

AIRPOUL : Qualité de l'air en élevages de poules pondeuses : impact sur l'environnement et la santé des éleveurs

Rousset N.¹, Huneau-Salaün A.², Guillam M.-T.³, Ségala C.³, Le Bouquin S.²

¹ ITAVI-UMT SANIVOL, 41 rue de Beaucemaine 22440 Ploufragan

² Anses laboratoire de Ploufragan-Plouzané, Unité d'épidémiologie et bien-être en aviculture et cuniculture, 22440 Ploufragan

³ Sépia-Santé, 31 rue de Pontivy, 56 150 Baud

Correspondance : rousset@itavi.asso.fr

Résumé

L'air des bâtiments d'élevage est un milieu complexe constitué à la fois de gaz, de poussières 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. En outre, la qualité de l'air représente 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.

L'étude AIRPOUL, a pour but d'évaluer la qualité de l'air ambiant en particulier le niveau d'empoussièrement dans les différents systèmes d'élevage de poules pondeuses en France, et son impact sur la santé des éleveurs. Le volet épidémiologique de l'étude, initié en 2006, a pour objectif de caractériser l'exposition des éleveurs de poules pondeuses aux poussières ainsi que les facteurs d'élevage l'influençant et d'évaluer son impact sur la santé respiratoire. A l'issue de deux campagnes de mesures (2006 et 2011), les résultats montrent une dégradation de la qualité de l'air dans les élevages en cages aménagées, au sol et en volières par rapport à ceux en cages conventionnelles aujourd'hui interdites dans l'Union européenne. Les résultats médicaux montrent que les prévalences de certains symptômes respiratoires sont plus élevées que celles observées dans la population générale. Ils confirment aussi que plus l'éleveur est exposé aux poussières, plus le risque de présenter des symptômes respiratoires chroniques augmente. Une sensibilisation accrue des éleveurs aux sources potentielles d'exposition et aux moyens de s'en protéger est donc nécessaire. L'étude identifie les activités et lieux particulièrement exposants et donc à risque pour la santé de l'éleveur. L'analyse des pratiques d'élevage permet aussi de dégager des pistes de réflexion pour limiter la concentration en poussières dans les bâtiments et de ce fait l'exposition des éleveurs.

Mots-clés : poussières, poules pondeuses, volière, santé respiratoire

Abstract: AIRPOUL: Quality of air in flocks of laying hens: impact on the environment and the health of farmers

Air of livestock buildings is a complex environment consisting of gas, dust and bioaerosols. It represents the first parameter controlled through ventilation. The air quality has a direct impact on the health and performance of animals but also on the respiratory health of farmers. In addition, the air quality represents a major challenge for the environment, emission of particles and ammonia (NH₃) causing acidification of surrounding ecosystems and transmission of pathogenic airborne dust. The AIRPOUL study was designed to assess the quality of ambient air, in particular the level of dust in the various systems of rearing laying hens in France, and its impact on the health of farmers. The epidemiological component of the study, initiated in 2006, aimed at characterizing exposure of breeders of laying hens to dust and influencing livestock factors and assessing its impact on respiratory health. At the end of two measurement periods (2006-2011), results showed a degradation of the quality of the air in the breeding

ground, cages and aviaries from those in conventional cages now banned in the European Union. The medical results showed that the prevalence of respiratory symptoms was higher than those observed in the general population. They also confirmed that the more the farmer was exposed to dust, the more the risk of chronic respiratory symptoms increased. Increased awareness to potential exposure sources and to ways to be protected is therefore necessary. The study identifies the activities and places of high exposure and therefore at risk for the health of the breeder. The analysis of farming practices also identified the issues to limit concentration of dust in buildings and therefore exposure of farmers.

Keywords: dust, laying hens, aviary, respiratory health

Introduction

L'air des bâtiments d'élevage est un milieu complexe constitué à la fois de gaz, de poussières et de bioaérosols. Il représente le premier paramètre contrôlé en élevage par le biais de la ventilation.

Les poussières sont constituées d'un mélange de composants inorganiques et organiques (moisissures, bactéries, des virus, mycotoxines et endotoxines) (Cambra-Lopez et al, 2010). Elles véhiculent également des gaz irritants (NH_3) et des produits chimiques tels que des désinfectants, des métaux lourds, des pesticides et des antibiotiques. Les fientes, particulièrement sèches en élevages avicoles, constituent une source importante des poussières générées.

Les particules de poussières varient en taille et en forme et peuvent être classées selon une méthode de mesure gravimétrique (Just et al., 2009). La différenciation des fractions de taille est importante dans les études de santé afin de quantifier la pénétration de poussières dans le système respiratoire. Tandis que la totalité des particules peuvent être déposées dans la région du nez et du pharynx, seules celles qui ont un diamètre aérodynamique inférieur à 15 μm peuvent pénétrer dans l'arbre trachéo-bronchique et celles qui ont un diamètre aérodynamique inférieur à 7 μm peuvent atteindre les alvéoles (Banhazi et al., 2008). Les particules dont le diamètre est inférieur à 5 μm constituent la « fraction alvéolaire ».

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). Chez l'homme, l'exposition aux poussières peut provoquer une irritation des yeux et une inflammation de l'épithélium bronchique. Le premier symptôme est la rhinite, suivie par l'installation d'une toux persistante et d'une bronchite chronique. Des cas de pneumonie et d'asthme professionnel sont également observés (Donham et al., 2000; Radon et al., 2001). De nombreuses études ont démontré les liens entre les concentrations en poussières et la santé humaine dans des industries agricoles (Donham et al., 2000 ; Radon et al., 2002). La prévalence des maladies respiratoires est tout particulièrement élevée chez les éleveurs en atmosphère confinée mais elle est supérieure chez les aviculteurs (Just et al., 2009). Bien que plusieurs pays aient proposé l'introduction de normes, aucune limite d'exposition maximale aux poussières n'a jusqu'ici été fixée dans les bâtiments d'élevage.

L'élevage de poules pondeuses a fait l'objet 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).

Ces nouveaux systèmes, en offrant aux oiseaux une plus grande mobilité, sont susceptibles d'augmenter le niveau d'empoussièrement dans l'ambiance des bâtiments. Peu de données de terrain sont disponibles pour comparer la concentration en poussières dans ces nouveaux systèmes d'élevage et la plupart d'entre elles ont été obtenues avant la mise en œuvre de la directive.

Dans ce contexte, une étude appelée « projet AIRPOUL » a été mise en place afin d'évaluer la qualité de l'air ambiant dans les différents systèmes d'élevage de poules pondeuses en France, et son impact sur la santé des éleveurs :

- Le premier volet réalisé en 2004 consistait en une étude expérimentale menée à l'AFSSA de Ploufragan (aujourd'hui Anses).
- Le second volet (appelé AIRPOUL 2) conduit en 2005-2007, visait à réaliser une enquête épidémiologique transversale, et a été mené auprès de 64 éleveurs.
- Le troisième volet AIRPOUL 3 réalisé en 2011, a été l'occasion de mener une nouvelle campagne d'étude en élevage et d'effectuer un suivi de la cohorte d'éleveurs. Les objectifs étaient d'évaluer l'impact de l'évolution des systèmes d'élevage sur l'empoussièrlement de l'air ambiant des bâtiments, et d'étudier les évolutions de l'exposition individuelle des éleveurs aux poussières et de leur santé respiratoire.

1. Population d'élevage suivie dans le cadre du projet AIRPOUL

La cohorte d'éleveurs « AIRPOUL 2 » constituée en 2006 était composée de 64 éleveurs volontaires, dont 30 équipés de poulaillers en cages et 34 de bâtiments au sol.

Parmi ceux-ci, 50 éleveurs ont accepté de participer à la campagne de mesures du 3^{ème} volet de l'étude en 2011. On dénombre ainsi quatorze bâtiments « perdus de vue » (six en cages et huit au sol) soit parce que les éleveurs ont cessé leur activité ou qu'ils ont refusé la nouvelle visite. Afin d'améliorer la représentation des nouveaux modes de logement des pondeuses (en cages aménagées ou en volières), la population d'étude a été élargie en 2011. Ainsi, quinze éleveurs de Basse-Normandie, des Pays-de-la-Loire et du Nord ont intégré l'étude en 2011, permettant le recrutement de quatre nouveaux bâtiments en cages aménagées et de huit volières. De plus, entre 2006 et 2011, onze éleveurs ont remplacé les cages conventionnelles de leur poulailler par des cages aménagées et un élevage en cages est passé en volière (Tableau 1).

Les élevages sont tous situés dans l'Ouest de la France, principale région de production d'œufs fournissant 47,3 % de la production nationale d'œufs en 2008 (Riffard, 2011). Les élevages enquêtés en 2011 reflètent l'évolution importante qu'a connue le parc de poulaillers de pondeuses français sur la période d'étude, avec notamment le développement des cages aménagées et des volières, très peu répandues en France au début de l'étude.

Tableau 1 : Répartition des systèmes d'élevage entre les deux campagnes de mesures

Nombre d'élevages	2006-2007	2011
Cage : conventionnelle	22	9
aménagée	8	19
Sol	34	26
Volières	(3)	8 + 3
Total	64	65

Lors de la campagne de 2011, un sous échantillon d'élevages a été inclus dans un suivi renforcé (2^{ème} visite d'élevage réalisée entre mai et décembre 2011), avec pour objectif d'approfondir l'étude environnementale par la description de l'évolution de l'état d'empoussièrlement de l'air ambiant au cours d'une journée. Ainsi, cet échantillon comprenait neuf poulaillers en cages et huit au sol avec parcours.

2. Les données collectées

Au cours de la campagne AIRPOUL 2, chaque élevage a été visité deux fois, une fois en période « chaude » (de mars à septembre) et une fois en période « froide » (d'octobre à février) par les enquêteurs de l'Anses et des préventeurs des services santé sécurité au travail des MSA de la région Bretagne. Une seule visite a été réalisée par élevage durant la campagne AIRPOUL 3 de 2011.

Dans chaque poulailler, la concentration ambiante en poussières alvéolaires a été mesurée à chaque visite (soit pendant une à trois journées de travail). La mesure est effectuée avec un capteur (CAP 10, ARELCO) placé à 1,5 m du sol, dans le couloir central pour les élevages en cages ou en volière et au milieu des caillebotis pour ceux au sol. La concentration en poussières est déterminée par la méthode gravimétrique à partir du volume d'air filtré. La température de l'air au niveau du capteur est enregistrée tous les quarts d'heures à l'aide d'une sonde Microlog (CIMA Technologie)

Au cours de la première visite, les caractéristiques des installations ont été relevées à l'aide d'un questionnaire standardisé constitué de 106 questions et décliné en trois versions adaptées aux élevages en cage, au sol et en volière. Outre les informations générales concernant l'exploitation et l'atelier de poudeuses, le questionnaire comportait un descriptif détaillé du bâtiment suivi, de son aménagement intérieur, de la conduite du lot en cours et de l'état de santé des animaux.

Les questionnaires ont été remplis lors des deux campagnes de mesures (AIRPOUL 2 et 3) pour tenir compte des évolutions entre 2006 et 2011. Les conditions météorologiques locales (précipitations, humidité de l'air, température minimale, maximale et moyenne) le jour des mesures ont été fournies par Météo France.

Parallèlement à la mesure d'ambiance, une mesure de poussières alvéolaires personnelles a été réalisée à l'aide d'un capteur portatif (CIP10 ARELCO) placé dans la zone de respiration de chaque éleveur. Pendant cette journée de mesure et pendant les six journées consécutives, les éleveurs ont renseigné dans un carnet Budget Espace-Temps Activité (BETA), les activités pratiquées, en précisant l'endroit dans le poulailler, sur un pas de temps de cinq minutes. Dans ce carnet, le port du masque a aussi été renseigné sur la journée de travail (tout le temps, occasionnellement, jamais).

Les données sur la santé de l'éleveur ont été recueillies par des médecins de la MSA dans le cadre d'une visite médicale. La visite comprenait le remplissage d'un questionnaire médical standardisé et des épreuves fonctionnelles respiratoires. Parmi les 63 éleveurs ayant passé la visite lors de la première campagne, 60 l'ont à nouveau passé lors de la deuxième campagne et 10 nouveaux éleveurs ont été inclus.

Les analyses statistiques faisant le lien entre le taux de poussières et les paramètres d'élevage ont été menées séparément pour les élevages en cage et au sol. Une description des données sur les poussières personnelles, les BETA et la santé des éleveurs a été réalisée dans un premier temps puis, une modélisation des facteurs prédictifs des niveaux de poussières individuelles a été réalisée à partir des jours où nous disposions des concentrations de poussières et des temps passés dans les différentes activités. La modélisation n'a pu être menée pour les éleveurs en volière car ils étaient trop peu nombreux dans l'étude.

Lors de la campagne de 2011 (AIRPOUL 3), une seconde visite d'élevage a été réalisée sur un sous-échantillon de la cohorte. 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. L'éleveur renseigne un BETA 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...).

3. Caractéristiques des élevages visités

Les bâtiments en cage se caractérisent globalement par une grande taille et un système de ventilation dynamique. Le nombre de poules par cage varie de 5 à 9 dans les cages standards et de 20 à 60 dans les cages aménagées. Dans ces dernières, les poules ont accès à des perchoirs, un nid et une aire de grattage mais ne disposent en général pas de substrat pour le picotage. Les bâtiments au sol sont plus petits que ceux en cage et disposent d'un système de ventilation naturelle. Tous sauf un ont accès à un parcours. Les volières ont une capacité et une densité d'animaux plus importantes que ceux au sol, sont plus récentes, et peuvent présenter une ventilation dynamique. Les principales caractéristiques des élevages visités en 2011 sont présentées dans le tableau ci-dessous (Tableau 2).

Tableau 2 : Principales caractéristiques des poulaillers suivis et de la conduite d'élevage selon le système d'élevage (campagne 2011).

	Cage (28 poulaillers)	Sol (26 poulaillers)	Volière (11 poulaillers)
Capacité moyenne du poulailler	38 600 poules	6 100 poules	21 000 poules
Age moyen	20 ans	20 ans	11 ans (7 bâtiments neufs et 4 rénovés)
Ventilation	Dynamique : 26 bâtiments Statique : 2 bâtiments	Statique	Dynamique : 7 bâtiments Statique : 4 bâtiments
Description aménagement	Cages aménagées : 19 bâtiments Tapis à fientes : 28 bâtiments Pré-séchage : 15 bâtiments	Parcours : 25 bâtiments 9,6 poules / m ²	Parcours : 4 bâtiments 15,8 poules / m ²
Volume air moyen	0,18 m ³ / poule	0,43 m ³ / poule	0,34 m ³ / poule

Pour les élevages inclus dans le sous-échantillon « suivi renforcé », les bâtiments en cages sont d'âge, de capacité et de conception variés mais sept sont équipés de cages aménagées (25 000 à 91 000 poules); ils disposent d'une ventilation dynamique à extraction haute ou basse et d'un système d'évacuation des fientes par tapis. Les deux bâtiments en cages conventionnelles, qui hébergent environ 19000 poules, présentent une ventilation statique par lanterneau. Au contraire, la conception et l'aménagement des poulaillers au sol (4500 à 6000 poules) sont très homogènes sauf pour un bâtiment avec un système de ventilation statique transversal alors que les autres ont un lanterneau.

4. Empoussièrement de l'air ambiant dans les différents systèmes d'élevage

4.1. Taux de poussières ambiantes et système de production

192 mesures de poussières ont été obtenues sur les deux campagnes dont 87 dans des poulaillers en cages, 91 dans les bâtiments au sol et 14 dans des volières. Les taux de poussières observés dans les élevages au sol sont supérieurs à ceux observés dans les élevages en cages (Figure 2) et leur variabilité est plus importante. Le taux de poussières tend à être plus élevé ($P=0.08$) dans les bâtiments en cages aménagées que dans les bâtiments équipés de cages conventionnelles. Le taux de poussières le plus élevé a été observé dans les volières.

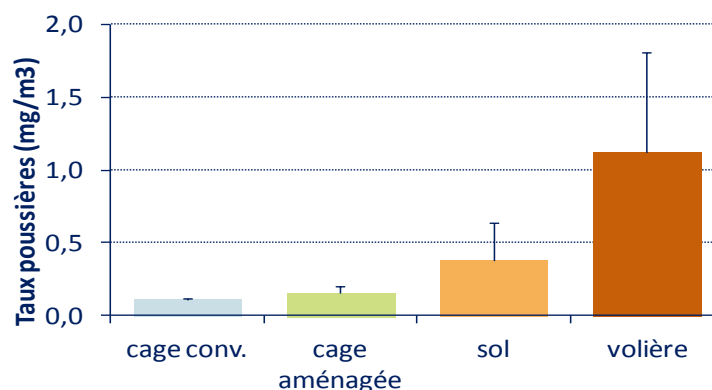


Figure 2 : Concentration ambiante moyenne ($\pm$ écart type) en poussières alvéolaires en fonction du système d'élevage (192 mesures).

4.2. Facteurs influençant le taux de poussières ambiantes

Les résultats d'empoussièrement de l'air obtenus en 2006-2007 et en 2011 ont été analysés dans chaque type d'élevage afin d'identifier les facteurs associés à une augmentation ou à une diminution du taux de poussières (Tableaux 3 et 4). Dans les élevages en cages, le taux de poussières augmente avec le nombre de poules par cage (≥ 10 poules / cage) et l'aménagement de la cage (Tableau 3).

Tableau 3 : Facteurs influençant le taux aérien de poussières alvéolaires dans les élevages en cages.

Variables	LMS $\pm$ ET / Coefficient $\pm$ ET	p
Nombre poules / cage		
[4-10[	0.089 $\pm$ 0.0004	0.01
[10-60]	0.136 $\pm$ 0.0003	
Lutte contre les poux rouges		
Oui	0.133 $\pm$ 0.0004	0.02
Non	0.091 $\pm$ 0.0003	
Durée mesures (1 h)*	-0.0006 $\pm$ 0.0001	0.01

LMS: Least Mean Square, ET: Erreur Type

Tableau 4 : Facteurs influençant le taux aérien de poussières alvéolaires dans les élevages au sol.

Variables	LMS $\pm$ ET / Coefficient $\pm$ ET	p
Apport de litière en cours de bande		
Oui	0.474 $\pm$ 0.003	0.03
Non	0.301 $\pm$ 0.003	
Température moyenne dans le poulailler (+2°C)	0.0011 $\pm$ 0.0002	0.03
Age des poules (+10 semaines)	0.0015 $\pm$ 0.0001	0.01
Durée mesures (+1 h)	-0.0002 $\pm$ 0.0001	0.01

LMS: Least Mean Square, ET: Erreur Type

Il est plus élevé dans les poulaillers où l'éleveur a mis en place un plan de lutte contre les poux rouges (traitement acaricide et/ou programme lumineux fractionné). Bien que cette variable n'ait pas été conservée dans l'analyse multivariée, le nombre de distributions d'aliment apparaît aussi associé au niveau de poussières. Quel que soit le système d'alimentation, un nombre important de distributions

serait associé à une diminution du taux de poussières. Dans les élevages au sol (Tableau 4), l'apport de litière en cours d'élevage accroît le taux de poussières, mais cette pratique demeure rare (12% des lots suivis). L'augmentation de la température moyenne à l'intérieur du poulailler et de l'âge des poules contribue aussi à une hausse du taux de poussières.

4.3. Évolution du taux de poussières ambiantes au cours d'une journée

Le taux de poussières ambiantes est en moyenne supérieur dans les élevages au sol par rapport à ceux en cages sur l'ensemble de la journée, ce qui confirme les résultats obtenus sur les concentrations moyennes en poussières alvéolaires. Ce phénomène est cependant surtout constaté lorsque les lumières sont allumées et dépend également du programme lumineux. Ainsi la concentration en poussières est 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. Si le type de programme lumineux semble influencer l'empoussièrement ambiant, les concentrations moyennes en poussières sur 24 heures ne sont pas significativement différentes entre les poulaillers en programme continu et ceux en programme lumineux fractionné. 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 3). La variabilité des mesures est très élevée soulignant des différences importantes entre les bâtiments, surtout pendant la journée.

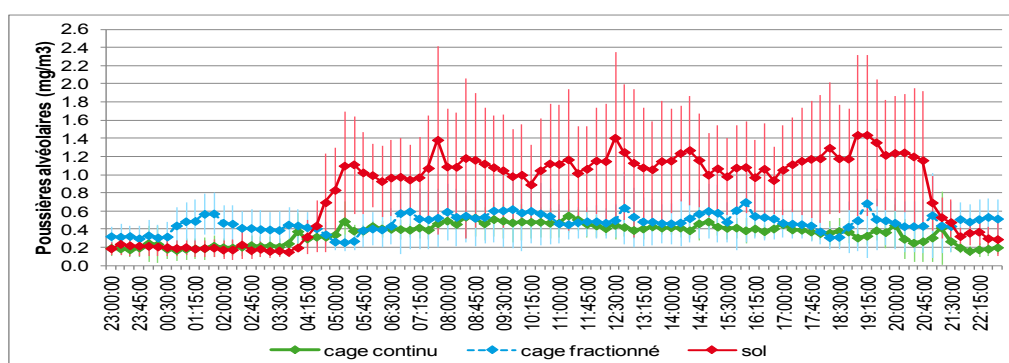


Figure 3 : Evolution sur 24 heures du taux de poussières alvéolaires moyen ($\pm$ IC95%) dans les élevages au sol ($n=7$) et dans les élevages en cages pratiquant un programme lumineux continu ($n=3$) ou un programme lumineux fractionné ($n=5$).

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).

4.4. Évolutions ponctuelles du taux de poussières ambiantes dans les élevages

En élevage en cages, le taux de poussières ambiant augmente très significativement durant le quart d'heure (+ 98% en moyenne, $P<0,04$) et même la demi-heure (+65% en moyenne, $P=0,01$) suivant l'allumage des ampoules ; il décroît ensuite progressivement pour se stabiliser à un niveau en moyenne supérieur à celui observé durant la période non éclairée. L'extinction des lumières n'entraîne pas de modification brutale du taux de poussières ambiantes dans le quart ou la demi-heure qui suivent : la diminution est généralement plus lente et on observe même dans certains élevages une augmentation ponctuelle autour de l'extinction des lumières.

De même, en élevage au sol, l'allumage des néons s'accompagne dans tous les élevages d'une forte augmentation de la concentration moyenne en poussières (+330%, $p=0,03$ dans la demi-heure suivant

l'allumage). L'extinction des lumières n'est pas associée à une chute brutale de l'empoussièrement mais la concentration en poussières diminue progressivement.

Dans les élevages en cages, les distributions d'aliment s'accompagnent en moyenne d'une augmentation significative de 58% du taux de poussières dans le quart d'heure suivant et de 34% sur l'ensemble de la demi-heure qui suit la mise en marche des chaînes ou des chariots. Cependant, le taux de poussières moyen mesuré sur l'ensemble de la journée n'est pas corrélé au 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. Dans les élevages au sol, on constate par ailleurs des variations brutales sur moins d'une heure (pics) de l'empoussièrement dans la majorité des élevages sans qu'un lien direct puisse toujours être fait avec des événements survenus au cours de la journée (alimentation, allumage/extinction, ouverture des trappes du parcours et de ventilation, passage de l'éleveur).

Dans les élevages en cages, l'éleveur a été présent dans la salle d'élevage moins de 10% du temps sur les 24 heures de mesure. De facto, la présence de l'éleveur correspond à des périodes éclairées avec un taux de poussières moyen plus élevé. Dans certains élevages, 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. 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 ($0,417 \pm 0,147 \text{ mg/m}^3$).

Dans les élevages au sol, les éleveurs ont été présents dans la salle d'élevage environ 10% du temps des mesures mais cette proportion monte à 13% dans les trois élevages où les œufs sont ramassés manuellement contre 6% dans ceux équipés d'un système de ramassage automatique. La moitié du temps de travail dans la salle d'élevage est dédiée au ramassage des œufs (pondus au nid ou au sol) et des poules mortes, un tiers aux contrôles visuels des animaux et du matériel et le reste aux interventions sur les trappes du parcours et au nettoyage. Le taux de poussières ambiant ne varie pas significativement lorsque l'éleveur est présent dans l'élevage par rapport au reste de la journée et ne dépend pas non plus du type d'activité pratiquée. Cependant, on constate que certains pics de poussières coïncident avec le ramassage des œufs et le passage de l'éleveur parmi les poules mais cette relation n'est pas systématique. L'évolution diurne du taux de poussières dans les élevages au sol est donc marquée par une forte variabilité qu'il n'a pas toujours été possible de relier aux événements relevés dans les questionnaires.

4.5. Discussion sur l'étude environnementale

Les résultats sur les concentrations de poussières ambiantes mettent en évidence l'influence primordiale du système d'élevage sur la concentration en poussières des bâtiments d'élevage. En effet, les niveaux de poussières ambiantes dans les systèmes au sol sont significativement plus élevés et plus variables que dans les cages. Cette différence est rapportée depuis longtemps (Takai et al., 1998) mais les études récentes comme AIRPOUL montrent que la teneur en poussières demeure toujours supérieure dans les élevages au sol, même en comparaison de ceux en cages aménagées. Les volières ont présenté les concentrations les plus élevées en poussières. De nombreuses pratiques d'élevage diffèrent entre tous ces systèmes, mais la présence de litière est le premier facteur discriminant. Plusieurs études ont montré des concentrations en poussières inhalables significativement plus élevées dans les élevages de poulets de chair que dans ceux de poules pondeuses (Seedorf et al., 1998 ; Ellen et al., 2000). Banhazi et al. (2008) ont démontré que 60% des particules de poussières en suspension sont composées de litière dans les bâtiments avec litière, alors qu'elles sont composées à 80% de particules alimentaires dans les bâtiments en cages.

Dans les élevages en cages, l'aménagement et surtout l'augmentation de la taille de groupe sont associés à une augmentation du niveau de poussières ambiantes. Ces deux caractéristiques sont étroitement liées et inhérentes au principe de la cage aménagée. L'augmentation de la taille de groupe

est favorable à la mobilité des poules et augmenterait ainsi le taux de poussières dans l'air. Il a été aussi démontré qu'augmenter le nombre de poules par cage aménagée, même à densité constante, stimule le perchage (Guinebretière et al., 2011). L'ajout de perchoirs favorise les mouvements comme le battement d'aile et le toilettage des plumes. La réglementation européenne sur les systèmes de logement des poules (directive européenne 1999/74/CE) prévoit par ailleurs que les cages doivent être équipées d'un système de distribution de substrat friable pour leur permettre de picorer et de gratter. Dans les élevages visités, ce système de distribution n'étant pas opérationnel, nous n'avons pu évaluer l'impact de ce dispositif sur le taux de poussières ambiantes mais il est probable qu'il aurait encore entraîné une hausse du taux de poussières.

D'autres pratiques d'élevage influencent également le niveau de poussières, comme en témoigne l'impact de la fréquence de distribution des aliments et de la mise en œuvre d'un plan de lutte contre les poux rouges (*Dermanyssus gallinae*).

Indépendamment du type de système de distribution, une distribution d'aliment s'accompagne dans la plupart des élevages d'un pic ponctuel du taux de poussières dans l'air : ce peut être dû à la mise en suspension de particules d'aliment lors de la distribution et aux mouvements des poules allant à la mangeoire. L'augmentation du taux de poussières dans l'air lors des distributions a déjà été décrite (Guarino et al., 1999) et ces distributions peuvent donc constituer des périodes à risque pour l'exposition des animaux et des éleveurs aux aérosols. Paradoxalement, l'augmentation du nombre de distributions d'aliment par jour est associée à une diminution du taux de poussières ambiant mesuré sur l'ensemble de la journée. Il apparaît donc nécessaire de dissocier l'augmentation ponctuelle du taux de poussières lors de la mise en route du système d'alimentation de l'effet du nombre de repas sur l'empoussièrément à l'échelle d'une journée : augmenter la fréquence des distributions alimentaires pourrait permettre de réduire l'ampleur des pics d'empoussièrément générés par le mouvement des poules au moment des repas.

La présence de poux rouges, à un niveau justifiant une lutte spécifique, provoque certainement une nervosité des animaux impliquant un toilettage accru, favorable à la mise en suspension des poussières (Kilpinen et al., 2005). Une augmentation de la fréquence de distribution des aliments est *a contrario* associée à une réduction des niveaux de poussières. Si la distribution d'aliment augmente l'activité des animaux et conduit à des pics de poussières (Huneau - Salaün et al, 2012), des distributions plus fréquentes diminueraient la période de jeûne et permettraient de limiter l'excitation des oiseaux au moment de la distribution.

Dans les systèmes au sol, les niveaux de poussières augmentent avec l'âge des animaux. Ceci est vraisemblablement lié à une accumulation de poussières sédimentées au cours du temps, le nettoyage de la salle d'élevage étant difficile en présence des poules. Les poussières sédimentées peuvent être remises en suspension par les mouvements d'air des animaux et les interventions de l'éleveur. Ce phénomène est d'autant plus marqué que l'air est sec et chaud (Gustafsson, 2006) ce qui peut expliquer que le taux de poussières augmente avec la température dans ces élevages. L'ajout de litière en cours de bande est associé à une détérioration de la qualité de l'air : il est probable que la couche de litière soit plus importante dans ces élevages mais cette pratique demeure très rare.

Parmi les autres pratiques d'élevage étudiées, le programme lumineux paraît avoir un impact sur l'empoussièrément de l'air dans les élevages en cage. Si la concentration moyenne en poussières est comparable sur 24 heures quel que soit le programme lumineux utilisé, le fractionnement de l'éclairage en plusieurs périodes modifie l'évolution du taux de poussières : il est plus élevé entre 22h00 et 6h00 quand il y a une à deux périodes éclairées par rapport au programme continu sans aucune lumière sur cette même tranche horaire. En outre, il a été démontré dans tous les élevages que l'allumage des ampoules s'accompagne d'un pic d'empoussièrément : le fractionnement, en multipliant le nombre d'allumage par jour, pourrait augmenter l'exposition à des concentrations de poussières élevées des animaux et éventuellement de l'éleveur. Par ailleurs, le fractionnement de l'éclairage est une méthode

qui peut être employée pour limiter l'infestation des poules par les poux rouges : ceci pourrait expliquer l'association observée entre la pratique d'une lutte contre les poux et l'augmentation du taux de poussières dans l'air. Cependant, seuls 10% des éleveurs interrogés ont expliqué utiliser le fractionnement lumineux spécialement pour lutter contre les poux. En effet, ce type de programme peut être aussi employé pour réguler la prise alimentaire des poules ou améliorer la qualité de la coquille. La relation entre ces deux pratiques d'élevage n'est donc pas établie, les éleveurs employant plus souvent des acaricides pour lutter contre les poux qu'un programme lumineux fractionné.

Le faible nombre de mesures dans le suivi continu a rendu difficile la mise en relation de l'évolution du taux de poussières avec les activités de l'éleveur, d'autant plus que les éleveurs étaient globalement peu présents dans la salle d'élevage durant la journée. Le ramassage des œufs coincés dans les cages et des poules mortes s'est avéré l'activité ayant le plus d'impact sur l'empoussièrement de l'air, certainement à cause du dérangement des poules causé par l'intervention de l'éleveur à l'intérieur de la cage.

En outre, le faible nombre de volières n'a pas permis de conduire une analyse aussi poussée des facteurs influençant les niveaux de poussières ambiantes. Dans l'étude suédoise de Nimmermark et al. (2009), la concentration en poussières dans l'air des volières était plus de trois fois inférieure à celle observée dans les élevages au sol. Ce résultat tendrait à prouver que la qualité de l'air obtenue dans nos volières peut être améliorée. Ce système étant encore peu développé en France, une marge de progrès est probablement envisageable.

5. Exposition individuelle aux poussières et santé des éleveurs

5.1. Caractéristiques et santé des éleveurs

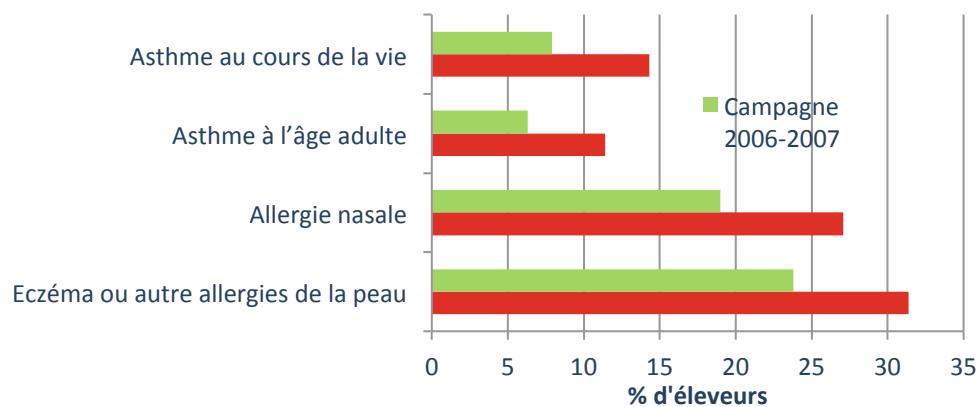
Les caractéristiques générales des éleveurs inclus lors de la campagne 2011 sont présentées dans le Tableau 6. La majorité sont des hommes âgés en moyenne de 47 ans, les quelques éleveurs en volière sont en moyenne un peu plus jeunes. 17 % sont fumeurs contre 24 % lors de la campagne 2006-2007. 56 % pratiquent une activité sportive contre 48 % lors de la campagne précédente. Au niveau professionnel, même si des différences sont observées selon le type d'élevage, ce sont surtout des exploitants avec une forte ancienneté professionnelle dans le domaine agricole.

Les examens médicaux de 2006-2007 et de 2011 font clairement apparaître une augmentation de la fréquence des maladies allergiques, notamment de l'asthme, entre les deux périodes (Figure 4). En 2011, cinq nouveaux professionnels se plaignent d'asthme. Par contre, on constate une tendance à la diminution de certains symptômes respiratoires (comme les expectorations) entre les deux phases de l'étude. En 2011, 7,1% des éleveurs souffrent de toux, 4,3 % d'expectorations, 13 % de sifflements et 14,3 % d'essoufflements lors d'efforts intenses. Ces chiffres en 2006-2007 étaient respectivement de 7,9 %, 9,5 %, 13 % et 22 %. De même, concernant la fonction pulmonaire, une tendance à une légère augmentation des différents indices standardisés sur la taille, l'âge et le sexe est observée entre les deux phases. En revanche, le pourcentage de professionnels ressentant des symptômes lors de manipulations (végétaux, animaux, déjections, produits) lors du travail passe de 60 % à 66 %, les ennuis les plus fréquents étant les étouffements, la toux, suivis des gênes respiratoires et sont davantage observés en cas de présence de maladies allergiques. Les effectifs relativement faibles ne permettent pas de comparer les prévalences de maladies en fonction des systèmes d'élevage. Pour les indices de la fonction pulmonaire, les valeurs ne sont pas différentes selon les systèmes d'élevage.

Tableau 6 : Caractéristiques des éleveurs (campagne 2011).

	Cage (n=32)	Sol (n=32)	Volière (n=6)	Total (n=70)
Age (moyenne (écart-type))	47,6 (7,5)	47,8 (8,0)	43,5 (10,6)	47,3 (8,0)
Sexe (n (%))				
- hommes	26(81,3)	13(40,6)	3(50,0)	42 (60)
- femmes	6(18,7)	19(59,4)	3(50,0)	28 (40)
Tabagisme (n (%))				
- fumeurs	5(15,6)	6(18,8)	1(16,7)	12 (17,1)
- ex-fumeurs	4(12,5)	7 (21,9)	0(0,0)	11 (15,7)
- non-fumeurs	23(71,9)	19 (59,4)	5(83,3)	47 (67,1)
Loisirs sportifs (n (%))	18 (56,3)	19 (59,4)	2 (33,3)	39 (55,7)
Statut professionnel (n (%))				
- exploitant	23(71,9)	29(90,6)	3(50,0)	55 (78,6)
- salarié	9(28,1)	3(9,4)	3(50,0)	15 (21,4)
Activités uniquement agricoles* (n (%))	10 (31,3)	11 (34,4)	3(50,0)	24 (34,3)
Nombre d'année (moyenne (écart-type))				
- total dans l'agriculture	23,2 (10,4)	22,5 (9,1)	20,5 (12,8)	22,7 (9,9)
- Dans l'élevage actuel	19,7 (10,1)	17,2 (8,3)	13,0 (14,2)	18,0 (9,8)

* au cours de la vie

**Figure 4 :** Prévalences des maladies allergiques au cours des deux campagnes.

5.2. Activités et exposition des éleveurs

L'étude des BETA sur les deux campagnes (417 journées de travail), montre que le temps journalier moyen passé dans l'élevage est de 5 heures en cage, 4 heures 50 minutes en volière et 3 heures 50 minutes au sol. Les professionnels travaillent principalement dans le local à œufs et la salle d'élevage, les activités étant très diversifiées dans cette dernière, particulièrement au sol (Figure 5). La plus pratiquée de ces activités est le ramassage manuel (œufs et/ou poules des mortes) quel que soit le type d'élevage (30 à 70 min en moyenne par jour). Le temps consacré aux contrôles y est également important particulièrement dans les élevages en cage, de même pour le travail sur les fientes dans les élevages en cage et en volière.

A la fin de chacune de ces journées de travail, les professionnels ont renseigné le port du masque (sans spécification du type) : 2 % déclarent l'avoir porté en permanence durant la journée en 2011 contre 5 % en 2006-2007 ; 35 % déclarent ne jamais l'avoir porté durant la journée contre 24 % en 2006-2007.

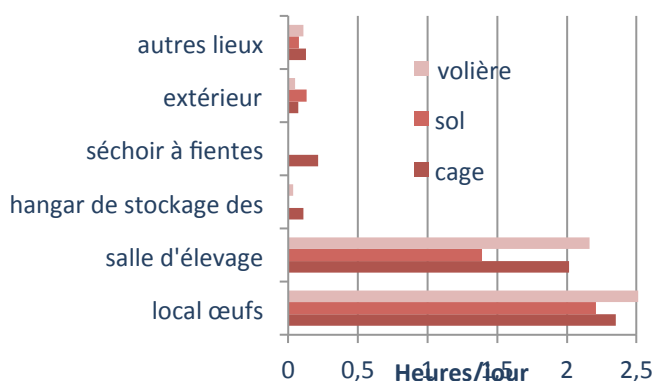


Figure 5 : Temps moyens passés dans les différents lieux de travail en fonction du système d'élevage.

L'exposition personnelle aux poussières alvéolaires, mesurée en 2011 est présentée en Figure 6. Cette exposition est nettement plus élevée dans les volières que dans les deux autres types d'élevage (3 fois plus qu'au sol, plus de 2 fois plus qu'en cage). Au sol et en volière, ces concentrations personnelles ne sont pas en moyenne différentes de celles mesurées dans l'ambiance des bâtiments. Par contre, en cage, les concentrations personnelles sont près de trois fois plus élevées en moyenne que celles dans l'ambiance. Ce constat était déjà observé en 2006-2007. En cage, toujours, les concentrations de poussières sont plus élevées en 2011 qu'en 2006-2007, et particulièrement les concentrations personnelles (0,402 mg/m³ vs. 0,234 mg/m³) qui sont désormais plus élevées que celles mesurées dans les élevages au sol (0,297 mg/m³ en 2011 vs. 0,299 mg/m³ en 2006-2007). Ce dernier résultat pourrait être lié au développement des cages aménagées entre les deux campagnes.

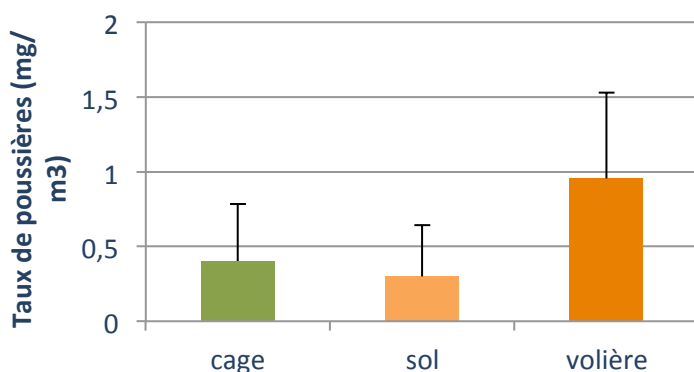


Figure 6 : Concentrations moyennes en poussières alvéolaires personnelles selon le système d'élevage (données 2011).

5.3. Liens entre exposition et santé des éleveurs

Les liens entre santé respiratoire et indicateur d'exposition moyenne personnelle ont été étudiés dans des modèles statistiques mêlant les données sanitaires des deux campagnes (en tenant compte de la corrélation des réponses d'un même professionnel lors des deux campagnes). Dans ce modèle, il a été tenu compte de l'âge, du sexe, du tabagisme, de l'ancienneté professionnelle dans le milieu agricole, des maladies allergiques (variables d'ajustement, connue pour avoir une influence sur la santé respiratoire).

Les résultats montrent que les risques de souffrir de toux (le jour ou la nuit, ou de manière chronique), de sifflements, d'essoufflements au repos augmentent de manière significative avec l'exposition aux poussières personnelles (quel que soit le système d'élevage) (Tableau 7).

L'asthme et les allergies nasales ne sont pas significativement liés aux poussières ; par contre, ils sont associés à un certain nombre de symptômes respiratoires comme la toux, les expectorations, les sifflements, tout comme le tabagisme.

Concernant la fonction respiratoire, tous les résultats ne vont pas dans le sens attendu, mais un lien significatif entre l'exposition et la capacité vitale forcée est observé en phase 1 uniquement. Chez les femmes, on observe une diminution (à la limite de la signification) des débits dans les petites bronches (DEM25, et DEM médian) en relation avec l'exposition. Par contre, pour tous les indices, une baisse significative de la fonction respiratoire est observée chez les professionnels souffrant d'allergies. Le tabagisme affecte aussi la fonction à travers certains indices caractérisant le fonctionnement des petites bronches.

Tableau 7 : Augmentation du risque de symptômes pour une augmentation de 0,1 mg/m³ de poussières personnelles.

Symptômes respiratoires	Augmentation du risque
Toux le jour ou la nuit	+ 16 %
Toux chronique	+ 12 %
Sifflements*	+ 54 %
Essoufflements au repos	+ 6 %

*risque chez les éleveurs avec moins de 22 ans d'ancienneté

Le projet AIRPOUL a permis d'évaluer de manière approfondie l'état de santé d'éleveurs de poules pondeuses, et pour la plupart des éleveurs, deux évaluations à trois ans d'intervalle ont pu être conduites. Les faibles effectifs rendent difficiles les comparaisons de prévalences d'affections respiratoires entre les systèmes d'élevage. Ceci est possible pour les valeurs des indices caractérisant la fonction pulmonaire, mais aucune différence n'est observée. Des études antérieures canadiennes avaient montré une baisse de la fonction respiratoire chez des éleveurs en cage (n=122) en comparaison avec des éleveurs au sol (n=181), baisse significative après ajustement sur l'âge, le sexe, le tabagisme (Kiryck et al., 2003). Par contre, pour les symptômes respiratoires chroniques, les comparaisons avec des données en population générale française montrent lors des deux campagnes que les fréquences de certains symptômes sont plus élevées, chez les éleveurs, confirmant ce qui est déjà bien connu (Kogevinas et al., 1999 ; Omland, 2002 ; Huchon et al., 2002).

Un des objectifs importants de cette étude était d'étudier les liens entre santé respiratoire et exposition personnelle aux poussières à moyen terme. Cet objectif a été affecté par des évolutions entre les deux campagnes :

- des évolutions « positives » de certains comportements : baisse du tabagisme et augmentation des pratiques sportives, qui expliquent sans doute en grande partie les baisses de prévalences de certains symptômes respiratoires. Par ailleurs, les éleveurs ont été sensibilisés à la problématique santé/poussières et plus généralement santé depuis leur inclusion en 2006 dans cette étude. Cette sensibilisation a pu se traduire par divers comportements protecteurs (les résultats sur le port du masque durant les journées étudiées ne vont cependant pas dans ce sens).
- des évolutions « négatives » de certains paramètres de santé : augmentation des prévalences de maladies allergiques, maladies dont certains symptômes peuvent recouper ceux d'affections respiratoires non allergiques (par exemple la toux).

Ces évolutions n'ont pas permis d'étudier les relations entre l'exposition aux poussières et les nouveaux événements de santé survenus entre les deux campagnes. En revanche, l'analyse globale des données recueillies permet d'augmenter la puissance statistique de l'étude et ainsi, le risque de certains

symptômes apparaît bien augmenté avec les niveaux de poussières personnelles, parmi lesquels la toux chronique. Ce symptôme présente un risque d'évolution vers la bronchite chronique obstructive bien caractérisée chez les professionnels de l'élevage (Omland, 2002 ; Guillam et al., 2007). Les résultats sont moins nets pour la détérioration de la fonction respiratoire, pour laquelle d'autres travaux ont mis en évidence une relation dose / réponse avec les niveaux de poussières chez les aviculteurs mais aussi les porchers (Donham et al., 1995 ; Donham et al., 2000). Le tabagisme est ici associé à des risques plus élevés de symptômes respiratoires et de détérioration de la fonction pulmonaire, ce qui est en cohérence avec ce qui a déjà été amplement montré. De plus, dans cette étude, les risques de symptômes respiratoires et détérioration de la fonction pulmonaire apparaissent significativement augmentés en présence de maladies allergiques, asthme et allergie nasale. La problématique des allergies dans le milieu avicole est bien connue. Des substances « asthmatogènes » ont été décrites, notamment les acariens de stockage (revue par le HSE en 2002). Il est aussi admis que les poussières dans ces élevages agissent sur la santé par divers mécanismes (allergiques, inflammatoires). Lors de la première campagne, des tests de sensibilisation à des allergènes avaient été effectués (Guillam et al., 2013). 25 % des professionnels étaient sensibilisés (i.e. atopiques) à au moins un des allergènes testés (acariens des maisons, chat, chien, graminées, *Aspergillus*, *Alternaria*, *Cladosporium*) ; parmi eux, 21 % étaient sensibilisés aux acariens dits de maison, les acariens de stockage n'ayant pas été inclus. L'augmentation des affections allergiques, dont l'asthme mais aussi les allergies nasales, entre les deux phases est conséquente et nécessiterait des approfondissements. En effet, les tests allergiques cutanés n'ont pas été refaits lors de la deuxième campagne, et ainsi les données analysées reposent uniquement sur du déclaratif ce qui constitue une des limites de l'étude.

Conclusion

Le système de logement des poules a un fort impact à la fois sur la teneur en poussières de l'air. Dans les élevages en cages, le passage aux cages aménagées, plus grandes que les cages conventionnelles, favorise la mobilité des poules et donc la mise en suspension des poussières. Il semble alors important de limiter au maximum les sources de perturbation des oiseaux. Dans les poulaillers au sol, limiter l'apport de substrat et pratiquer un nettoyage adéquat et régulier par aspiration en cours de bande pourraient contribuer à limiter cet empoussièrement.

L'exposition individuelle des éleveurs varie selon le type d'élevage et confirme les effets délétères des poussières d'élevage sur la santé des éleveurs. Les prévalences de symptômes respiratoires sont élevées, par rapport à celles observées dans la population générale. Plus l'exposition aux poussières est élevée, plus les symptômes respiratoires sont présents. Les prévalences d'affections allergiques sont également importantes, et ont augmenté entre les deux phases de l'étude. Sur cette problématique des relations entre affections allergiques et exposition aux poussières d'élevage, de nouvelles explorations seraient souhaitables dans cette population d'éleveurs.

L'évolution actuelle des élevages vers des systèmes où l'empoussièrement de l'air est plus difficile à maîtriser justifie une sensibilisation accrue des éleveurs aux sources potentielles d'exposition élevée et aux moyens de s'en protéger, tel que le port du masque.

Remerciements

Les auteurs remercient tous les éleveurs et organisations de production qui ont collaboré à cette étude. Nous remercions les médecins et personnels des Mutualités sociales agricoles des Portes d'Armorique et des Portes de Bretagne pour la réalisation des visites médicales. Le projet AIRPOUL a bénéficié du soutien financier de la région Bretagne dans sa première phase, puis dans la seconde phase menée par l'Unité Mixte Technologique SANIVOL, de celui du ministère de l'Agriculture (AAP CAS DAR 10/1006).

Références bibliographiques

- Banhazi T.M., Seedorf J., Laffrique M., Rutley D.L., 2008. Identification of the risk factors for high airborne particle concentrations in broiler buildings using statistical modelling. *Biosystems Engineering* 101, 100-110.
- Cambra-Lopez M., Aarnink A.J.A., Zhao Y., Calvet S., Torres A.G., 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems: A review of an air pollution problem. *Environ. Poll.* 158, 1-17.
- Donham K.J., Cumro D., Reynolds S.J., Merchant J.A., 2000. Dose-response relationships between occupational aerosol exposures and cross-shift declines of lung function in poultry workers: recommendations for exposure limits. *J Occup Environ Med.* 42(3), 260-269.
- Donham K.J., Reynolds S.J., Whitten P., Merchant J.A., Burmeister L., Pependorf W.J., 1995. Respiratory dysfunction in swine production facility workers: dose-response relationships of environmental exposures and pulmonary function. *Am J Ind Med.* 27(3), 405-418.
- Ellen H.H., Bottcher R.W., von Wachenfelt E., Takai H., 2000. Dust levels and control methods in poultry houses. *Journal of Agricultural Safety and Health* 6 (4), 275-282.
- Guarino, M., Caroli, A., Navaretto, P. 1999. Dust concentration and mortality distribution in an enclosed laying house. *Trans. Am. Soc. Agric. Engineers* 42(4), 1127-1133.
- Guillam M.T., Claude C., Dewitte J.D., Michel V., Ségala C., 2007. Aérocontaminants et morbidité chez les éleveurs de volaille. *Archives des maladies professionnelles et de l'environnement* 68, 161-168
- Guillam M.T., Pédrone G., Le Bouquin S., Huneau A., Gaudon J., Leborgne R., Dewitte J.D., Ségala C., 2013. Chronic respiratory symptoms of poultry farmers and model-based estimates of long-term dust exposure. *Ann Agric Environ Med.* 20(2), 307-311.
- Guinebretière M., Huonnic D., Huneau-Salaün A., Michel V., 2011. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France.
- Huchon G., Vergnenegre A., Neukirch F., Bami G., Roche N., Preux PM, 2002 Chronic bronchitis among French adults: high prevalence and underdiagnosis. *Eur Respir J.* 20, 806-812.
- Huneau-Salaün, A., Rousset N., Balaine L., Homo N., Aubert C., Le Bouquin S., 2012. Daily variations of dust concentration in the air of poultry houses for laying hens. *Proc. Emission of gas and Dust from Livestock*, Saint Malo, France.
- Just N., Duchaine C., Singh B., 2009. An aerobiological perspective of dust in cage-housed and floor-housed poultry operations. *Journal of Occupational Medicine and Toxicology* 4, 1-13.
- Kilpinen O., Roepstorff A., Permin A., NorgaardNielsen G., Lawson L.G., Simonsen H.B., 2005. Influence of *Dermanyssus gallinae* and *Ascaridia galli* infections on behaviour and health of laying hens (*Gallus gallus domesticus*) *Br. Poult. Sci.* 46, 26-34.
- Kirychuk S, Senthiselvan A, Dosman JA, Juorio V, Feddes JJ, Willson P, Classen H, Reynolds SJ, Guenter W, Hurst TS, 2003 Respiratory symptoms and lung function in poultry confinement workers in Western Canada. *Can. Respir. J.* 10, 375-380.
- Kogevinas M., Antó J.M., Sunyer J., Tobias A., Kromhout H., Burney P., 1999. Occupational asthma in Europe and other industrialised areas: a population-based study. *European Community Respiratory Health Survey Study Group. Lancet* 353(9166), 1750-1754.
- Nimmermark S., Lund V., Gustafsson G., Eduard W., 2009. Ammonia, dust and bacteria in welfare-oriented systems for laying hens. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 16, 103-113.
- Omland Ø., 2002. Exposure and respiratory health in farming in temperate zones--a review of the literature. *Ann Agric Environ Med.* 9(2), 119-136.
- Radon K., Danuser B., Iversen M., Monso E., Weber C., Hartung J., Donham K.J., Palmgren U., Nowak D., 2002. Air contaminants in different European farming environments. *Annals of Agricultural and Environmental Medicine* 9, 41-48.
- Radon K., Weber C., Iversen M., Pedersen S., Nowak D., 2001. Exposure assessment and lung function in pig and poultry farmers - *Occupational Environmental Medicine* 58, 405-410.

Riffard, C. Les élevages de poules pondeuses en France en 2008. Etat des lieux et perspectives d'évolution. 2011. Proc. 9èmes Journées de la Recherche Avicole, Tours, France

Seedorf, J., Hartung J., Schröder M., Linkert K.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.W., Short J.L., White R.P., Pedersen L.J., Takai H., Johnsen J.O., Metz J.H.M., Groot Koerkamp P.W.G., Uenk G.H., Wathes C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne endotoxins and microorganisms in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 97-109.

Takai H., Pedersen S., Johnsen J.O., Metz J.H.M., Groot Koerkamp P.W.G., Uenk G.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.W., Short J.L., White R.P., Hartung J., Seedorf J., Schröder M., Linkert K.H., Wathes C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *Journal of Agricultural Engineering Research* 70, 59-77.

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)