

# METHODOLOGIE DE MESURE DES PARTICULES PRIMAIRES EMISES PAR DES BATIMENTS D'ELEVAGE

S. Lagadec<sup>1</sup>, N. Guingand<sup>2</sup>, M. Hassouna<sup>3</sup>, A. Joubert<sup>\*4</sup>, W. Mrad<sup>4</sup> et L. Le Coq<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Chambre Régionale d'Agriculture de Bretagne, 35042 Rennes, France

<sup>2</sup>IFIP-Institut du Porc, 35651 Le Rheu, France

<sup>3</sup>INRA UMR SAS, 35000 Rennes, France

<sup>4</sup>IMT Atlantique – UMR CNRS 6144 GEPEA, 44307 Nantes, France

\*Courriel de l'orateur : aurelie.joubert@imt-atlantique.fr

## TITLE

**Methodology for measuring primary particles emitted by livestock buildings**

## RESUME

L'estimation quantitative des facteurs d'émissions en particules des bâtiments d'élevage dans les bilans d'inventaire soulève des questionnements quant à la méthodologie employée. Cette étude a tout d'abord recensé dans la littérature les équipements de mesures de particules disponibles, les protocoles de mesure existants et les contraintes associées aux conditions d'élevage. Une méthodologie a ensuite été proposée applicable aux bâtiments d'élevage de porcs et de volailles français qui sera dans un second temps appliquée lors de campagnes de mesure de grande ampleur dans plusieurs dizaines de bâtiments de typologies différentes. L'enjeu du projet est de participer à mieux déterminer la contribution de l'élevage et plus particulièrement de l'élevage de porcs et de volailles de chair à l'émission de particules dans l'atmosphère et proposer des recommandations en termes de choix d'itinéraires techniques les moins émissifs.

## ABSTRACT

The quantitative estimation of particle emission factors from livestock buildings to consider in the inventories raises questions about the methodology used. This study identified from the literature the particle measurement equipment, the existing measurement protocols and the operational constraints associated with livestock building conditions. A methodology was then proposed for pig and poultry of French farm buildings that will be applied in large scale measurement campaigns in dozens of buildings of different typologies. The aim of this project is to improve the knowledge concerning the contribution of pig and poultry sectors to particles emission in the atmosphere in order to propose less emissive technical solutions.

**MOTS-CLES** : facteur d'émission de particules, bâtiments d'élevage, méthodologie, protocole de mesure

**KEYWORDS**: particle emission factor, livestock buildings, methodology, measurement protocols

## 1. INTRODUCTION

En France, en 2017, les émissions de particules ont été évaluées dans l'inventaire national à 849 kilotonnes pour les particules totales en suspension (TSP) dont 455 kilotonnes issues de l'agriculture/sylviculture (CITEPA, 2019). Toujours selon le CITEPA, l'importance de la contribution du secteur agriculture/sylviculture aux émissions de particules décroît d'autant plus que la granulométrie considérée est fine, les particules fines ayant pour origine principale la combustion alors que les travaux agricoles émettent généralement des particules de plus gros diamètre. En effet, le secteur agricole a contribué en 2017 à 54% des émissions nationales de TSP, 21% des émissions nationales de PM10, 9% des émissions nationales de PM2,5 et 2% des émissions nationales de PM1,0. Selon le CITEPA, le poste « cultures » constituerait la principale source d'émission de particules totales en suspension. Vient ensuite la gestion des animaux en bâtiment, pour laquelle les émissions de particules dépendent principalement de l'activité des animaux, du type d'aliment distribué, du type de litière et du système de ventilation. C'est le cheptel volailles qui endosse la responsabilité de la majorité des émissions en élevage : en 2017, 68 % des émissions de PM10 en élevage sont liées aux bâtiments volailles.

Au niveau européen, le guide EMEP de l'Agence Européenne de l'Environnement (EEA) (EMEP/EEA, 2016) utilise pour le calcul des émissions de particules liées aux bâtiments d'élevage une équation spécifiant les catégories d'animaux, la part de leur temps passé en bâtiment mais aussi un facteur de conversion des particules inhalables (c'est-à-dire celles de diamètre inférieur à 100 µm, objets de la mesure dans la plupart des études) en PM10 et PM2,5. Or, ces facteurs sont à prendre avec précaution car ils sont basés sur un faible nombre de travaux. De plus, cette équation de l'EMEP ne prend pas en considération certains paramètres caractérisant l'ambiance (ventilation, température, humidité...) ainsi que certaines caractéristiques de conduite comme le mode de présentation de l'aliment ou la gestion des effluents qui ont

une influence certaine sur la production de particules et/ou leur mise en suspension. Cette diversité des protocoles de mesure et modes de calcul des émissions de particules contribuent à renforcer l'idée de la nécessité d'acquérir une méthodologie spécifique à l'élevage.

L'objectif de cette étude, première étape d'un projet de grande ampleur, est d'acquérir une méthodologie complète et robuste de mesures des particules primaires émises en bâtiments d'élevage de porcs et de volailles. Il s'agira par la suite d'acquérir des facteurs d'émissions de particules en élevages de porcs et de volailles de chair en fonction de différents itinéraires techniques représentatifs des conditions nationales de production et en identifiant les itinéraires les plus faiblement émetteurs.

## 2. METHODE

Une synthèse bibliographique (Lagadec *et al*, 2018) a été réalisée afin de dresser un état des lieux des méthodes de mesures des particules et des équipements associés. L'objectif est de choisir la méthode de mesure la mieux adaptée pour mesurer les émissions de particules des élevages porcins et avicoles français.

Les contraintes dans la sélection du matériel ont été identifiées :

- Être adapté aux conditions d'élevage, à savoir : une ventilation forcée avec une régulation de la température, un accès difficile aux gaines d'entrée d'air et d'extraction, des concentrations en  $\text{NH}_3$  de 0 à 50 ppm, des taux d'humidité relative de 70 à 100%, des gammes de température de -10 à +40°C à l'extérieur et de 15 to 35°C à l'intérieur des bâtiments ;
- Mesurer des concentrations en TSP, PM10, PM2,5 dans l'ambiance/extraction et en air extérieur ;
- Mesurer en continu pour accéder aux évolutions dynamiques ;
- Mesurer une concentration en masse et en nombre ;
- Peser moins de 15 kg.

Dans un même temps, une étude bibliographique (Lagadec *et al*, 2017) a permis de dresser un état des lieux des protocoles mis en œuvre pour mesurer les émissions de particules dans des bâtiments d'élevage. L'objectif est d'aboutir à un protocole de mesure permettant d'obtenir une émission de particules représentative de l'air de la salle ou du bâtiment d'élevage de porcs et de volailles français sur une période donnée. Pour cela, des expérimentations complémentaires à l'état de l'art ont été nécessaires. Les facteurs de variabilité ont également été identifiés dans la littérature : l'âge du bâtiment, l'activité des animaux, l'alimentation, le type de sol et la gestion des déjections, les conditions d'ambiance (température et humidité de l'air, taux de ventilation), les pratiques de l'éleveur (fréquence des passages en salle d'élevage).

## 3. RESULTATS

### 3.1. Equipement de mesure

L'analyse des équipements disponibles sur le marché en lien avec le cahier des charges nous conduit à sélectionner la méthode optique et plus précisément le compteur GRIMM (1.109) qui semble répondre à l'ensemble des critères.

Le compteur de poussières GRIMM Mini-LAS modèle 11-A est un spectromètre qui permet la mesure instantanée et en continu de la concentration et de la granulométrie des particules par diffraction de la lumière. Le résultat est exprimé en nombre de particules par  $\text{m}^3$  d'air ou en masse par  $\text{m}^3$  d'air après un calcul de conversion. L'ensemble de l'air échantillonné est récupéré par un filtre, permettant ainsi une analyse gravimétrique ou chimique de la poussière récoltée. Cet appareil portable permet la mesure de plusieurs fractions de tailles en simultané entre 0,3 et 20  $\mu\text{m}$  : poussières inhalables, thoraciques, alvéolaires et PM10, PM2.5, PM1. Le bon fonctionnement du compteur est assuré par des étalonnages optique et gravimétrique qui doivent être réalisés périodiquement par le fabricant, ainsi que la détermination du facteur de correction gravimétrique assuré par l'utilisateur pour chaque type d'aérosol mesuré et/ou conditions de prélèvement. Ce facteur dépend de la masse volumique, de l'indice de réfraction et de la forme de l'aérosol. Il se détermine en comparant la masse calculée par le compteur et la masse mesurée (récupérée sur le filtre) avec une balance de précision, et en introduisant cette valeur dans le compteur. Cependant, nos tests préliminaires ont mis en évidence une difficulté dans la dépose du filtre collecteur des GRIMM entraînant une incertitude de la pesée, en particulier lors des mesures de terrain.

Des tests d'intercomparaison de trois appareils GRIMM acquis par les partenaires du projet, la Chambre d'Agriculture de Bretagne (GRIMM A), l'INRA UMR SAS (GRIMM B) et l'IFIP-Institut du Porc (GRIMM C) ont été réalisés. La réponse des compteurs a été comparée dans des conditions de laboratoire à l'aide d'un

banc d'essai en introduisant un flux de particules connu (particules d'alumine submicrométriques générées à l'aide d'un générateur à brosse tournante RBG 1000 Palas). La comparaison des trois compteurs en termes de distributions granulométriques en nombre des particules testées a montré un coefficient de variation moyen de chaque classe granulométrique de 12% entre les GRIMM A et C et un coefficient de variation plus important de 26% avec le GRIMM B mettant en évidence une probable dérive de sa calibration. La distribution granulométrique obtenue à l'aide du compteur GRIMM A, récemment étalonné, a été comparée à celle fournie par un compteur Welas Palas dans les mêmes conditions de test. Les distributions granulométriques se sont révélées tout à fait comparables avec un diamètre médian de 0,26 et environ 0,35 µm respectivement pour les compteurs Palas Welas et le GRIMM A.

Le facteur de correction gravimétrique a été déterminé expérimentalement au laboratoire pour 2 compteurs GRIMM (A et C) vis-à-vis de 2 aérosols de test, de l'alumine et de la dolomite d'indice de réfraction (1,8 et 1,6) et de masse volumique différents (3900 et 2800 kg/m<sup>3</sup>). Les résultats ont montré que pour un même aérosol d'alumine, les facteurs de correction gravimétrique déterminés expérimentalement pour les 2 compteurs sont les mêmes en considérant les incertitudes de mesures. De la même manière, pour un même compteur (GRIMM A), le type de particules, ici deux poussières minérales, influence la valeur du facteur de correction gravimétrique.

Le compteur GRIMM a ensuite été comparé avec une microbalance TEOM (méthode de référence de la concentration massique en particules), dans une salle abritant des porcs charcutiers dans la station expérimentale de l'IFIP à Romillé. Les différentes campagnes de mesures ont mis en évidence une différence significative entre la valeur massique affichée par le GRIMM et celle du TEOM (écart variant de 29% à 46%).

Ainsi, le compteur GRIMM sera employé lors des campagnes comme compteur en nombre de particules – fonction initiale du compteur, et il sera nécessaire d'utiliser un autre dispositif gravimétrique (porte-filtre) en parallèle des mesures. Les concentrations massiques pour chaque fraction de taille seront calculées à partir des concentrations en nombre mesurées avec le GRIMM, et de la masse volumique moyenne apparente des particules estimées à partir du prélèvement gravimétrique sur filtre.

### 3.2. Localisation, durée et période des prélèvements

L'émission est calculée à partir des concentrations en particules de l'air entrant et de l'air extrait. Il est donc nécessaire d'avoir plusieurs points de prélèvement : à l'extérieur et à l'intérieur de la salle ou dans la gaine d'extraction.

Pour l'air entrant, l'accès aux combles étant difficile, le choix a été fait de faire une mesure ponctuelle à l'extérieur du bâtiment afin d'éviter de surestimer la concentration avec une sonde polluée. Dans le calcul des facteurs d'émission en particules des bâtiments, la variation de la concentration à l'extérieur pendant 24h étant de faible influence par rapport aux variations à l'intérieur, il a été décidé d'établir la durée de mesure à 30 min pour l'air entrant.

Pour l'air sortant, en bâtiment porcin avec extraction haute ou extraction basse, le prélèvement de l'air sera réalisé dans l'ambiance de la salle à une hauteur de 1,10 m. Le dispositif de mesure sera installé au milieu du couloir de la salle afin de ne pas être endommagé par les animaux ; la comparaison de différents sites de mesures répartis dans la salle n'ayant pas abouti à des différences significatives. En bâtiment volaille à ventilation dynamique avec extraction haute, l'appareil sera positionné au milieu du bâtiment à une hauteur de 1,10 m.

La majorité des études montre qu'une durée de 24 h est la durée optimale permettant de prendre en compte les périodes diurnes et nocturnes tout en évitant une saturation de l'appareil. De plus, cela permet d'être en accord avec la norme NF 12341 pour la réalisation d'une mesure gravimétrique avec porte-filtre. Ainsi, le choix est fait de réaliser des mesures en continu des particules à l'intérieur des bâtiments durant 24 h.

L'objectif du projet est d'obtenir des facteurs d'émission de particules sur un cycle de production : en porc, il s'agit de 110 jours pour les porcs charcutiers. En volaille, il s'agit de 40 jours pour les poulets de chair. D'après Van Ransbeck *et al* (2013) et Hoshreuder *et al.* (2007), pour aboutir à cet objectif, il est nécessaire de réaliser plusieurs mesures au cours du cycle de production. Le nombre de périodes de mesure est variable en fonction des auteurs, allant de 2 périodes de 24 h pour Jacobson *et al* (2002) à 8 périodes de 24 h pour Modini *et al* (2010). Ainsi, en élevage de porcs et de volailles, trois campagnes de mesure seront réalisées au cours du cycle de production.

### 3.3. Estimation des débits de ventilation

Le débit de ventilation des bâtiments est estimé à partir de la mesure en continu du CO<sub>2</sub> à l'aide d'une sonde et des données boîtier de ventilation. A ces concentrations en CO<sub>2</sub> sont appliquées les équations de la CIGR (International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering) permettant de déterminer la part

respective de chacune des sources d'émission, à savoir, la respiration des animaux et le chauffage dans le cas des volailles.

### 3.4. Calcul des émissions de particules

Les émissions de particules sont calculées en multipliant la concentration moyenne en particules sur la période de mesure par le débit de ventilation moyen.

$$E = (C_{indoor} - C_{outdoor}) \times R$$

$E$  : facteur d'émission en particules du bâtiment en  $g/m^3$

$C_{outdoor}$  : concentration en particules en  $g/m^3$  mesurée en extérieur à proximité de l'air entrant dans le bâtiment – moyenne sur 30 min

$C_{indoor}$  : concentration en particules en  $g/m^3$  mesurée dans le bâtiment – moyenne sur 24 h

$R$  : débit de ventilation en  $m^3/h$  – moyenne sur 24h

## 4. CONCLUSIONS

La méthodologie de mesure des émissions de particules primaires de bâtiments d'élevage, choix des appareils et protocole de mesure, a été mise au point et validée à l'aide de campagnes de mesure préliminaires. Des campagnes estivale et hivernale de mesures sont en cours avec différents itinéraires techniques de bâtiments. Pour les élevages de porcs, les paramètres sont le type de sol, l'entrée d'air, l'extraction d'air, la présentation de l'aliment et la gestion des effluents ; pour les élevages de volailles les paramètres influents investigués sont le type de sol, l'extraction d'air et le type de production.

L'analyse des résultats permettra de mettre en évidence l'influence des itinéraires techniques sur les émissions de particules primaires.

Les auteurs remercient le Compte d'affection Spécial au Développement Agricole et Rural (CasDAR) pour son soutien financier (projet PAPOVIT n°5619).

Citepa, juillet 2019. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France – Format Secten.

EMEP/EEA (European Monitoring and Evaluation Programme of long range transmission of air pollution/European Environment Agency) air pollutant emission inventory guidebook 2016 Technical guidance to prepare national emission inventories.

Hofschreuder, P, Aarnink, A., Zhao, Y., Ogink, N.W.M. (2007). Measurement protocol for determining fine dust emission factors of animal housing systems. How to improve air quality.

Jacobson, L. (2002). Development Of Methods To Measure Dust (PM10) And Ammonia Emissions From Minnesota Pig Facilities: Report. University of Minnesota.

Lagadec, S., Hassouna, M., Chiffe, J., Guingand, N., Joubert, A., Mrad, W., Le coq, L., Décembre 2017. Etat de l'art des protocoles de mesures des particules et expérimentations complémentaires. Synthèse projet PAPOVIT, 8 pages.

Lagadec, S., Hassouna, M., Chiffe, J., Guingand, N., Joubert, A., Mrad, W., Le coq, L., Mars 2018. Etat des lieux des méthodes de mesures des particules et des équipements associés. Synthèse projet PAPOVIT, 12 pages.

Modini, R. L., Agranovski, V., Meyer, N. K., et al. (2010). Dust Emissions From A Tunnel-Ventilated Broiler Poultry Shed With Fresh And Partially Reused Litter. Animal Production Science, 50(5&6), 552-556.

Van Ransbeeck, N., Van Langenhove, H., & Demeyer, P. (2013). Indoor Concentrations And Emissions Factors Of Particulate Matter, Ammonia And Greenhouse Gases For Pig Fattening Facilities. Biosystems engineering, 116(4), 518-528.