animaux mais aussi sur la santé respiratoire des éleveurs (Just et al., 2009). Elle représente aussi un enjeu majeur pour l'environnement, l'émission de particules et d'ammoniac (NH₃) entraînant une acidification des écosystèmes environnants et la transmission de pathogènes aéroportés par les poussières (Portejoie et al., 2002).

L'élevage de poules pondeuses fait l'objet actuellement de modifications importantes notamment en terme de logement des animaux. En effet, la Directive Européenne 1999/74/CE interdit l'utilisation de cages conventionnelles depuis 2012. Cette prise en compte du bien être dans la réglementation a amené les éleveurs français à faire évoluer leurs systèmes d'élevage, en équipant leurs bâtiments de cages aménagées ou en s'orientant vers des systèmes alternatifs (volières, élevage au sol). Par ailleurs, l'engagement de la France dans le protocole de Göteborg relatif à la réduction de l'acidification, de l'eutrophisation et à l'ozone troposphérique, et qui fixe un plafond d'émissions d'ammoniac à ne pas dépasser, implique nécessairement une contribution de l'élevage.

Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de connaître précisément l'influence des paramètres d'élevage (mode de logement, type de bâtiment, conduite lumière, alimentation) sur la qualité de l'air ambiant et les facteurs d'émissions gazeuses.

1. MATÉRIELS ET MÉTHODES

1.1. Échantillon d'élevage suivis

L'étude a été conduite en 2011 dans dix-sept bâtiments d'élevage de poules pondeuses. Neuf de ces bâtiments d'élevage étaient équipés de cages, dont sept avec cages aménagées aux normes 2012 (d'origine ou après rénovation). Ces neuf bâtiments en cages disposent d'une ventilation dynamique à extraction basse ou haute et d'un tapis d'évacuation des fientes (tableau 1).

RÉSUMÉ

Dans les élevages avicoles confinés, les éleveurs sont exposés à des concentrations élevées de poussières susceptibles d'avoir un impact sur leur santé respiratoire. L'émission de particules et d'ammoniac à l'extérieur des bâtiments représente aussi un enjeu environnemental majeur. Dans ce contexte, il apparaît nécessaire de connaître précisément l'influence des paramètres d'élevage (mode de logement, type de bâtiment, conduite lumière, alimentation) sur la qualité de l'air ambiant et les facteurs d'émissions gazeuses. Dans le cadre du projet AIRPOUL, une étude a été réalisée dans 17 élevages de poules pondeuses (9 en cages et 8 au sol) pour :

- (1) mesurer les concentrations en gaz à effet de serre (GES) (CO₂, CH₄, N₂O), ammoniac et poussières dans l'air ambiant,
- (2) estimer les débits de ventilation des bâtiments,
- (3) décrire l'évolution de l'état d'empoussièrement au cours d'une journée et identifier les conditions d'élevage et de ventilation l'influençant.

ROUSSET Nathalie², LE BOUQUIN Sophie¹, HUNEAU-SALAÜN Adeline¹, BALAINE Loïc¹, HOMO Nathalie¹, AMAND Gérard², PONCHANT Paul², AUBERT Claude²

1 - ANSES, Laboratoire de Ploufragan-Plouzané, UBEAC, BP53, 22440 PLOUFRAGAN

2 - ITAVI - Zoopôle Beaucemaine - 41 rue de Beaucemaine, 22440 PLOUFRAGAN

Contact : rousset@itavi.asso.fr

■ Tableau 1. Caractéristiques des poulaillers en cage suivis dans l'étude

	C/001	C/021	C/022	C/027	C/028	C/040	C/052	C/053	C/041
Age (an)	32	6	6	31	31	11	18	2	30
Rénovation	oui	non	non	oui	oui	non	oui	non	oui
Ventilation	dyn. ext. haute	dyn.ext. basse bil.	dyn.ext. basse mono.	statique	dyn.ext. basse bil.	dyn.ext. basse mono.	dyn.ext. basse mono.	dyn.ext. pignon	statique
Volume (m3/poule)	0.17	0.23	0.17	0.13	0.14	0.17	0.21	0.19	0.15
Capacité (poules)	24857	40000	54000	19200	33500	60000	57000	91200	19500
Cage	CA	CA	CA	CC	CA	CA	CA	CA	CC
Poules/cage	48	48	15	12	6	36	50	50	12
Alimentation	chaîne	chariot	chaîne	chaîne	chaîne	chariot	chaîne	chariot	chaîne
Evacuation fientes	tapis	tapis	tapis	tapis	tapis	tapis	tapis	tapis	tapis
Pré-séchage fiente	non	non	oui	oui	oui	oui	oui	non	non

■ Tableau 2. Caractéristiques des élevages au sol suivis dans l'étude

	S/004	S/005	S/008	S/011	S/014	S/034	S/045	S/046
Age (an)	13	12	13	19	20	21	13	19
Rénovation	oui	non	oui	non	oui	non	non	non
Ventilation	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau	Statique lanterneau
Volume (m3/poule)	0.41	0.43	0.32	0.34	0.41	0.36	0.39	0.46
Capacité (poules)	5500	4495	5000	6000	4500	4987	4495	5000
Lumière	néons	néons	néons	néons	néons	néons	néons	néons
Alimentation	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne	chaîne
Nid	collectif	collectif	collectif	collectif	individuel	collectif	collectif	collectif
Ramassage œufs	automatique	automatique	automatique	automatique	manuel	automatique	manuel	manuel
Perchoirs	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui

Les autres bâtiments suivis étaient des bâtiments d'élevages au sol avec un accès à un parcours extérieur (tableau 2). Ces bâtiments présentent une conception et des aménagements homogènes, sauf pour l'un d'entre eux qui dispose d'un système de ventilation statique transversal alors que les autres ont un lanterneau.

1.2. Estimation des débits de ventilation

Les débits de ventilation des bâtiments ont été calculés à partir de la méthode des bilans thermiques (chaleur totale et chaleur sensible), qui consiste à appréhender les apports et déperditions de chaleur du bâtiment d'élevage, en s'appuyant sur des enregistrements intérieurs et extérieurs de température et d'hygrométrie ainsi que sur les caractéristiques du bâtiment et de son occupation. Le débit de ventilation est obtenu par les formules suivantes : (voir ci-contre).

Afin de pouvoir estimer les déperditions de chaleur par les parois du bâtiment et par l'éclairage, un questionnaire a été rempli par l'enquêteur et l'éleveur. Dans le cas des bâtiments à ventilation dynamique, ce questionnaire comprend également un descriptif précis du système de ventilation. Par ailleurs, des renseignements concernant la conduite du lot ont été collectés afin d'estimer les apports de chaleur par les animaux.

$$\underbrace{AA + AL}_{\text{Apports}} = \underbrace{DP + DV}_{\text{Déperditions}}$$

Avec

AA : Apports de chaleur par les animaux (en W)

AL : Apports de chaleur par la lumière (en W)

DP : Déperditions de chaleur par les parois du bâtiment (en W)

DV : Déperditions de chaleur par la ventilation

Et où $DV = DE \times CA \times (Ti - Te)$

Avec

DE : Débit de ventilation (en m³/h)

CA : Chaleur spécifique de l'air (0,34 Wh/°C/kg)

Ti : Température intérieure (en °C)

Te : Température extérieure (en °C)

1.3. Calcul des émissions gazeuses

Dans un premier temps, les pertes totales d'azote par volatilisation dans l'air ambiant du poulailler (principalement sous forme de NH_3 mais aussi de N_2O et N_2), ont été estimées par la méthode du bilan de masse appliquée au paramètre azote. Cette méthode consiste à calculer un bilan Entrées-Sorties à l'échelle du bâtiment d'élevage et à partir des données propres au lot suivi : nombre de poules et poids à la mise en place, composition des aliments et quantités ingérées sur tout le lot, éventuellement quantité de litière lorsqu'elle est présente, pour les entrées ; quantités d'œufs et de déjections produits en fin de lot, nombre et poids des poules, ainsi que le taux de mortalité (les valeurs de composition corporelle des poules sont, par défaut, celles utilisées par le CORPEN, 2006), pour les sorties.

En parallèle, la quantité totale d'azote exporté par les animaux est obtenue en déduisant de l'azote ingéré (aliment) et apporté par les autres intrants éventuels (paille), l'azote fixé par les poules et les œufs produits.

Il est alors possible de calculer le taux de pertes d'azote qui correspond à la proportion d'azote exporté par les animaux qui est retrouvée ni dans les déjections ni dans les œufs produits en fin de bande, et qui est par conséquent perdue par volatilisation. Pour les élevages au sol, le calcul du $\text{N}_{\text{exporté}}$ ne prend en compte que la part d'azote excrété au bâtiment soit 75 % de l'azote excrété total (CORPEN 2006) :

$$\text{Taux de pertes d'azote} = \frac{\text{N défaut de bilan}}{\text{N exporté}}$$

Avec :

$$\text{N défaut de bilan} = \text{N exporté} - \text{N effluent}$$

Et

$$\text{N exporté} = \text{N ingéré} + \text{N paille} - \text{N fixé} \quad \text{Où } \text{N fixé} = \text{œuf} + \text{rétention corporelle}$$

Les émissions de gaz à effet de serre (GES) (CO_2 , N_2O , CH_4) et d'ammoniac ont été estimées en se basant sur la méthode de mesure simplifiée des gaz à effet de serre dans les bâtiments d'élevages développée par un partenariat INRA et ITAVI (Ponchant et al., 2009). Ainsi, les émissions ont été calculées à partir de la méthode des rapports de concentrations qui s'appuie à la fois sur le bilan de masse sur le paramètre carbone (pertes totales de carbone sous forme de CO_2 et CH_4) et les gradients de concentrations gazeuses (intérieur-extérieur) mesurées en élevage. Pour cela, les concentrations des différents gaz ont été quantifiées par spectrométrie infrarouge photoacoustique (INNOVA 1412), à partir de prélèvements d'air réalisés à l'intérieur et l'extérieur des bâtiments lors de deux séries de mesures.

Par ailleurs, les émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac ont été estimées par une seconde méthode de calcul qui consiste à croiser les débits de ventilation avec les gradients de concentrations intérieures-extérieures des différents gaz. La masse volumique de l'air le jour de la mesure des concentrations en gaz est calculée en s'appuyant sur les mesures de température et d'hygrométrie intérieures et extérieures. Cette seconde



Poche permettant les prélèvements de gaz

Analyseur de gaz INNOVA 1412

méthode permet d'obtenir des facteurs d'émission ponctuels correspondant au jour de la mesure.

Les comparaisons des émissions moyennes de GES et d'ammoniac, ainsi que des pertes totales d'azote entre les deux types de bâtiments d'élevage (équipés de cages ou système d'élevage au sol) ont été réalisées au moyen du test T de Student.

1.4. Mesure du taux de poussières en continu

La concentration en poussières alvéolaires ($< 5\mu\text{m}$) de la salle d'élevage a été mesurée toutes les 15 minutes sur 24 h à l'aide d'un photomètre laser (SIDEPAK AM 510, TSI) placé à 1,5 m du sol et équipé d'une sonde de prélèvement cyclone. Le débit d'aspiration de la sonde était calibré avant chaque mesure. L'éleveur renseignait un budget-espace-temps-activité simplifié le jour de la mesure permettant de consigner par pas de 15 minutes ses interventions dans la salle d'élevage ainsi que les principaux événements survenus (distribution des repas, programme lumineux, ouverture/fermeture des trappes d'accès au parcours...). Les principales caractéristiques structurelles du bâtiment ainsi que les pratiques d'élevage ont été aussi collectées, à l'aide d'un questionnaire.

L'association entre le taux de poussières dans le bâtiment d'une part, et d'autre part, les paramètres d'élevage (données quantitatives) ainsi que les débits de ventilation, est étudiée au moyen du coefficient de corrélation de Spearman. Par ailleurs, un test de Kruskal-Wallis a été utilisé pour étudier l'association entre le taux de poussières dans le bâtiment et les données qualitatives. La relation entre l'empoussièrément moyen sur 24 h et les paramètres d'élevage a été testée avec un test non paramétrique de Mann et Whithney. L'analyse de l'évolution du taux de poussières en continu a été réalisée séparément pour les élevages en cages et au sol.

2. RÉSULTATS ET DISCUSSION

2.1. Émissions de gaz à effet de serre et d'ammoniac

Afin de s'assurer de la qualité des prélèvements d'air réalisés en élevage, les émissions de vapeur d'eau ont été estimées à la fois par la méthode du bilan de masse (méthode dite de référence) et la méthode du rapport des concentrations. Deux bâtiments en cages et trois bâtiments au sol ont été écartés pour le calcul des facteurs d'émissions moyens par la méthode de mesure simplifiée, en accord avec les recommandations de Ponchant et al. (2009).

Les facteurs d'émissions moyens présentés ci-après ont donc été obtenus à partir d'un échantillon de sept bâtiments équipés de cages et cinq bâtiments d'élevage au sol avec parours.

Pour ces douze bâtiments, la différence sur les résultats obtenus entre les deux méthodes est de 4 % en moyenne, tous types de bâtiments confondus : 5 % en moyenne pour les bâtiments équipés de cages et 3 % en moyenne pour les bâtiments d'élevage au sol. Ces différences sont comprises au maximum entre -32 % et 37 % (tableau 3).

■ Tableau 3. Comparaison des émissions de vapeur d'eau estimées à partir de deux méthodes de calcul

	Emissions de vapeur d'eau		Différences entre les deux méthodes		
	Par la méthode du bilan de masse	Par la méthode du rapport des concentrations	Moy.	Max	Min
Bâtiments cages (n=7)	166,5 ± 28,0	171,4 ± 28,2	5 %	37 %	-27 %
Bâtiments sol (n=5)	105,3 ± 25,0	110,5 ± 44,3	3 %	27 % *	-32 %
Tous types de bâtiments (n=12)	141,0 ± 40,6	146,0 ± 46,0	4 %	37%	-32 %

Peu de différences apparaissent entre les émissions de CO₂ des bâtiments d'élevage au sol et les émissions de CO₂ des élevages équipés de cages. Les émissions de CH₄ sont également similaires entre les deux systèmes d'élevage (tableau 4), et sont très faibles en comparaison aux émissions mesurées dans des élevages d'autres espèces notamment les bovins.

■ Tableau 4. Emissions moyennes (± écart-type) de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O) et d'ammoniac (NH₃) selon le type de système d'élevage de poules pondeuses.

		Bâtiments cages (n=7)	Bâtiments sol (n=5)	Tous types de bâtiments (n=12)
Emissions de C-CO ₂	En g/poule/jour	36,0 ± 1,0 a	36,9 ± 6,0 a	36,4 ± 3,7
Emissions de C-CH ₄		0,12 ± 0,10 a	0,16 ± 0,13 a	0,14 ± 0,11
Emissions de N-N ₂ O		0,02 ± 0,02 a	0,07 ± 0,06 b	0,04 ± 0,05
Emissions de N-NH ₃		0,10 ± 0,06 a	0,36 ± 0,20 b	0,21 ± 0,19

Deux lettres différentes sur une même ligne signifie une différence significative entre les deux moyennes (test t de Student, logiciel R, seuil de rejet : P<5%)

Les émissions de N₂O semblent légèrement plus importantes dans les bâtiments d'élevage au sol (0,07 ± 0,06 g N-N₂O/poule/j) par rapport à celles des élevages équipés de cages (0,02 ± 0,02 g N-N₂O/poule/j). La différence entre les deux systèmes n'est pas significative mais néanmoins proche du seuil de significativité (P=0,10).

Les pertes de NH₃ en revanche sont significativement plus élevées dans les bâtiments d'élevage au sol (0,36 ± 0,20 g de N-NH₃/poule/j) par rapport aux élevages équipés de cages (0,10 ± 0,06 g de N-NH₃/poule/j).

Cette observation peut s'expliquer par une différence technique au niveau de la gestion des déjections entre les deux types de bâtiment. En effet, les élevages en cages de l'échantillon disposent tous d'un tapis d'évacuation des fientes contrairement aux élevages au sol où les déjections sont stockées sous les animaux pendant toute la durée du lot. Les fermentations responsables de la production d'ammoniac seraient donc par conséquent plus importantes dans ce type d'élevage (Liang et al., 2005).

Les moyennes des facteurs d'émissions ponctuels obtenus par croisement des débits de ventilation et des gradients de concentration des différents gaz, sont présentées pour chaque système d'élevage dans le tableau 5. Ces facteurs d'émissions sont de même ordre de grandeur que ceux obtenus par la méthode de calcul précédente.

■ Tableau 5. Moyennes des émissions ponctuelles (± écart-type) de GES et d'ammoniac selon le type de système d'élevage de poules pondeuses.

		Bâtiments cages (n=5)	Bâtiments sol (n=7)	Tous types de bâtiments (n=12)
Emissions de C-CO ₂	En g/poule/jour	15,7 ± 6,6 a	25,4 ± 10,0 a	21,0 ± 9,6
Emissions de C-CH ₄		0,07 ± 0,03 a	0,20 ± 0,14 a	0,13 ± 0,11
Emissions de N-N ₂ O		0,00 ± 0,00 a	0,07 ± 0,06 b	0,04 ± 0,05
Emissions de N-NH ₃		0,10 ± 0,12 a	0,25 ± 0,14 b	0,18 ± 0,14
Emissions de H ₂ O		225,5 ± 427,2	125,4 ± 63,5	181,0 ± 309,1

Deux lettres différentes sur une même ligne signifie une différence significative entre les deux moyennes (test t de Student, logiciel R, seuil de rejet : P<5%)

On observe par ailleurs les mêmes impacts du système d'élevage que ceux observés précédemment. Ainsi, les émissions de protoxyde d'azote sont significativement plus élevées dans les élevages au sol par rapport aux élevages en cages. Les émissions d'ammoniac tendent à être plus importantes dans les élevages au sol (différence proche du seuil de significativité, P=7,1%). Les émissions de dioxyde de carbone et méthane sont quant à elles similaires entre les deux systèmes d'élevage.

2.2. Pertes totales d'azote et d'ammoniac

Les pertes totales d'azote sous forme gazeuse (N₂O, NH₃ et N₂) sont similaires entre les deux systèmes d'élevage. En effet, bien qu'elles apparaissent légèrement plus faible dans les systèmes d'élevage au sol (38 ± 11 % de l'azote exporté par les animaux) par rapport au bâtiment équipés de cages (44 ± 5 %), la différence ne ressort pas significative (tableau 6). Les émissions de NH₃ représentent une part des pertes totales d'azote beaucoup moins importante dans les bâtiments équipés de cages (12 ± 7 % en moyenne) que dans les bâtiments d'élevage au sol (58 ± 37 % en moyenne). La différence entre les deux systèmes d'élevage est cette fois significative.

■ Tableau 6. Pertes totales d'azote et d'ammoniac (NH₃) (moyenne ± écart-type) selon le type de système d'élevage de poules pondeuses.

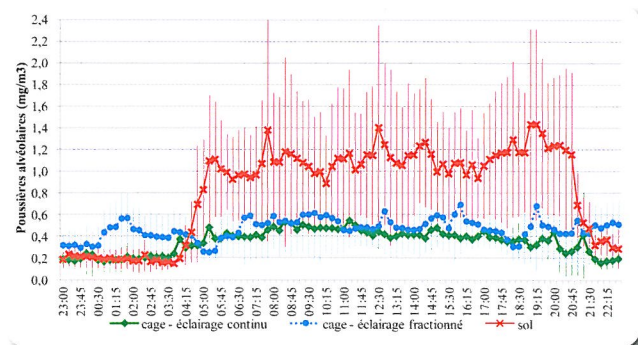
		Bâtiments cages (n=7)	Bâtiments sol (n=5)	Tous types de bâtiments (n=12)
Pertes totales d'azote par volatilisation	En % du N excrété par les animaux	44 ± 4 a	38 ± 11 a	41 ± 8
Pertes de NH ₃ /pertes totales d'azote	En % des pertes totales d'azote	12 ± 7 a	58 ± 37 b	31 ± 33

Deux lettres différentes sur une même ligne signifie une différence significative entre les deux moyennes (test t de Student, logiciel R, seuil de rejet : P<5%)

2.3. Évolution générale de la concentration en poussières au cours d'une journée

La concentration moyenne en poussières alvéolaires dans l'air ambiant des

■ Figure 1. Concentration en poussières alvéolaires sur 24 h selon le système d'élevage et le programme lumineux



élevages évolue fortement au cours de la journée, aussi bien au sol qu'en cages (figure 1).

Si une forte variabilité est observée entre les élevages en cages ($n=8$), on constate néanmoins que la concentration moyenne en poussières est plus élevée durant la (ou les) périodes éclairées que durant la (ou les) périodes obscures. Plus précisément, la concentration moyenne en poussières alvéolaires est de $0,471 \text{ mg/m}^3$ (IC95% [0,447-0,495]) lorsque les lumières sont allumées contre $0,353 \text{ mg/m}^3$ (IC95% [0,321-0,385]) lorsqu'elles sont éteintes. La concentration moyenne de poussières alvéolaires dans l'air ambiant des poulaillers au sol est aussi très significativement supérieure durant la période éclairée ($1,11 \text{ mg/m}^3$ IC95% [1,04-1,19]) que celle obscure ($0,346 \text{ mg/m}^3$ IC95% [0,298-0,394]). De nouveau, la variabilité des mesures est très élevée soulignant des différences importantes entre les bâtiments, surtout pendant la journée.

Le taux de poussières ambiant est en moyenne supérieur dans les élevages au sol par rapport à ceux en cages sur l'ensemble de la journée. En effet, l'élevage au sol permet l'expression des comportements naturels de bains de poussières, grattage de la litière et battement d'ailes favorisant l'augmentation de l'empoussièrement. Néanmoins, ce phénomène est surtout constaté lorsque les lumières sont allumées et dépend également du programme lumineux. Ainsi la concentration en poussières est-elle très basse dans les élevages au sol durant la nuit, comparable à celle des élevages en cages pratiquant un programme lumineux continu, alors qu'elle est plus élevée dans les poulaillers en cages avec un programme fractionné.

Que ce soit en cages ou au sol, le taux de poussières ambiantes est positivement corrélé avec la température mesurée à l'intérieur du bâtiment (Coefficient de Spearman $\rho=0,48$, $P<0,01$ en cages ; $\rho=0,07$, $P=0,09$ au sol). Au contraire, il diminue avec l'augmentation de l'hygrométrie de l'air à l'intérieur du poulailler ($\rho=-0,33$, $P<0,01$ en cages ; $\rho=-0,20$, $P<0,01$ au sol).

2.4. Évolutions ponctuelles de la concentration en poussières au cours d'une journée

La mise en relation de l'évolution du taux de poussières avec les principaux événements survenus au cours des 24 h d'enregistrement permet de mettre en évidence l'influence essentielle de l'éclairage (jour ou lumière artificielle) et de la distribution d'aliment.

2.4.1. Impact de l'éclairage

Le taux de poussières alvéolaires augmente significativement dans la demi-heure suivant l'allumage des ampoules ou des néons (+65% en moyenne, $P=0,01$ en cages, +330%, $P=0,03$ au sol) puis il décroît progressivement pour se stabiliser à un niveau en moyenne supérieur à celui observé durant la période non éclairée. L'extinction des lumières est associée à une diminution progressive de l'empoussièrement. L'activité des animaux qui est plus importante durant les périodes éclairées est responsable de cette augmentation du niveau d'empoussièrement, comme l'ont montré plusieurs études (Takai et al, 1998, Hinz et al, 2011).

Cinq élevages en cages pratiquaient un programme lumineux fractionné le jour des mesures de poussières, comprenant jusqu'à 4 périodes éclairées par jour (la durée totale d'éclairage par jour étant par ailleurs identique en programmes lumineux fractionné ou continu). Le type de programme lumineux semble influencer l'empoussièrement ambiant même si les concentrations moyennes en poussières sur 24 heures ne sont pas significativement différentes entre les poulaillers en programme continu ($n=3$, $0,125 \text{ mg/m}^3$ IC95% [0,032-0,218]) et ceux en programme lumineux fractionné ($n=5$, $0,166 \text{ mg/m}^3$ IC95% [0,119-0,213]). En effet, le programme lumineux fractionné augmente la concentration en poussières ambiantes durant la nuit à cause des allumages nocturnes alors qu'elle est particulièrement basse sur cette période dans les élevages en programme continu (figure 1).

2.4.2. Impact des distributions d'aliment

Dans les élevages en cages, les distributions d'aliment sont aussi responsables d'un pic ponctuel de poussières dans le quart d'heure suivant la mise en route des chaînes ou des chariots (+58%). L'effet cumulé de la mise en suspension des particules alimentaires et du déplacement des poules vers la mangeoire peuvent expliquer ce phénomène (Guarino et al, 1999). Cependant à l'échelle de la journée, le niveau d'empoussièrement moyen n'est pas affecté par le nombre de distributions d'aliment : le pic de poussières pendant la distribution n'a pas d'incidence sur l'empoussièrement global dans les élevages suivis.

2.4.3. Présence de l'éleveur dans le bâtiment

Quel que soit le type d'élevage, les éleveurs ont été présents dans la salle d'élevage environ 10% du temps sur les 24 heures de mesure. La présence de l'éleveur étant ciblée sur les périodes d'éclairage, son influence sur l'évolution du taux de poussières est difficile à mettre en évidence. Dans les élevages au sol on arrive cependant à faire coïncider le ramassage des œufs pondus au sol et des poules mortes avec des pics de poussières, mais cette relation n'a pu systématiquement être mise en évidence.

Dans certains élevages en cages, une augmentation brusque du taux de poussières peut être directement reliée à l'activité de l'éleveur à ce moment-là, particulièrement en cas de nettoyage, mais il est rarement possible de faire un rapprochement direct. Néanmoins on remarque que le taux de

poussières ambiant dans le bâtiment est plus élevé lorsque l'éleveur ramasse les œufs ou les poules mortes ($0,555 \pm 0,213 \text{ mg/m}^3$) que lorsqu'il fait un simple contrôle visuel ($0,417 \pm 0,147 \text{ mg/m}^3$). Cette observation confirme les résultats de mesures d'exposition personnelles où le ramassage des poules est apparu comme l'activité la plus exposante en cage.

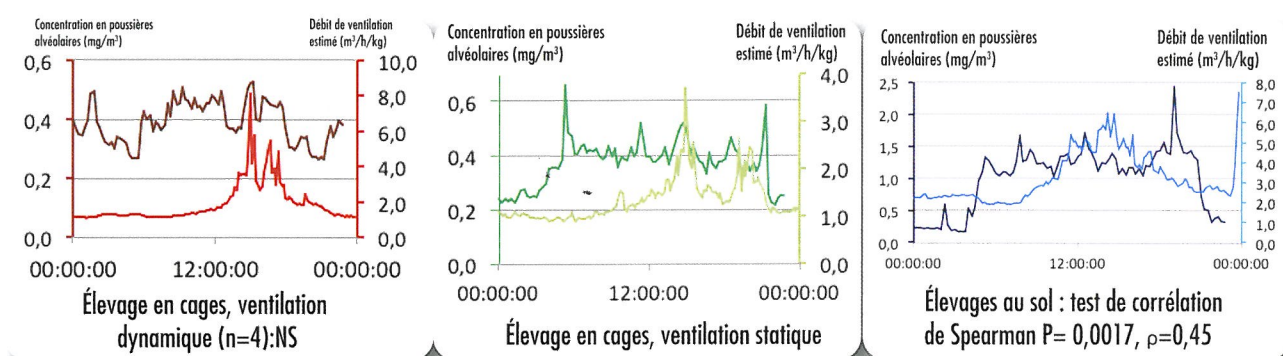
2.4.4. Variations des débits de ventilation

Dans les élevages en cages (systèmes statique ou dynamique), les variations des débits de ventilation n'expliquent pas l'évolution des taux de poussières

dans l'air ambiant des poulaillers. En revanche, pour les élevages au sol, on observe une corrélation positive et significative entre les débits moyens de ventilation et les taux de poussières ambiantes ($P=0,002$), c'est-à-dire que lorsque le débit de ventilation augmente le taux de poussières alvéolaires dans l'air du poulailler augmente également.

Toutefois la force de cette relation est assez faible ($\rho=0,45$), ce qui signifie que les variations du débit de ventilation dans ces élevages ne permettent pas d'expliquer à elles seules les variations des concentrations en poussières alvéolaires.

■ Figure 2. Débit de ventilation moyen et concentration moyenne en poussières sur 24 h



CONCLUSION

Si le mode de logement des poules pondeuses, en cages aménagées ou au sol, semble avoir un faible impact sur les facteurs d'émissions moyens de dioxyde de carbone et de méthane, il n'en est pas de même pour les facteurs d'émissions moyens de protoxyde d'azote et surtout d'ammoniac. En effet, les bâtiments d'élevage au sol semblent avoir une contribution plus importante aux émissions de ces deux gaz que les bâtiments équipés de cages aménagées. Les quantités totales d'azote volatilisées dans l'air ambiant restant similaires entre les deux types bâtiments, c'est la proportion d'azote volatilisée sous forme d'ammoniac qui apparaît plus importante pour les bâtiments d'élevage au sol par rapport aux bâtiments équipés de cages aménagées.

Concernant l'empoussièrement, cette étude confirme des niveaux supérieurs dans les élevages au sol par rapport aux cages et en période éclairée par rapport aux périodes obscures. L'allumage des ampoules constitue un moment critique de la journée vis-à-vis de l'exposition des animaux et des éleveurs aux aérosols tout comme les distributions d'aliment. La mise en évidence de ces activités plus exposantes aux poussières devrait permettre de mieux cibler les périodes au cours desquelles il est nécessaire que l'éleveur s'équipe de matériel de protection.

RÉFÉRENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CORPEN, 2006. 54 pages.
- Just, N., C. Duchaine, and B. Singh. 2009. An aerobiological perspective of dust in cage-housed and floor-housed poultry operations. *J. Occup. Med. Tox.* 4:13.
- Liang et al., 2005. *Transactions of the Asae* 48: 1927-1941
- Guarino, M., A. Caroli, and P. Navarotto. 1999. *Transactions of the American Society of Agricultural Engineers* 42:1127-1133.
- Hinz, T., and S. Linke, 1998. *J. Agric. Engng Res.*, (70), 119-129.
- Ponchant, P., Hassouna, M., Aubert, C., Robin, P., Amand, G., Ehrlicher, A., 2009. 8^e JRA, 100-104.
- Portejoie, S., Martinez, J., Landmann, G., 2002. *INRA Prod. Anom.*, 15(3), 151-160
- Takai, H., S. Pedersen, J. O. Johnsen, J. H. M. Metz, P. W. G. Groot Koerkamp, G. H. Uenk, V. R. Phillips, M. R. Holden, R. W. Sneath, J. L. Short, R. P. White, J. Hartung, J. Seedorf, M. Schröder, K. H. Linkert, C. M. Wathes, 1998. *J. Agric. Engng. Res.*, (70), 59-77.

REMERCIEMENTS

Les auteurs remercient les éleveurs chez qui s'est déroulée l'étude AIRPOUL 3, menée par l'Unité Mixte Technologique SANIVOL, ainsi que le Ministère de l'Agriculture de l'Agroalimentaire et de la Forêt qui a concouru à son financement, dans le cadre des projets CASDAR 2010 de recherche finalisée et d'innovation des instituts techniques agricoles