

Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers

Solène LAGADEC (1), Nadine GUINGAND (2), Pauline TRUCHEAU (1), Léa GABRYSIK (2),
Laure GUINOT (1), Mélynda HASSOUNA (3)

(1) Chambre d'agriculture de Bretagne, Rond point Maurice Le Lannou, 35042 Rennes Cedex, France

(2) IFIP Institut du porc, Domaine de la Motte, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

(3) INRA AgroCampus Ouest UMR SAS, 65 rue de St Brieuc, 35000 Rennes, France

Solene.lagadec@bretagne.chambagri.fr

*Avec la collaboration de Erwan Bleunven, Cyrielle Delage, Adrien Guiriaboye, Guillaume Goizin, Paul Landrain,
Delphine Loiseau, Pascal Quenouault, Romain Richard et Arthur Vannier*

Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers

L'air des bâtiments d'élevage contient une large variété de polluants aériens (particules, gaz, bactéries, champignons) qui, à des teneurs élevées, peuvent avoir un impact sur la santé du travailleur. Parmi les différentes tâches réalisées en élevage porcin, l'alimentation des porcelets en post-sevrage (ALIM) et le tri des porcs charcutiers (TRI) font partie des plus exposantes aux gaz et particules. L'objectif de cette étude est de caractériser l'exposition des travailleurs dans ces situations afin de préciser les facteurs de sa variabilité et d'identifier les paramètres permettant une moindre exposition. Pour cela, des mesures ont été réalisées dans 20 élevages bretons au cours de deux périodes climatiques contrastées (chaude vs froide) afin d'intégrer l'effet saison. Les teneurs en ammoniac dans l'air ambiant ont été mesurées au moyen de tubes colorimétriques (Dräger), les concentrations en particules PM_{2,5} (particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm) par un compteur de poussières (GRIMM G1.109, Intertek). Les teneurs moyennes en ammoniac sont de 9 ± 8 ppm lors de l'alimentation en post-sevrage et de 14 ± 9 ppm lors du tri des porcs charcutiers. Les concentrations en particules PM_{2,5} sont de 153 412 ± 48 870 particules/L et de 214 688 ± 112 464 particules/L respectivement, au moment de l'alimentation en post-sevrage et du tri des porcs charcutiers. Les concentrations massiques en particules PM_{2,5} sont de 113 ± 50 µg/m³ et de 223 ± 131 µg/m³, respectivement au moment de l'alimentation en post-sevrage et du tri des porcs charcutiers. Ces résultats présentent une forte variabilité, montrant ainsi une différence élevée d'exposition des travailleurs entre élevages au moment de la réalisation de ces tâches ; les principaux facteurs de variation identifiés sont liés à la gestion de l'ambiance et la gestion des déjections.

Exposure of workers to ammonia and particulates during piglet feeding and fattening pig sorting

In livestock buildings, ambient air contains a wide variety of airborne pollutants (particulates, gases, bacteria, fungi) that, at high levels, can have an impact on the worker's health. Among the different tasks carried out by workers in pig farm, the feeding of post-weaning piglets (ALIM) and the sorting of fattening pigs (TRI) are among the most exposed to gases and particles. The objective of this study is to characterize the exposure of workers at the time of these tasks in order to define the factors of variability and identify the parameters allowing a reduced exposure. To do this, measurements were carried out in 20 pig farms from Brittany during two contrasting climatic periods (hot vs cold) in order to take into account the season effect. Ammonia concentrations in ambient air were measured using colorimetric tubes (Dräger) and particulate PM_{2,5} (particles with an aerodynamic diameter of less than 2.5 µm) by a dust meter (GRIMM G1.109, Intertek). Respectively for piglet feeding and pig sorting, mean ammonia contents were 9 ± 8 ppm and 14 ± 9 ppm; PM_{2,5} particle number concentrations were 153,412 ± 48,870 / L and 214,688 ± 112,464 / L ; last, mass concentrations of PM_{2,5} particles were 113 ± 50 µg / m³ and 223 ± 131 µg / m³. These results show a high variability, attesting a high difference in exposure between farms when workers carrying out these tasks. Finally, the main factors of variation identified are related to the management of the air quality and the manure.

INTRODUCTION

L'air des bâtiments d'élevage contient une large variété de polluants aériens, notamment des particules fines et de l'ammoniac (NH_3) qui, à des teneurs élevées, peuvent avoir un impact sur la santé des travailleurs (Monso *et al.*, 2004). Mais les éleveurs, comme leurs techniciens, ont une perception du risque sur leur santé très variable (Depoudent *et al.*, 2016., Depoudent *et al.*, 2018), ce qui nécessite auprès d'eux une sensibilisation sur ce sujet. Les particules fines sont générées par les animaux, les aliments, les effluents ; la volatilisation de l'ammoniac dans l'air est liée au stockage des effluents dans une préfosse sous le bâtiment. Avant de proposer des moyens de prévention et de protection adaptés et efficaces, il faut connaître les niveaux d'exposition et identifier les différents facteurs ayant une influence sur ces concentrations en ammoniac et en particules fines (dans notre étude, les particules $\text{PM}_{2,5}$ d'un diamètre aérodynamique inférieur à $2,5 \mu\text{m}$ sont ciblées car ce sont celles susceptibles de pénétrer profondément dans l'appareil respiratoire du travailleur).

Cette étude a été réalisée dans le cadre du projet AIR Eleveur (CASDAR 2015-2018) ; elle a consisté à (1) mesurer les concentrations en ammoniac et particules $\text{PM}_{2,5}$ de l'air dans lequel évolue le travailleur, notamment lors de tâches « exposantes » (2) identifier les facteurs qui expliquent les différences de concentrations en ammoniac et particules $\text{PM}_{2,5}$ entre salles d'élevage, pratiques et paramètres structurels de l'élevage.

Parmi les différentes tâches réalisées par le travailleur en élevage porcin, l'alimentation des porcelets en post-sevrage et le tri des porcs charcutiers sont susceptibles de favoriser la mise en suspension de particules dans un air déjà chargé en ammoniac et elles nécessitent, du moins pour le tri des porcs charcutiers, une activité physique intense du travailleur exposé. Elles sont considérées pour ces raisons comme les plus exposantes aux particules et à l'ammoniac.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. L'alimentation des porcelets en post-sevrage et le tri des charcutiers : des tâches exposantes aux gaz et particules

L'alimentation des porcelets en post-sevrage (ALIM) consiste à distribuer aux animaux un aliment sec (granulé, farine) ou en soupe ; cette distribution se fait de manière manuelle ou automatique. Dans la plupart des cas, il s'agit d'un aliment sec dont la distribution entraîne une mise en suspension importante des particules. Même si la durée de cette tâche est courte (moins d'une heure), le travailleur est susceptible d'inhaler des quantités élevées de particules fines pouvant pénétrer profondément dans son appareil respiratoire (Von Essen et Romberger, 2003) et servir de supports aux agents infectieux ou endotoxines (Fablet *et al.*, 2013).

Le tri des porcs charcutiers (TRI), dernière étape du processus de production, consiste à identifier les porcs charcutiers prêts à partir à l'abattoir et à les déplacer vers le quai d'embarquement. Cette activité expose le travailleur à la fois aux gaz et aux particules (O' Shaughnessy *et al.*, 2012). En effet, les déjections produites par les animaux et stockées sous les caillebotis émettent de l'ammoniac, gaz pouvant irriter les muqueuses (nez, gorge, bouche) et en majeure partie associé à des particules fines (Lagadec *et al.*, 2017).

Aussi, les particules, principalement issues des animaux, de l'aliment et des déjections sont présentes en concentration élevée en fin d'engraissement. Enfin, la durée de cette tâche peut atteindre 2 heures, ce qui amplifie le niveau d'exposition des travailleurs aux polluants présents dans la salle. De plus, ces tâches sont répétées régulièrement entraînant une exposition chronique des travailleurs à l'ammoniac et aux particules.

1.2. Caractérisation de l'exposition des travailleurs aux gaz et particules

Des mesures de concentrations en ammoniac et particules ont été réalisées dans 20 élevages de porcs bretons durant deux périodes de mesure (estivale et hivernale), de juin 2015 à octobre 2016. Au total, l'ambiance de 69 salles de post-sevrage et de 102 salles d'engraissement a ainsi été analysée pour caractériser l'exposition des travailleurs durant les tâches ALIM et TRI.

1.2.1. Caractérisation technique des salles

Un ensemble de paramètres techniques est enregistré pour chaque salle suivie : âge du bâtiment, surface des cases, nombre de cases par salle, type de sol, système de gestion des effluents, système de ventilation (dépression, surpression), type d'entrée d'air (plafond perforé, plafond diffuseur, champignon,...), type d'extraction (haute, basse), type d'isolant (laine de verre, polystyrène,...) ; ces descripteurs seront intégrés à l'analyse des concentrations en ammoniac et en particules afin d'identifier les facteurs pouvant expliquer les différences entre salles.

1.2.2. Mesures réalisées dans l'air ambiant

Les mesures sur l'air ambiant (en post-sevrage et en engraissement) concernent l'ammoniac et les particules.

Les concentrations en ammoniac (NH_3) dans l'ambiance sont mesurées à l'aide de tubes diffuseurs colorimétriques (Dräger). Le tube indicateur est inséré dans une pompe manuelle d'échantillonnage. La réaction chimique entre le gaz et le réactif présent dans le tube est colorimétrique et indique la concentration mesurée directement sur le tube gradué (Hassouna et Eglin, 2015). Les mesures de gaz sont réalisées de manière ponctuelle, au début et à la fin de chacune des activités, dans le périmètre du travailleur.

Les particules $\text{PM}_{2,5}$ sont mesurées en continu à l'aide d'un spectromètre optique (Grimm 11-A - Intertek) permettant d'obtenir une concentration (exprimée en nombre de particules par litre et en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) par fraction granulométrique. Une pompe à débit constant et ajusté ($1,2 \text{ L}\cdot\text{mn}^{-1}$) permet d'aspirer l'air à échantillonner au travers d'une sonde iso-cinétique pour l'acheminer jusqu'à la cellule de mesure optique. La diffraction du faisceau laser étant proportionnelle au diamètre des particules, l'analyse de l'air aspiré permet leur dénombrement par fraction granulométrique. L'appareil est positionné dans le périmètre du travailleur et les mesures sont réalisées en continu sur toute la durée de l'activité.

1.2.3. Enregistrement des paramètres d'ambiance

La température et l'hygrométrie, dans les salles et à l'extérieur, sont mesurées (thermo-hygromètres HOBO et KONRAD) à raison d'une mesure par minute du début à la fin de la réalisation de la tâche. Le thermo-hygromètre est placé dans l'ambiance à hauteur de travailleur. Les paramètres d'ambiance des salles (température de consigne, pourcentage de ventilation, plage, mini/maxi) sont relevés par les boîtiers de ventilation.

1.2.4. Enregistrement de l'activité des travailleurs

L'activité du ou des travailleur(s) au moment de l'alimentation en post-sevrage et du tri des porcs charcutiers est enregistrée en continu sur toute la durée de la tâche. Les pratiques d'alimentation (présentation et mode de distribution de l'aliment, observation des animaux) et de tri des porcs charcutiers (mode de déplacement des animaux, âge et nombre des porcs déplacés) sont enregistrées ainsi que la durée de présence de chaque travailleur.

1.3. Analyse des données

Une base de données a été créée, intégrant les mesures de particules $PM_{2,5}$ et d'ammoniac, les caractéristiques des salles suivies et la durée des tâches. Les données ont ensuite été traitées (logiciel R) par une analyse de la variance avec interaction. Les facteurs pris en compte dans l'analyse sont : élevage, taille de l'élevage, saison, température et hygrométrie intérieures et extérieures, taux de ventilation, type de ventilation, type d'extraction de l'air, type d'entrée d'air, type d'isolant, fréquence d'évacuation des déjections, système d'évacuation des déjections, âge des bâtiments, pratiques du travailleur spécifiques à chacune des tâches.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Caractéristiques de l'échantillon

Les 20 élevages enquêtés sont situés en Bretagne dans les départements du Finistère (12), des Côtes d'Armor (5) et d'Ille et Vilaine (3). Ils sont de type naisseur-engraisseur (19 élevages) ou engraisseur (1 élevage). Parmi eux, 10 détiennent plus de 300 places de truies (en moyenne 501 ± 194) et les 9 restants, moins de 300 places (en moyenne 203 ± 57). Les âges des bâtiments de post-sevrage et d'engraissement sont respectivement de 24 ± 14 ans et de 20 ± 11 ans. Ils sont proches de l'âge moyen des bâtiments d'élevage de porcs en Bretagne (22,1 ans, selon Bertin *et al.*, 2016). Enfin, tous les bâtiments sont en ventilation dynamique.

84% des 69 salles de post-sevrage enquêtées pour le suivi de l'alimentation ont un système de ventilation en dépression, contre 16% en surpression ; 54% sont en extraction basse contre 46% en extraction haute ; la distribution d'aliment est manuelle dans 35 cas, automatique dans 27 et mixte (à la fois manuelle et automatique) dans 7 salles. L'aliment apporté aux animaux est sous diverses formes : granulés (55%), granulés et farine (35%), farine (7%) et enfin granulés, farine et soupe dans 3% des salles. La durée de la tâche varie de 1 à 57 minutes avec une moyenne de 17 minutes.

Pour le suivi du tri des porcs charcutiers, les mesures ont été réalisées dans 102 salles d'engraissement. La majorité des salles est en dépression (82%) et le reste en surpression (18%). 86% des salles ont une extraction basse, 14% en extraction haute. L'évacuation des déjections est réalisée dans la majorité des cas (73 salles) en fin de bande, dans 21 salles après plusieurs bandes, ou au contraire plusieurs fois par bande dans 8 salles (6 salles avec un raclage en V, séparant précocement urines et fèces sous le caillebotis, 2 salles avec un raclage à plat). Les travailleurs qui marquent les animaux pour les trier utilisent soit : une bombe aérosol (41%), un stylo (41%), les deux (2%), pas de marquage (16%). La durée de la tâche varie de 11 minutes à 1h49 avec une moyenne de 58 minutes.

2.2. Exposition des travailleurs à l'ammoniac

2.2.1. Concentrations en ammoniac mesurées dans les salles de post-sevrage et d'engraissement durant les tâches

Les concentrations moyennes en ammoniac sont plus élevées au moment du tri des porcs charcutiers (14 ± 9 ppm) que lors de l'alimentation des porcelets en post-sevrage (9 ± 8 ppm). Elles sont également plus élevées que lors des tâches à risque identifiées en maternité : $8,3 \pm 4,9$ ppm au moment du sevrage et $6,6 \pm 3$ ppm lors des soins aux porcelets (Lagadec *et al.*, 2017). Dans notre échantillon, la majorité des préfossees en engraissement ne sont vidangées qu'après plusieurs bandes. De plus, le tri des charcutiers s'opère en fin d'engraissement. Or il est connu que le stockage d'un volume important d'effluents dans les préfossees accroît la concentration en ammoniac dans l'ambiance (Guingand, 2000, Espagnol *et al.*, 2015). Les concentrations moyennes en ammoniac sont très variables d'un élevage à l'autre et varient de 2 à 23 ppm en post-sevrage, de 4 à 25 ppm en engraissement (Figure 1).

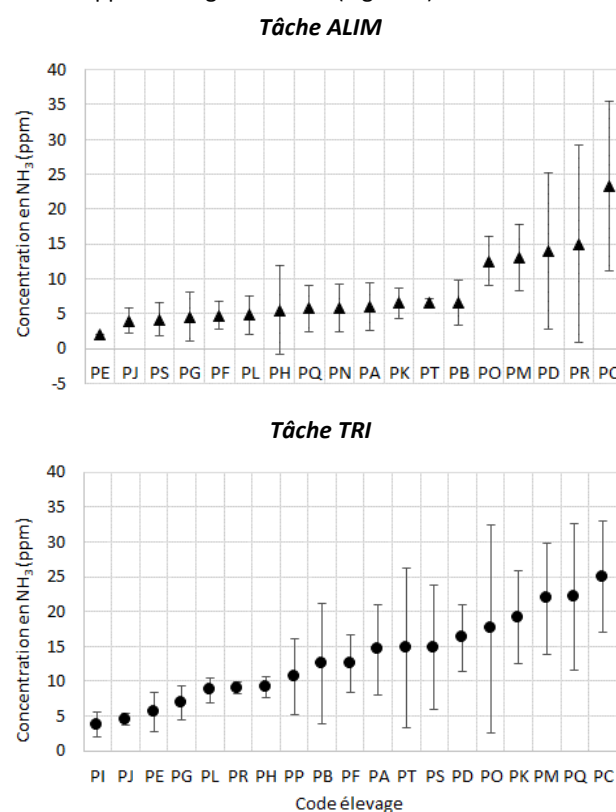


Figure 1 – Concentrations moyennes en ammoniac (ppm) dans l'ambiance des salles de post-sevrage (▲) et d'engraissement (●) dans les élevages suivis.

L'INRS (2012) définit des valeurs limites d'exposition professionnelle (VLEP) pour l'ammoniac en fonction de la durée d'exposition des travailleurs :

- VLEP « 8 heures » : le travailleur ne doit pas être exposé à une concentration de plus de 10 ppm pendant une durée de travail de 8 heures
- VLEP à court terme : la concentration maximale à laquelle un travailleur ne doit pas être exposé plus de 15 mn est de 20 ppm :

La concentration moyenne en ammoniac mesurée lors de l'alimentation des porcelets (9 ± 8 ppm) reste en dessous de la VLEP 8 heures (10 ppm) ; lors du tri des porcs charcutiers, les concentrations dépassent cette limite.

Si globalement, les concentrations moyennes en ammoniac sont inférieures à la VLEP court terme (20 ppm), on observe néanmoins ponctuellement (Figure 1) que pour l'élevage PC (tâche ALIM) et les élevages PM, PQ et PC (tâche TRI), les concentrations sont supérieures à la VLEP court terme de 15 minutes. Rappelons que les tâches sont en moyenne de 17 minutes (tâche ALIM) et de 58 minutes (tâche TRI).

2.2.2. Facteurs de variabilité de la concentration en ammoniac dans les salles

Dans cette étude, outre l'effet élevage, d'autres paramètres comme la saison, les conditions d'ambiance ou la gestion des déjections ont un effet sur la teneur en ammoniac.

Effet de la saison

La saison a un effet significatif ($P < 0.01$) sur les concentrations en ammoniac. Celles-ci sont plus élevées en hiver qu'en été lors des tâches ALIM (+40%) et TRI (+38%). Cela s'explique par une réduction du taux de renouvellement de l'air en hiver afin d'obtenir une température ambiante au plus proche de la température de consigne. Ces résultats sont en accord avec la bibliographie qui indique une augmentation de la concentration en ammoniac en hiver du fait de la réduction de la ventilation (Guingand *et al.*, 2010, Banhazi *et al.*, 2004 et Massabie, 2000).

Effet des conditions d'ambiance

On observe que plus la température ambiante dans les salles augmente, moins la concentration en ammoniac est élevée (TRI : $P < 0.001$ - ALIM : $P < 0.01$). D'après Philippe *et al.* (2011), l'augmentation de la température dans la salle favorise l'activité de l'urée, entraînant ainsi une augmentation de la volatilisation de l'ammoniac. Ici, cette corrélation négative entre la température ambiante et la concentration en ammoniac peut s'expliquer par un renouvellement de l'air plus important lorsque la température est élevée. L'ammoniac est donc dilué par l'augmentation du taux de renouvellement de l'air. Par contre il est probable que l'émission cumulée s'accroît avec la température.

Effet de la gestion des déjections

L'évacuation des déjections seulement après plusieurs bandes entraîne une augmentation de la teneur en ammoniac en engraissement. En effet, la vidange en fin de bande permet de nettoyer les préfosse avant l'arrivée des animaux de la bande suivante, ce qui réduit la charge polluante dans la salle. Cependant, lorsque les effluents sont évacués plusieurs fois par bande, des résultats opposés sur la teneur en ammoniac sont obtenus selon le système d'évacuation des déjections (Figure 2) ; ainsi, par rapport à un système gravitaire classique, on observe que le raclage en V divise par deux les concentrations, tandis que le raclage à plat les multiplie par 3. Ces résultats sont en accord avec une précédente étude de Lagadec *et al.* (2012).

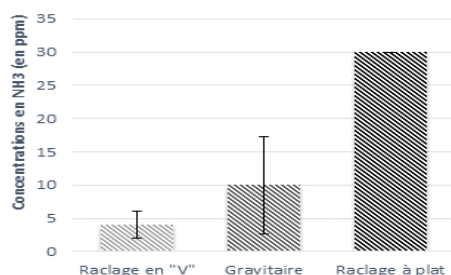


Figure 2 - Effet du système d'évacuation fréquente des déjections sur la teneur en ammoniac

Autres effets

Aucun effet significatif de la ventilation (système en dépression ou surpression, extraction haute ou basse) ni du type d'entrée d'air n'a été identifié sur la teneur en ammoniac des salles. Non plus, aucun effet du mode de déplacement des animaux lors de la phase de tri n'a été mis en évidence.

2.3. Exposition des travailleurs aux particules

2.3.1. Concentrations en particules $PM_{2.5}$ mesurées en post-sevrage et engraissement durant les tâches

Les concentrations moyennes en nombre de particules ($PM_{2.5}$) sont de $153 \times 10^3 \pm 48 \times 10^3$ particules par litre lors de l'alimentation en post-sevrage, de $214 \times 10^3 \pm 112 \times 10^3$ particules par litre lors du tri des porcs charcutiers. Elles sont très variables selon l'élevage : elles varient de 55×10^3 à 309×10^3 particules par litre pour la tâche ALIM, de 84×10^3 à 422×10^3 particules par litre pour la tâche TRI. Le poids des animaux (soies, particules), le volume de déjections stocké et les quantités d'aliments expliquent le niveau de concentration en particules plus élevé lors de la tâche TRI que pour la tâche ALIM. Les concentrations moyennes massiques ($PM_{2.5}$) sont de $113 \pm 50 \mu g/m^3$ lors de la tâche ALIM (variation de 15 à $333 \mu g/m^3$) et de $223 \pm 131 \mu g/m^3$ (variation de 50 à $580 \mu g/m^3$) lors de la tâche TRI. Ces valeurs sont proches des valeurs de la littérature : en moyenne $150 \mu g/m^3$ d'après Takai (1998), $190 \mu g/m^3$ d'après Banhazi (2008) et $290 \mu g/m^3$ d'après Huaitulla (2011).

Selon Donham *et al.*, (1991), une concentration de plus de $230 \mu g/m^3$ de particules alvéolaires (diamètre aérodynamique inférieur à $10 \mu m$) peut entraîner des risques sur la santé humaine. D'après la figure 3, les concentrations en particules $PM_{2.5}$ sont supérieures à ce seuil dans 3 élevages lors de la tâche ALIM et dans 5 élevages lors de la tâche TRI.

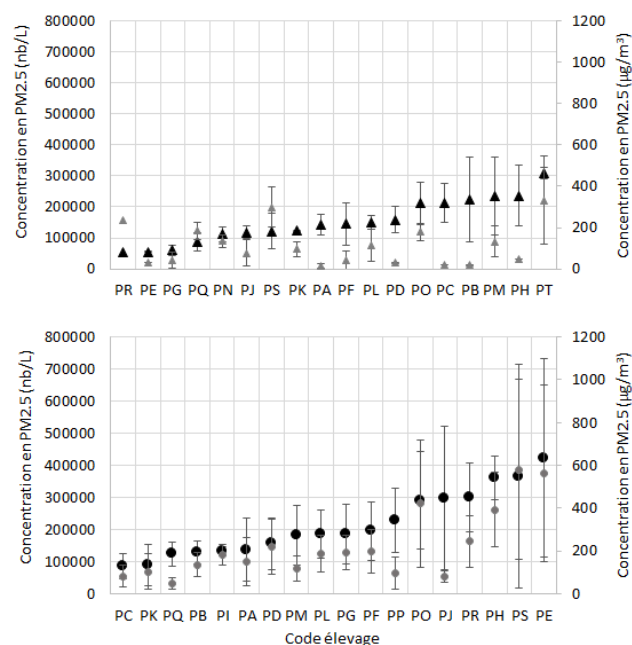


Figure 3 – Concentrations moyennes en particules $PM_{2.5}$ dans l'ambiance des salles de post-sevrage en nombre ($\blacktriangle$) et en masse ($\blacktriangle$) et dans les salles d'engraissement en nombre ($\bullet$) et en masse ($\bullet$)

Par ailleurs, on observe que les nombres et les masses de particules (concourant à déterminer la concentration massique) ne sont pas corrélés ce qui signifie que le profil des particules n'est pas identique pour une même tâche. Ainsi, d'après la figure 4, bien que les particules dans les salles de l'élevage PT

soient très nombreuses (environ 400 000 particules par litre), leur petite taille – plus de 80% ont un diamètre compris entre 0,25 et 0,35 μm – en réduit la masse totale. Ainsi, la concentration massique est plus faible que dans les salles des élevages PJ et PS (29 vs 135 et 580 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Ces résultats montrent l'influence des grosses particules sur la concentration massique et l'importance d'analyser les concentrations à la fois en masse et en nombre pour bien caractériser l'exposition des travailleurs aux particules. En effet, même si la concentration massique est faible (cas de PT), plus le nombre de particules très petites est important, plus le risque pour la santé des travailleurs est élevé (Viegas, 2016).

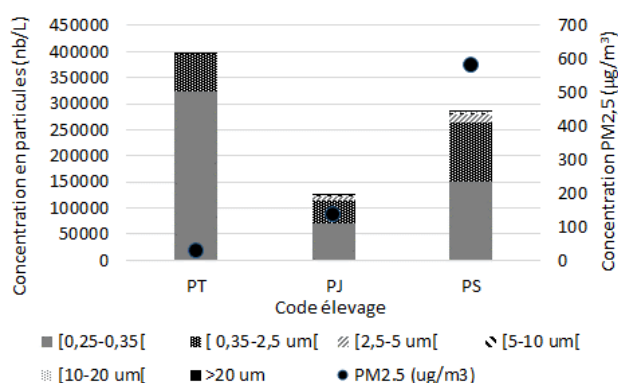


Figure 4 – Profil des particules présentes dans l'air des élevages PT (salles post-sevrage), PJ (salles post-sevrage) et PS (salles engraissement) et concentration massique en $\text{PM}_{2,5}$

Enfin, l'analyse du profil des particules sur l'ensemble des suivis montre que les particules sont de plus petite taille au moment de l'alimentation en post-sevrage que lors du tri des porcs charcutiers ; l'utilisation de moyens de protection sera donc d'autant plus pertinente lors de cette tâche ALIM.

2.3.2. Facteurs de variabilité de la concentration en particules dans les salles

La concentration en particules $\text{PM}_{2,5}$ est très variable d'un élevage à l'autre. Les principaux facteurs de variation identifiés sont la saison, les conditions d'ambiance, la gestion des déjections et la présentation de l'aliment (granulé ou farine).

2.3.2.1. Effet de la saison

Lors du tri des porcs charcutiers, les concentrations en particules sont plus élevées en hiver qu'en été ($P < 0.05$) alors qu'il n'y a pas d'effet de la saison sur la concentration en particules $\text{PM}_{2,5}$ lors de la tâche ALIM.

2.3.2.1. Effet des conditions d'ambiance

L'hygrométrie a un effet significatif au seuil de 1% sur les concentrations en particules. Lorsque l'hygrométrie augmente, les concentrations en particules diminuent car une forte concentration en eau dans l'air piège les grosses particules qui retombent au sol (Massabie *et al.*, 2000). Selon Heber *et al.* (1988) ; cet effet s'amplifie lorsque la vitesse d'air est faible. La température intérieure a également un effet (au seuil de 1 %) : plus elle augmente, plus la concentration en particules $\text{PM}_{2,5}$ dans l'air ambiant est élevée; cela est lié d'une part à un air plus sec et d'autre part à une ventilation plus élevée favorisant la mise en suspension des particules dans l'air.

2.3.2.1. Effet de la gestion des déjections

L'évacuation fréquente des déjections (plus d'une fois par bande par raclage) entraîne de plus fortes concentrations en particules dans l'air ($P < 0.01$). Cet effet peut s'expliquer par l'action du raclage qui, à chaque passage, laisse des fragments de déjections qui séchent et se mettent en suspension dans l'air sous l'action de la ventilation.

2.3.2.1. Effet de la ventilation

Le type de ventilation agit également sur les concentrations en particules ($P < 0.01$). En effet, une ventilation par dépression entraîne des concentrations en particules $\text{PM}_{2,5}$ plus élevées qu'une ventilation en surpression. Le système de ventilation par surpression pousse l'air sous les caillebotis ce qui limite la mise en suspension des particules en favorisant leurs impactions sur la surface du lisier.

2.3.2.1. Effet de la présentation de l'aliment

Une tendance est observée sur l'effet de la présentation de l'aliment sur la concentration massique en particules $\text{PM}_{2,5}$ lors de la tâche ALIM. En effet, elle est plus élevée avec un aliment farine qu'avec un aliment granulé. (Figure 5)

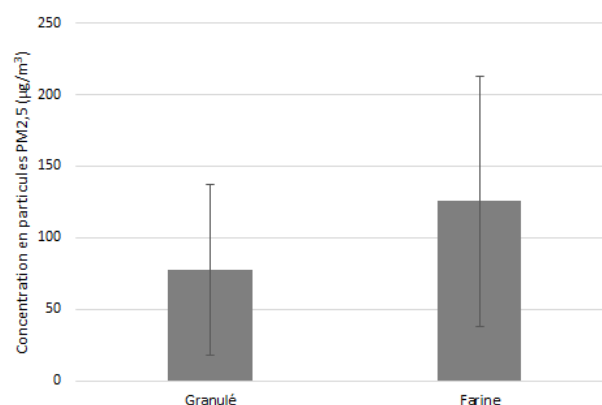


Figure 5 – Effet de la présentation de l'aliment sur la concentration en particules $\text{PM}_{2,5}$

Tableau 1 - Concentrations en ammoniac et particules lors de l'alimentation en post-sevrage et du tri des porcs charcutiers et facteurs influençant ces concentrations

		Concentrations en ammoniac dans l'air	Concentrations en particules dans l'air	
			En nombre (nb/L)	En masse ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Alimentation des porcelets en post-sevrage		9 $\pm$ 8 ppm	153 412 $\pm$ 48 870	113 $\pm$ 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Tri des porcs charcutiers		14 $\pm$ 9 ppm	214 688 $\pm$ 112 464	223 $\pm$ 131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Facteurs étudiés influençant les concentrations en ammoniac et en particules dans l'air	Saison	↗ en hiver	↗ en hiver	
	Température intérieure	↗ si faible	↗ si élevée	
	Hygrométrie intérieure	-	↗ si faible	
	Evacuation des déjections	↘ si fréquente	↗ si fréquente	
	Système de ventilation	-	↗ si dépression	

CONCLUSION

Cette étude a permis de caractériser les niveaux d'exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules lors de la réalisation de tâches spécifiques comme l'alimentation des porcelets (ALIM) et le tri des porcs charcutiers (TRI). Pour la tâche ALIM, le travailleur est exposé en moyenne à 9 ± 8 ppm NH_3 , $153 \times 10^3 \pm 48 \times 10^3$ particules $\text{PM}_{2,5}$ par litre d'air et 113 ± 50 μg particules $\text{PM}_{2,5}/\text{m}^3$. Lors de la tâche TRI, il est exposé à 14 ± 9 ppm NH_3 , $214 \times 10^3 \pm 112 \times 10^3$ particules $\text{PM}_{2,5}$ par litre d'air et 223 ± 131 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Dans certains élevages, les niveaux de concentration en ammoniac sont supérieurs à la Valeur Limite d'Exposition Professionnelle sur 15 minutes (VLEP court terme) lors des tâches ALIM et TRI, principalement en raison d'un faible taux de renouvellement de l'air. S'agissant des particules, des teneurs au-dessus du seuil entraînant des risques sur la santé (Donham, 1991) ont été mesurées dans plusieurs élevages. De plus, un nombre important de particules de très petite taille ($<0,35 \mu\text{m}$) a été mesuré lors de ces tâches, notamment ALIM. Il est donc important, tout particulièrement pour cette tâche, de mettre en

place des leviers d'action pour limiter les risques sur la santé des travailleurs.

Certains facteurs d'influence sur l'exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules ont pu être mis en évidence (tableau 1). Bien renouveler l'air des salles, et privilégier un système de ventilation en surpression sont des actions permettant de réduire les teneurs en ammoniac et en particules dans les salles d'élevage.

Ces résultats seront complétés par une analyse de l'état de santé des travailleurs avant et après chaque tâche «exposante», réalisée par le bureau d'étude Sepia Santé. A l'issue de ce projet, des vidéos de sensibilisation, à destination des éleveurs et de leurs salariés mais aussi des conseillers, seront élaborées à partir de l'ensemble des résultats acquis pour appuyer des actions de communication et de formation.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée avec le soutien financier du CASDAR (5414). Les auteurs tiennent à remercier les éleveurs et les salariés d'élevage qui ont participé à ce projet.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Banhazi T. M., Seedorf J., Rutley D. L., Cargil C., Hartung J., 2004. Introduction-effects of airborne pollutants and factors affecting concentrations in livestock buildings. Proceedings of the In-between Congress of the ISAH, 11-13 October. Saint-Malo, France. pp. 187-191.
- Banhazi T.M., Seedorf J., Rutley D.L., Pitchford W.S., 2008. Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 2. Airborne pollutants. J. Agric. Saf. Health, 14, 21–39.
- Basinas I., Torben S., Kromhout H., Dick H., Inge W., 2015. A comprehensive review of levels and determinants of personal exposure to dust and endotoxin in livestock farming. J. Expo. Sci. Environ. Epidemiol., 25, 132-137.
- Depoudent C., Veyre J., Ruch M., Kling-Eveillard F., Philibert A., Guillaum M-T., 2016. Perception et acceptation des risques professionnels par les éleveurs de porcs et leurs salariés : l'exemple des risques respiratoires. Journées Rech. Porcine, 48, 43-44.
- Depoudent C., Truchau P., Bellec T., 2018. Perception des risques professionnels par les techniciens intervenant en élevage porcin. Journées Rech. Porcine, 50, (à paraître)
- Espagnol S., Guingand N., Générumont S., Hassouna M., 2015. Efficacité sur les émissions gazeuses d'itinéraires techniques en élevage porcin intégrant des bonnes pratiques environnementales. Journées Rech. Porcine, 47, 171-176
- Fablet C., Dorenlor V., Eono F., Eveno E., Jolly J.P., Portier F., Bidan F., Madec F., Rose N., 2013. Facteurs non infectieux associés à la pneumonie et à la pleurésie dans 143 élevages naisseurs-engraisseurs du Grand Ouest de la France. Journées Rech. Porcine, 45, 249-254.
- Guingand N., Quiniou N., Courboulay V., 2010. Emission comparées d'ammoniac et de gaz à effet de serre par des porcs charcutiers élevés au froid sur caillebotis partiel ou à la thermo neutralité sur caillebotis intégral. Journées Rech. Porcine, 42, 277-284.
- Guingand N., 2000. Influence de la vidange des préfoesses sur l'émission d'ammoniac et d'odeurs par les porcherie d'engraissement – résultats préliminaires. Journées Rech. Porcine, 32, 83-88.
- Hassouna M., Eglin T., 2015. Mesurer les émissions gazeuses en élevage : gaz à effet de serre, ammoniac et oxydes d'azote. Diffusion INRA-ADEME. 314 p. ISBN : 2-7380-1374-0
- Heber A.J., Stroik M., Nelssen J.L., Nichols D.A. 1988. Influence of environmental factors on concentrations and inorganic content of aerial dust in swine finishing buildings. Transactions of the ASAE, 31,875-881.
- Huaitalla R. M., Gallmann E., Xuejun L., 2011. Particulate Matter emitted from a Pig Farm in Beijing: A Preliminary Study, 2011. 2nd International Conference on Environmental Science and Development. IPCBEE Vol 4, 3p.
- INRS, 2012. Valeurs limites d'exposition professionnelle aux agents chimiques en France. ED 984.30 pp
- Lagadec S., Guingand N., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2017. Exposition des travailleurs aux gaz et particules durant les soins aux porcelets et leur sevrage. Journées Rech. Porcine, 49, 233-238.
- Lagadec S., Landrain B., Landrain P., Robin P., Hassouna M., 2012. Ammonia and greenhouse gas emissions in pig fattening on slatted floor with excrement discharge by flat scraping. Emission of Gas and Dust from Livestock - Saint Malo, France - June 10-13, 2012. Edition IFIP-Institut du porc, 59-61.
- Massabie P., 2000. Incidence des paramètres d'ambiance sur les performances zootechniques du porc charcutier : effet de l'hygrométrie, de la concentration en gaz et des teneurs en poussières et en germes. Techniporc, vol. 23(6), 27-32.
- Monso E., Riu E., Radon K., 2004. Chronic obstructive pulmonary disease in never-smoking animal farmers working inside confinement buildings. Am. J. Ind. Med., 46, 357–362.
- O'Shaughnessy P., Peters T., Donham K., Taylor C., Altmaier R., Kelly K., 2012. Assessment of swine workers exposures to dust and endotoxin during hog load-out and power washing. Ann. Occup. Hyg., 56(7), 56-63.
- Takai H., Pederson 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., Wathez C.M., 1998. Concentrations and Emissions of Airborne Dust in Livestock Buildings in Northern Europe. J. agric. Engng Res., 70, 59-77.
- Viegas C., Faria T., Carolino E., Sabino R., Guintal Gomes A., Viegas S., 2016. Occupational exposure to fungi and particles in animal feed industry. Medycyna Pracy, 67(2), 143-154.
- Von Essen S., Romberger D., 2003. The respiratory inflammatory response to the swine confinement building environment: the adaptation to respiratory exposures in the chronically exposed worker. J. Agric. Saf. Health, 9, 185-196.