



**HAL**  
open science

**Les particules en élevage porcin. Etat de l'art sur les équipements de mesures et protocoles utilisés : choix de la méthode adaptée / Development of a measurement protocol of particles suitable for piggeries**

Lagadec S, Guingand N, Hassouna M, Joubert A

► **To cite this version:**

Lagadec S, Guingand N, Hassouna M, Joubert A. Les particules en élevage porcin. Etat de l'art sur les équipements de mesures et protocoles utilisés : choix de la méthode adaptée / Development of a measurement protocol of particles suitable for piggeries. Les Cahiers de l'IFIP, 2021. hal-04735731

**HAL Id: hal-04735731**

**<https://hal.science/hal-04735731v1>**

Submitted on 18 Oct 2024

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

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

## Les particules en élevage porcin.

### Etat de l'art sur les équipements de mesures et protocoles utilisés : choix de la méthode adaptée

Solène LAGADEC (1), Nadine GUINGAND (2), Mélynda HASSOUNA (3) et Aurélie JOUBERT (4)

(1) CRAB, rue Maurice Le Lannou, 35042 Rennes, France

(2) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu, France

(3) INRAE, UMR SAS, 35042 Rennes, France

(4) IMT Atlantique, GEPEA, CNRS UMR 6144, BP 20722, 44307 Nantes cedex 3, France

nadine.guingand@ifip.asso.fr

L'élevage contribue à l'émission de particules dans l'atmosphère. La littérature montre des différences drastiques entre les facteurs d'émission pour une même catégorie animale, probablement liées aux méthodes de mesure. Le but de cette étude était de développer un protocole de mesure strictement adapté aux conditions d'élevage porcin. L'étude est organisée en 3 étapes : (i) identification des conditions spécifiques liées à la mesure des particules dans les porcheries, (ii) analyse des équipements de mesure adaptables aux conditions du sol et (iii) élaboration d'un protocole selon les étapes précédentes. Les deux premières étapes ont conduit à choisir un équipement de mesure optique en raison de la possibilité d'avoir des mesures en continu mais aussi des concentrations en nombre et en masse pour plusieurs fractions granulométriques. Pour valider la conversion entre nombre et masse de particules, une méthode gravimétrique avec simple filtre de collecte a également été sélectionnée. Après plusieurs tests en élevage porcin expérimental, les principaux points du protocole ont été établis : période d'échantillonnage de 24h au milieu de la salle / du couloir intégrant les changements diurnes et nocturnes à l'intérieur des porcheries. Pour calculer le facteur d'émission par porc d'engraissement, trois périodes (entre 12-20, 43-52, 76-84 jours d'engraissement) ont été identifiées avec la mesure de la concentration en CO<sub>2</sub> pour le calcul du taux de ventilation. Ce protocole est actuellement en cours dans les élevages porcins commerciaux de l'Ouest de la France

#### Development of a measurement protocol of particles suitable for piggeries

Livestock contributes to the emission of particles in the atmosphere. Literature shows drastic differences between emission factors by animal category probably related to measurements methodologies. The aim of this study was to develop a measurement protocol strictly adapted to pig husbandry conditions. The study is organized in 3 steps: (i) identification of specific conditions related to measure particles in pig housing (ii) analysis of metrology equipment adaptable to ground conditions and (iii) development of a protocol according the previous steps. The two first steps led to choose the optical measurement methodology because of the possibility to have continuous measurements but also number and mass concentrations. To validate the conversion between number and mass, a gravimetric method with simple collection filter was also selected. After several tests in experimental pig farm, the main points of the protocol were established: 24h-sampling period in the middle of the room/corridor integrating the diurnal and nocturnal changes inside piggeries. To calculate the emission factor per fattening pig, three periods (between 12-20, 43-52, 76-84 days) were identified with measurement of CO<sub>2</sub> concentration for the calculation of the ventilation rate. This protocol is currently in progress in commercial pig farms in Western France for the second phase of the project.

**Mots clés :** facteurs d'émission de particules, bâtiment d'élevage, méthodologie, protocole de mesure

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

## Introduction

L'élevage contribue à la production de particules dans l'atmosphère (3,6% des particules totales (TSP) – CITEPA, 2019). Cependant, la littérature met en évidence des différences conséquentes entre les facteurs d'émission de particules par catégorie animale qui peuvent être expliquées en partie par la diversité des méthodes de mesure mises en œuvre (EMEP, 2009 – Seedorf, 2004 - Costa et Guarino, 2009). Les objectifs de cette étude sont (i) d'établir un cahier des charges des contraintes de mise en œuvre spécifiques à l'élevage de porc français, (ii) de dresser un état des lieux des équipements de mesure et des protocoles utilisés dans la bibliographie et (iii) d'établir, à partir des points précédents, complétés par des avis d'experts et des mesures en élevage, un protocole spécifique aux élevages de porcs en France.

## Quelles sont les contraintes de mise en œuvre spécifiques de l'équipement à l'élevage porcin ?

Le cahier des charges présente les trois critères auxquels l'équipement sélectionné doit répondre :

- (1) 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 NH<sub>3</sub> de quelques ppb à 50 ppm, des taux d'humidité relative de 40 à 100%, des gammes de température de -10 à 40°C à l'extérieur et de 15 à 35°C à l'intérieur des bâtiments,
- (2) mesurer en continu les concentrations en particules de tailles différentes dans l'ambiance et à l'extérieur
- (3) mesurer les concentrations de particules en masse et en nombre.

Enfin, si possible, il devra être équipé d'un filtre afin d'avoir un échantillon de particules pour observer leur morphologie à l'aide d'un microscope.

## Comment mesurer la concentration en particules ?

Soixante-huit publications sur la mesure des particules en élevage ont été analysées. Plus de la moitié de ces publications portait sur l'élevage de porcs. Deux principes de mesure ont été identifiés : la collecte sur filtre (56% des publications) et la méthode optique (44% des publications).

### La collecte sur filtre

Les méthodes par pesée consistent à peser les particules échantillonnées à l'aide d'une balance (pesée d'un filtre), d'un impacteur (pesée inertielle) ou d'une microbalance oscillante (pesée dynamique).

Le prélèvement de l'air se fait par aspiration. Trois catégories de prélèvements existent :

- **sans coupure granulométrique précise**

Ce type de prélèvement assure une coupure granulométrique mal connue (estimée autour de 100 µm) qui peut être influencée par les conditions météorologiques. Ce type de prélèvement est notamment utilisé avec des échantillonneurs à grand débit configurés en mode TSP (Total Suspended Particules).

- **avec coupure granulométrique**

Ils sont effectués à l'aide d'une tête de prélèvement qui, par sa conception, ne capte en théorie que les particules de diamètre aérodynamique inférieur à une valeur définie. Les têtes les plus couramment utilisées sont la tête définie par la norme française NFX43-021 et les têtes PM10 et PM2,5 d'origine américaine.

- **avec fractionnement granulométrique**

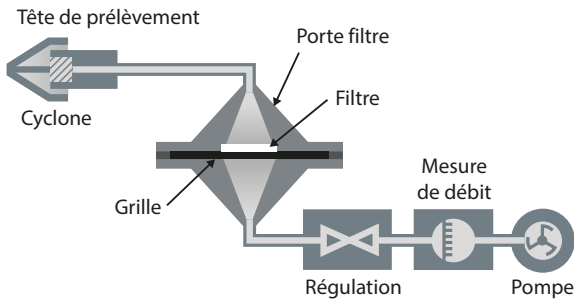
Réalisables par exemple à l'aide d'un impacteur en cascade, cette méthode permet de faire une séparation des particules selon leur taille afin d'en étudier la distribution granulométrique.

La phase d'échantillonnage est souvent critique car elle peut être sujette à des artefacts de prélèvement souvent difficiles à quantifier et à maîtriser (perte dans le dispositif de prélèvement, colmatage des filtres, piégeage d'espèces gazeuses, volatilisation de composé). Le choix du substrat de prélèvement est donc très important. Dans tous les cas, l'échantillonnage sera suivi d'une phase de mesure ou d'analyse : détermination de la masse ou du nombre de particules (AirParif, 2008).

L'échantillonnage des particules par collecte sur filtre avec pesée du filtre est réglementé par les normes EN 12341 (1999) et EN 14907 (2005) respectivement pour PM10 et PM2,5. Avant la mesure, le filtre doit être positionné dans une salle à 50% HR et 20°C pendant 24 h. La durée de la mesure doit être de minimum 24 h. Le filtre est ensuite séché pendant 48 h au dessiccateur dans une salle à 20°C. La pesée se fait dans la même salle et immédiatement après sortie du dessiccateur. Aussi, des filtres à blanc doivent suivre la même procédure. Enfin, une balance avec une précision de 0,01 mg doit être utilisée.

### Pesée d'un filtre

Son principe est de recueillir sur un média filtrant (teflon, quartz, cellulose) un échantillon représentatif de l'aérosol en suspension. L'échantillonneur est généralement composé d'une tête de prélèvement qui permet de sélectionner une ou plusieurs granulométries, d'une porte filtre renfermant le média filtrant (filtre), d'un dispositif de mesure du débit et d'un système de pompage (Figure 1).



**Figure 1 : Schéma des différents éléments d'un dispositif de collecte par filtration (Renoux et al., 1998)**

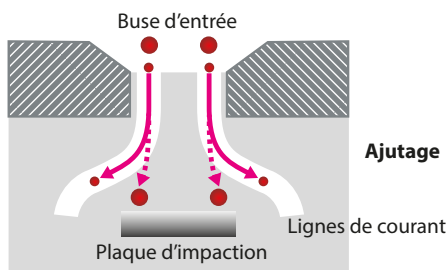
La tête de prélèvement est un dispositif destiné à éliminer du flux d'air échantillonné, les particules d'un diamètre (aérodynamique) supérieur au diamètre de coupure du dispositif. Les systèmes couramment utilisés sont les cyclones. Un volume d'air connu de l'aérosol est prélevé sur le filtre dont on détermine l'augmentation de la masse par une pesée au laboratoire avant et après le prélèvement. Lorsque la concentration massique est faible (e.g. de l'ordre de  $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), cette opération nécessite d'enregistrer des variations de poids très faibles afin de limiter le volume d'air prélevé. Dans ces conditions, les pesées doivent être effectuées dans un environnement contrôlé de façon à éviter la variation d'humidité relative et les phénomènes électrostatiques.

En fonction de l'objectif de la mesure, le prélèvement peut se faire à l'extérieur du bâtiment, dans l'ambiance, à proximité de l'extracteur ou à l'intérieur de celui-ci ou encore au niveau du système respiratoire du travailleur. Attention, cette méthode nécessite d'utiliser une salle en condition contrôlée, une balance de précision et une procédure méticuleuse de pesée. La conservation et le transport des filtres sont des opérations très délicates.

### Pesée inertielle

Les dispositifs les plus largement utilisés et étudiés sont les impacteurs dont le principe est fondé sur les propriétés d'inertie des particules. Ces systèmes se basent sur le fait que les particules ayant une inertie supérieure à une certaine valeur limite ne suivent pas les lignes de courant de l'air échantillonné. Tout dispositif d'impaction est

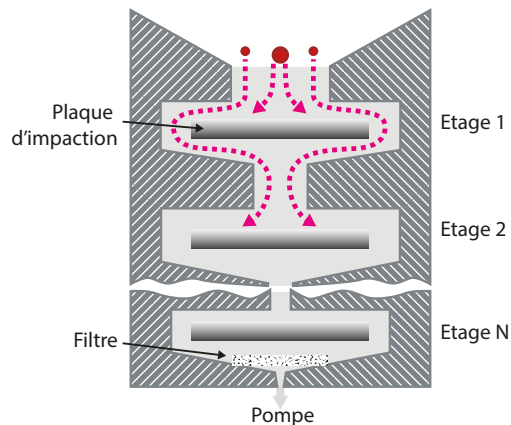
Trajectoire  $\rightarrow$  qui va être impactée sur la plaque  
d'une particule :  $\dashrightarrow$  trop petite pour venir s'impacter sur la plaque



**Figure 2 : Schéma de principe d'un étage d'impacteur (Renoux et al., 1998)**

caractérisé par sa courbe d'efficacité. Elle représente l'efficacité de l'impacteur à répondre à un nombre de Stokes donné - nombre sans dimension représentant le rapport entre l'énergie cinétique de la particule et l'énergie dissipée par frottement avec le fluide. Un étage d'impaction est constitué d'un ajutage dirigeant un jet d'air à haute vitesse contre une surface solide. On aura alors une impaction des particules supérieures à un certain diamètre de coupure. Chaque étage comportera donc une buse d'entrée et une surface d'impact, comme le montre la Figure 2.

Les particules sont aspirées au travers de la buse. Celles ayant une taille supérieure au diamètre de coupure vont entrer en collision avec la plaque ; les autres, de diamètre plus petit et de vitesse plus élevée, vont continuer leur trajectoire jusqu'aux étages suivants (Figure 3).



**Figure 3 : Schéma de principe d'un impacteur en cascade (Renoux et al., 1998)**

Classiquement, les gammes dimensionnelles prélevées vont de quelques dixièmes de  $\mu\text{m}$  à  $50 \mu\text{m}$  et permettent une séparation pouvant aller, pour les impacteurs commerciaux, jusqu'à 12 gammes de diamètre.

### Pesée dynamique

#### La balance oscillante (TEOM)

La microbalance oscillante à éléments coniques (« Tapered element oscillating microbalance » TEOM, Thermo Scientific) est une technique utilisée pour mesurer en continu les concentrations de particules dans l'air. Elle se compose d'un instrument équipé d'une entrée sélective de taille pour échantillonner l'une des gammes de taille de particules suivantes :

- particules totales en suspension (TSP),
- particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à  $10 \mu\text{m}$  (PM<sub>10</sub>),
- particules de diamètre aérodynamique inférieur ou égal à  $2,5 \mu\text{m}$  (PM<sub>2,5</sub>).

Cette technique offre les avantages de la mesure directe de la masse en temps réel et la collecte des particules sur une cartouche filtrante qui peut être soumise à une analyse post-collecte.

Le TEOM est constitué d'une pompe qui aspire l'échantillon à 16,7 L/min (Figure 4). Ce flux d'air est ensuite divisé de sorte que 3 L/min de l'échantillon est dirigé vers l'élément conique tandis que le reste est envoyé à l'échappement. L'élément conique est constitué d'une cartouche de filtre montée sur la pointe d'un tube de verre creux. La base du tube ne peut pas se déplacer, mais la pointe est libre de vibrer à sa fréquence naturelle (de manière similaire à un diapason). Tout poids supplémentaire provenant de particules collectées sur le filtre change la fréquence à laquelle le tube oscille. Le circuit électronique détecte ce changement et calcule le taux de masse des particules à partir de la grandeur du changement de fréquence.

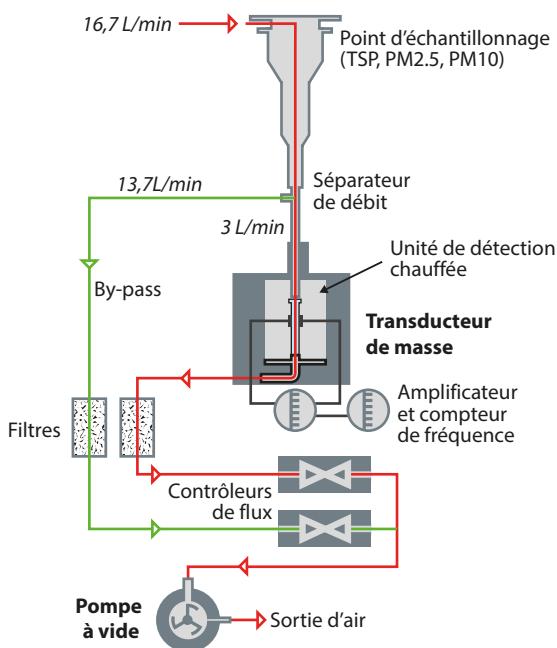


Figure 4 : Principe de fonctionnement du TEOM (Rupprecht et al., 1992)

L'instrument renvoie ensuite le tube de verre vibrant à sa fréquence naturelle, prêt pour la mesure suivante. Le système est maintenu ainsi à une température et un débit constants. La concentration massique de particules dans l'air échantillonné est obtenue en divisant le taux de masse sur le filtre par le débit (Rupprecht et al., 1992).

Attention, l'échantillon doit être chauffé, il peut y avoir une perte de composants volatils qui se traduit par un résultat inférieur à la réalité.

Pour pallier le problème de volatilisation de certaines espèces, une nouvelle technologie TEOM, appelée TEOM-FDMS, a été développée. Cette nouvelle technologie est basée sur le principe suivant : l'air ambiant, aspiré via une tête de prélèvement PM10 ou PM2.5, passe dans un système de déshumidification. Le chauffage de la microbalance est abaissé à 30°C, ce qui limite la volatilisation des composés volatils.

### La jauge bêta

La jauge bêta détermine la concentration en particules par la mesure de la quantité d'énergie absorbée par l'échantillon exposé à une source radioactive. Les rayons bêta de faible énergie sont absorbés par collision avec les électrons, dont le nombre est proportionnel à la densité. L'absorption est ainsi fonction de la masse de matière traversée par les rayons, indépendamment de la nature physico-chimique de celle-ci. Au terme du prélèvement, le filtre empoussiéré est exposé au rayonnement bêta pour une durée prédéfinie. Cette méthode de mesure massique normalisée (NF X43-017) n'est influencée ni par la nature physico-chimique des particules ni par leur couleur ou leur forme.

Une jauge bêta se compose d'une source Carbone 14 de très faible activité. Elle émet des rayons de type bêta, que le détecteur de rayonnements radioactifs, le tube Geiger Muller, réceptionne. Ce détecteur est fixé à une distance donnée, en aval du ruban filtre (en fibre de verre) qui collecte les particules en suspension dans l'air.

Attention, le transport, le stockage et l'utilisation de cet appareil nécessitent de suivre des consignes de sécurité bien précises. Aussi, les profils d'absorption diffèrent d'un élément à l'autre. Il faut à chaque emplacement, s'assurer de l'équivalence avec le procédé de référence ou définir un algorithme de conversion.

### Les méthodes optiques

Les méthodes optiques font appel aux lois de diffusion de la lumière par les particules. Lorsqu'un faisceau lumineux traverse un volume de gaz contenant des particules en suspension, il subit une absorption et une diffusion. La quantité de lumière absorbée ou diffusée va être fonction de la concentration en particules. Différentes techniques ont été développées sur des méthodes dans l'axe (la microphotographie, l'ombroscopie, l'holographie, mais surtout l'extinction, la diffraction et la rétrodiffusion) et des méthodes hors axes (compteurs optiques et vélocimètres Doppler).

Le compteur optique de particules est basé sur la mesure de l'intensité diffusée par une particule. Un faisceau laser est focalisé sur un volume de mesure à travers lequel les particules en suspension passent une par une. La quantité

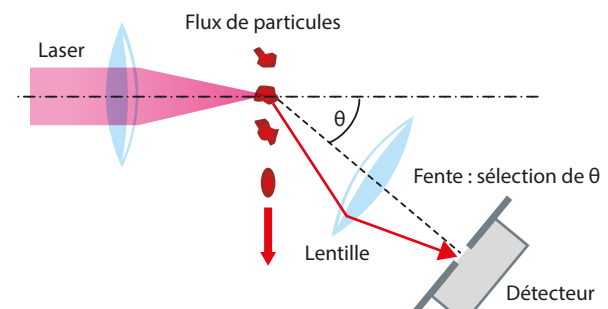


Figure 5 : Schéma du principe de mesure d'un compteur optique (Renoux et al., 1998)

de lumière diffusée à un angle  $\theta$  est alors mesurée par un détecteur (Figure 5). Des algorithmes sont ensuite utilisés afin d'obtenir la taille de la particule connaissant son spectre de diffusion angulaire.

L'inconvénient majeur est que cette conversion est établie sur les propriétés optiques d'une poussière étalon de composition bien définie, qui ne correspond pas à la diversité des particules présentes dans l'atmosphère, en particulier en élevage. De plus, étant basé sur des propriétés optiques, cet appareil est plus sensible au nombre de particules qu'à leur masse. Ces appareils fournissent donc une estimation de la concentration massique. Néanmoins, dans certains cas, il est possible de calibrer l'appareil par rapport aux conditions de mesure. Pour cela, une comparaison est faite entre la concentration massique cumulée mesurée avec l'appareil optique et la concentration massique mesurée avec un dispositif gravimétrique de référence. Enfin, si la chambre de mesure est encrassée, le système de diffusion de la lumière peut être pollué, pouvant entraîner une incohérence des données mesurées.

L'Aerodynamic Particle Sizer (APS, TSI) est un dispositif constitué de deux parties majeures, une buse pour accélérer les aérosols et un détecteur laser, donc c'est un appareil de mesure aérodynamique avec détection optique. L'air chargé en particules est aspiré à travers un petit orifice afin de créer une accélération. Les particules mettent une certaine durée pour ajuster leur vitesse à celle de l'air à cause de leur inertie. Ainsi, le diamètre aérodynamique est déterminé par la simple mesure de la vitesse de chaque particule après leur passage dans la buse, du fait que le diamètre aérodynamique est proportionnel au retard à l'ajustement.

A la sortie de l'orifice, deux faisceaux lumineux émis par une diode laser traversent chaque particule, qui à leur tour, produisent deux impulsions séparées par un certain délai appelé « temps de vol » mesuré à l'aide d'une horloge interne (Time-of-flight, TOF en anglais) comme le montre la Figure 6.

Les impulsions lumineuses produites sont détectées par un photomultiplicateur, qui les convertit en réponse électrique. (Armendariz & Leith, 2002). Les plus grandes TOF représentent les grosses particules ayant une vitesse plus faible que celle de l'air.

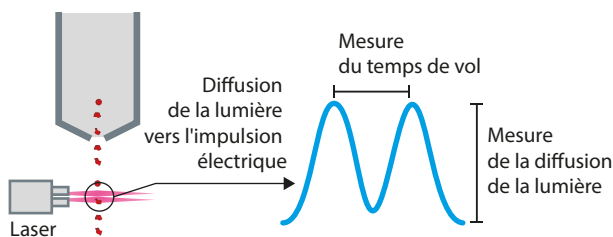


Figure 6 : Schéma représentant la mesure du temps de vol dans un APS (TSI, 2017)

## Quel(s) équipement(s) de mesures choisir ?

Le tableau 1 liste les équipements utilisés pour mesurer les particules en élevage d'après la littérature disponible. 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 particules 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  $m^3$  d'air ou en masse par  $m^3$  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  $\mu m$  : 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 assurée 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'inter-comparaison de trois appareils GRIMM acquis par les partenaires du projet, la Chambre d'Agriculture de Bretagne (GRIMM A), l'INRAE 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

Tableau 1 : Liste des équipements utilisés pour mesurer les particules en élevage d'après la bibliographie

Principe de mesure	Équipement	Adapté aux conditions d'élevage	Mesure les particules TSP, PM10 et PM2,5	Mesure en continu air ambiant/ extrait/ extérieur	Données affichées : concentration		Équipé d'un filtre
					massique	en nombre	
Pesée collecte sur filtre	Collecte sur filtre sans tête de prélèvement	-	-	-	-	-	-
	Collecte sur filtre avec cyclone (SKC, TSI, URG)	✓	x	x	✓	x	✓
	Derenda Low Volume Sampler 3.1 avec un échantillonneur PNS 16	✓	x	x	✓	x	✓
	Medium volume air sampler TH-150 A (Tianhong)	✓	x	x	✓	x	✓
	Casella total dust sampling heads T 13087 (SKC)	✓	x	x	✓	x	✓
	Triplex cyclones (model SCC 1.062)	✓	x	x	✓	x	✓
	Portable direct recorder (Sibata)	✓	x	x	✓	x	✓
	Seven Hole Sampler – SHS (SKC, DEHA)	✓	✓	x	✓	x	✓
	IOM Inhalable Dust Sampler	✓	x	x	✓	x	✓
	CIP10 (Tecora)	✓	x	x	✓	x	✓
Pesée collecte inertielle	Impacteur à cascade : RespiCon (TSI, Wetzal)	✓	✓	x	✓	x	✓
	Andersen sampler system	✓	✓	x	✓	x	✓
	Five stage minicascade impactor (MKI)	✓	✓	x	✓	x	✓
	Dekati impactor	✓	x	x	✓	x	✓
	Harvard Impactor (Air Diag. and Engine.)	✓	x	x	✓	x	✓
	IPS	✓	x	x	✓	x	✓
	MiniVol Air Sampler (Airmetrics)	✓	x	x	✓	x	✓
Pesée dynamique	TEOM model 1400a / 1405-D / 1400 (Thermo Fisher Scientific)	✓	✓	✓	✓	x	✓
	Jauge beta : Beta-Dust Monitor	✓	✓	✓	✓	x	✓
Mesure optique	Dust Track model 8520 /8250 / 8530 / 8533 / 8534 (TSI)	✓	✓	✓	✓	x	x
	Haz Dust EPAM-5000	✓	✓	✓	✓	x	x
	Grimm model 1.109 (GmbH)	✓	✓	✓	✓	✓	✓
	compteur optique OSIRIS-2015 (Turnkey Ltd)	✓	✓	✓	x	✓	x
	M.I.E, Mini Ram (Hoskin Scientific)	✓	x	✓	x	✓	x
	Compteur optique de particules Rion	✓	✓	✓	x	✓	x
	Sidepack AM510 (TSI)	✓	x	✓	x	✓	x
	Personnal DataRam pDr-1500 (Thermo Scientific)	✓	✓	✓	x	✓	x
	Graywolf Particle Counters Handheld 3016IAQ (GrayWolf Sensing Solutions)	✓	x	✓	x	✓	x
	TM digital uP respirable dust-measuring instrument (Dräger)	✓	x	✓	x	✓	x
	Aerosol mass monitor (Sibata)	✓	✓	✓	x	✓	x
	APS sampling system - 3310A / 3320 / 3321 (TSI)	✓	x	✓	x	✓	✓

sont révélées tout à fait comparables avec un diamètre médian de 0,26 et environ 0,35  $\mu\text{m}$  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 (GRIMM A et GRIMM 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  $\text{kg}/\text{m}^3$ ). 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.

## Quels protocoles pour mesurer les particules en élevages ?

L'émission est calculée à partir du gradient de concentration en particules entre l'air entrant et 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.

### Points de mesures

La mesure des concentrations en particules de l'air entrant est facilement réalisable car la vitesse d'air est faible. Selon Costa *et al.* (2007), le point de prélèvement peut être positionné soit dans les combles, soit à l'extérieur du bâtiment (Figure 7).

L'accès au comble étant difficile, le choix a été fait de faire une mesure ponctuelle afin d'éviter de surestimer la concentration avec une sonde polluée. La durée de mesures ne sera que de 30 min.

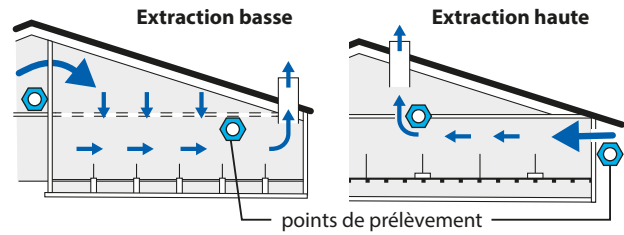


Figure 7 : Points de prélèvement en fonction du circuit d'air dans le bâtiment (Costa, 2007)

Pour l'air extrait, deux situations peuvent se rencontrer :

#### • Cas d'une extraction haute

D'après Hofschreuder *et al.* (2007), il est conseillé de prélever l'air à 0,5 m du bord de l'extracteur et à 0,10 m sous celui-ci afin d'avoir un angle de 30° entre le bord de l'extracteur et le point de prélèvement d'air.

#### • Cas d'une extraction basse

Réaliser un échantillonnage dans la gaine d'extraction est difficile à cause de la vitesse d'air variable entre 1 et 4 m/s. L'obtention d'une mesure fiable avec le Grimm nécessite un prélèvement isocinétique. Ce type de prélèvement requiert la mise en oeuvre de sondes adaptées aux gammes de vitesse d'air rencontrées. Les gammes de vitesses des sondes isocinétiques disponibles avec l'appareil sont les suivantes : < 2 m/s, 2 à 4 m/s et de 4 à 6 m/s et 6 à 8 m/s. Adapter la sonde aux gammes de vitesse nécessite donc l'intervention de l'opérateur et une mesure en continu de la vitesse d'air. Ce qui n'est pas envisageable dans le cadre d'un protocole de mesure simplifié étant donné la dynamique de variation des vitesses d'air (notamment à la mi-saison).

C'est pourquoi afin d'éviter des risques de non représentativité des prélèvements, il est conseillé de réaliser un prélèvement d'air avec la sonde iso cinétique radiale dans la salle (Costa *et al.*, 2007-2009). De plus, Van Ransbeeck

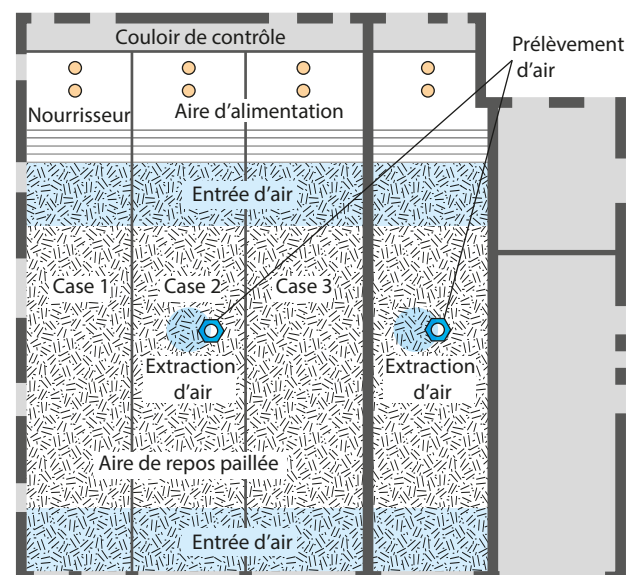
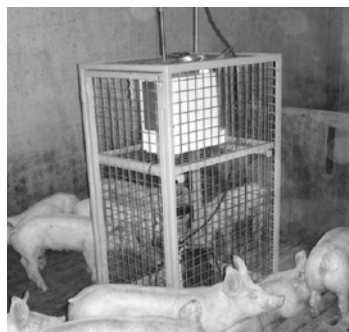


Figure 8 : Points de prélèvement d'air en salle d'engraissement en élevage de porcs (Haeussermann, 2007)



*et al.* (2012) et *Xu et al.* (2016) conseillent de positionner l'appareil dans une cage attachée ou non au caillebotis afin de le protéger avec un point de prélèvement de l'air à une hauteur de 1,60 m (Figure 9).



**Figure 9 :** Cage dans laquelle se trouve l'appareil de mesure (Van Ransbeeck, 2012)

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 m 10. Le dispositif de mesure sera installé au milieu du couloir de la salle afin de ne pas être endommagé par les animaux (Figure 8).

### Durée de prélèvements

La majorité des études montrent 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.

Le choix est fait de réaliser des mesures en continu des particules durant 24 h.

### Fréquence des prélèvements

L'objectif du projet PAPOVIT 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. D'après *Van Ransbeeck et al.* (2013) et *Hoschreuder et al.* (2007), pour aboutir à cet objectif, il est nécessaire de réaliser plusieurs mesures au cours du cycle de production. Ils conseillent 6 périodes de mesures de 24 h répartis au cours du cycle de production. Néanmoins, le nombre de périodes de mesure est variable en fonction des auteurs : 2 périodes de 24 h pour *Jacobson et al.* (2002), 3 périodes de 24 h pour *Costa et al.* (2009) 4 périodes de 24 h pour *Harn et al.* (2010), 8 périodes de 24 h pour *Modini et al.* (2010) et 6 périodes d'une semaine pour *Haeussermann et al.* (2007).

Pour les porcs charcutiers, le choix est fait de mesures sur 3 périodes :

- 1<sup>ère</sup> période entre 14 et 18 jours de présence en engraissement

- 2<sup>ème</sup> période entre 45 et 50 jours de présence en engraissement
- 3<sup>ème</sup> période entre 78 et 82 jours de présence en engraissement

### Mesure ou estimation du débit

Différents appareils ou méthodes de mesure sont utilisés pour mesurer le débit d'air : hélice folle (*Aert et al.*, 2008), anémomètre à boule chaude (*Modini et al.*, 2010), ou la méthode du bilan CO<sub>2</sub> (*Jacobson et al.*, 2002).

Le choix est fait de quantifier le débit en continu durant les 24 heures par la méthode du bilan CO<sub>2</sub> sur la base de mesures de concentrations à l'aide d'une sonde CO<sub>2</sub> et des données boîtier de ventilation en élevage de porcs.

### Calcul des émissions

Les émissions horaires de particules sont calculées en multipliant le gradient moyen horaire de concentration en particules (Centrant et Csortant) par le débit de ventilation moyen (D).

$$\text{Émission} = (\text{Csortant} - \text{Centrant}) \times D$$

Avec Emission en g/h, Csortant et Centrant en g /m<sup>3</sup> et D en m<sup>3</sup>/h

Les émissions horaires peuvent alors être rapportées à la période d'élevage des animaux – en multipliant par la durée de présence des animaux – et à l'animal produit – en divisant par le nombre d'animaux présents - en fonction des besoins de l'étude.

### Conclusions

Après avoir analysé la littérature disponible, la méthode optique et la collecte sur filtre sont les deux principes retenus pour la mesure des émissions de particules en élevage de porcs. La deuxième partie de l'étude a permis d'établir un protocole applicable en conditions d'élevage. Ce protocole est d'ailleurs en application dans près d'une trentaine d'élevages en vue d'acquérir des connaissances sur les facteurs d'émission de particules des élevages français en fonction de leurs conduites (mode de présentation de l'aliment, gestion des effluents).

### Remerciements

Cet article est une valorisation des acquis du projet PAPOVIT (Particules en élevages de porcs et de volailles et itinéraires techniques : mise au point méthodologique et acquisition de facteurs d'émissions) qui a reçu le soutien financier du CASDAR (AAP Innovation et de Partenariat n°5619).

## Références bibliographiques

- Aarnink, A. J. A., Landman, W. J. M., Melse, R. W., et al. (2011). Scrubber Capabilities To Remove Airborne Microorganisms And Other Aerial Pollutants From The Exhaust Air Of Animal Houses. *Transactions of the Asabe*, 54(5), 1921-1930.
- Aarnink, A. J. A., Mosquera, J., Winkel, A., et al. (2009). Options For Dust Reduction From Poultry Houses. Paper Presented At The CIGR International Symposium On 'Agricultural Technologies In A Changing Climate', Australia.
- Adell, E., Calvet, S., Torres, A. G., et al. (2012). Particulate Matter Concentrations And Emissions In Rabbit Farms. *World Rabbit Science*, 20(1), 1-11. doi: 10.4995/wrs.2012.1035
- Adell, E., Estelles, F., Torres, A. G., et al. (2012). Morphology, Chemical Composition, And Bacterial Concentration Of Airborne Particulate Matter In Rabbit Farms. *World Rabbit Science*, 20(4), 241-252. doi: 10.4995/wrs.2012.1211
- Aerts, J. M., Vranken, E., Berckmans, D., et al. (2008). Modelling Dust Emission from Fattening Pig Houses. [Article]. *Automatika*, 49(3-4), 119-125.
- Al-Homidan, A. H. (2004). Effect Of Temperature And Litter Depth On Ammonia, Dust Concentrations And Broiler Performance. *Egypt. Poult. Sci.*, 24, 995-1004.
- Banhazi, T. M., Rutley, D. L., & Pitchford, W. S. (2008). Identification of risk factors for sub-optimal housing conditions in Australian piggeries: Part 4. Emission factors and study recommendations. *Journal of Agricultural Safety and Health*, 14(1), 53-69.
- Banhazi, T. M., Seedorf, J., Rutley, D. L., et al. (2004). Instrumentation Kit For Measuring Airborne Pollutants In Livestock Buildings. Paper presented at the International Society for Animal Hygiene, Saint-Malo
- Butera, M., Smith, J. H., Morrison, W. D., et al. (1991). Concentration Of Respirable Dust And Bioaerosols And Identification Of Certain Microbial Types In A Hog-Growing Facility. *Canadian Journal of Animal Science*, 71(2), 271-277. doi: 10.4141/cjas91-035
- Calvet, S., Van den Weghe, H., Kosch, R., et al. (2009). The Influence Of The Lighting Program On Broiler Activity And Dust Production. *Poultry Science*, 88(12), 2504-2511. doi: 10.3382/ps.2009-00255
- Cambra-Lopez, M., Hermosilla, T., Lai, H. T. L., et al. (2011). Particulate Matter Emitted From Poultry And Pig Houses: Source Identification And Quantification. *Transactions of the Asabe*, 54(2), 629-642.
- Cambra-López, M., Torres, A. G., Aarnink, A. J. A., et al. (2011). Source Analysis Of Fine And Coarse Particulate Matter From Livestock Houses. *Atmospheric Environment*, 45(3), 694-707. doi: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.10.018
- Cambra-Lopez, M., Winkel, A., Mosquera, J., et al. (2015). Comparison Between Light Scattering And Gravimetric Samplers For PM10 Mass Concentration In Poultry And Pig Houses. *Atmospheric Environment*, 111, 20-27. doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.03.051
- Cambra-Lopez, M., Winkel, A., van Harn, J., et al. (2009). Ionization For Reducing Particulate Matter Emissions From Poultry Houses. *Transactions of the Asabe*, 52(5), 1757-1771.
- Chen, Y. (1995). Method of measurement of dust deposition and generation rates for livestock buildings.
- Citepa, (2019). Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France. Format Secten.
- Coggins, M., Mc Donnell, P., Fleming, G., et al. (2007). Exposure Assessment To Airborne Contaminants In The Indoor Environment Of Swine Farms. Report. National University of Ireland, Galway.
- Costa, A., Guarino, A., Porro, M., et al. (2007). Evaluation Of Pm10 Emission From Farrowing And Fattening Swine Rooms By Continuous On-Line Measurements. *Journal of Agricultural Engineering*, 38(1). doi: https://doi.org/10.4081/jae.2007.1.59
- Costa, A., & Guarino, M. (2009). Definition Of Yearly Emission Factor Of Dust And Greenhouse Gases Through Continuous Measurements In Swine Husbandry. *Atmospheric Environment*, 43(8), 1548-1556. doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.11.009
- Fablet, C., Bidan, F., Dorenlor, V., et al. (2010). Evaluation De La Concentration En Poussières Respirables En Elevage De Porcs. Etude Descriptive Dans 144 Elevages Français. Paper presented at the 6<sup>ème</sup> édition des Journées Interdisciplinaires de la Qualité de l'Air
- Gustafsson, G. (1999). Factors Affecting The Release And Concentration Of Dust In Pig Houses. *Journal of Agricultural Engineering Research*, 74(4), 379-390. doi: 10.1006/jae.1999.0476
- Haeussermann, A., Götz, M., & Hartung, E. (2007). Particulate Emissions From Deep-Bedded Growing-Finishing Pigs. Paper presented at the DUSTCONF 2007 - How to improve air quality, Maastricht NL.
- Harn, J. v., Aarnink, A. J. A., Mosquera Losada, J., et al. (2012). Effect Of Bedding Material On Dust And Ammonia Emission From Broiler Houses. *Transactions of the ASABE / American Society of Agricultural and Biological Engineers*, 55, p. 219 - 226.
- Hartung, J., Schulz, J., Clauß, M., et al. (2012). Emission And Dispersion Of Bio-Aerosols From Livestock Housing. In *International Symposium (Ed.), Emission of Gas and Dust from Livestock (EMILI) : International Symposium, June 10 - 13, 2012 in St. Malo, France.*
- Heber, A.J., Ni, J.Q., Lim, T.T., Tao P.C., Air emission from swine production buildings. (2004). Final Report to Premium Standard Farms, Inc, Princeton, Missouri.
- 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, 2007-04-23/2007-04-24
- Huaitalla, R. M., Gallmann, E., & Liu, X. (2011). Particulate Matter emitted from a Pig Farm in Beijing: A Preliminary Study. In L. Xuan (Ed.), *Environmental Science and Development (Vol. 4, pp. 45-47).*
- Huneau-Salaün, A., Rousset, N., Balaine, L., et al. (2012). Daily Variations Of Dust Concentration In The Air Of Poultry Houses For Laying Hens. Paper presented at International Symposium on Emissions of gas and dust from Livestock (EMILI 2012), France. [http://www6.inra.fr/animal\\_emissions/Page-d-accueil/Actualites/EMILI-2012](http://www6.inra.fr/animal_emissions/Page-d-accueil/Actualites/EMILI-2012)
- Jacobson, L. (2002). Development Of Methods To Measure Dust (PM10) And Ammonia Emissions From Minnesota Pig Facilities: Report. University of Minnesota.
- Jensen, A. (2002). Changing The Environment In Swine Buildings Using Sulfuric Acid. *Transactions of the ASAE*, 45(1), 223-227.
- Kic, P. (2016). Dust Pollution In Buildings For Chicken Fattening. Paper presented at the 6th International Conference on Trends in Agricultural Engineering, Prague, Czech Republic.
- Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., et al. (2008). Effect Of Manual Feeding On The Level Of Farmer's Exposure To Airborne Contaminants In The Confinement Nursery Pig House. *Ind Health*, 46(2), 138-143.
- Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., et al. (2007). Monitoring Of Aerial Pollutants Emitted From Swine Houses In Korea. *Environmental Monitoring and Assessment*, 133(1-3), 255-266. doi: 10.1007/s10661-006-9578-x

- Koziel, J. A., Cai, L., Lo, Y.-C., et al. (2007). Characterization Of Volatile Organic Compounds And Odorants Associated With Swine Barn Particulate Matter. Paper presented at the International Conference How to improve air quality.
- Lai, H. T., Aarnink, A. J., Cambra-López, M., et al. (2012). Airborne Particles In Animal Houses. Paper presented at the 2012 IX International Livestock Environment Symposium (ILES IX).
- Lai, H. T. L., Aarnink, A. J. A., Cambra-López, M., et al. (2014). Size Distribution Of Airborne Particles In Animal Houses. *CIGR Journal*, Vol 16(3).
- Le Bouquin, S., Huneau-Salaün, A., Huonnic, D., et al. (2013). Aerial Dust Concentration In Cage-Housed, Floor-Housed, And Aviary Facilities For Laying Hens. *Poultry Science*, 92(11), 2827-2833. doi: 10.3382/ps.2013-03032
- Martinec, M., Hartung, E., Jungbluth, T., Schneider, F., Wieser, P.H. (2001). Reduction of gaz, odor and dust emissions from swine operations with biofilters. Conference Sacramento, CA July 29-August 1, 2001
- Mankell, K. O., Janni, K. A., Walker, R. D., et al. (1995). Dust Suppression In Swine Feed Using Soybean Oil. *Journal of animal science*, 73(4), 981-985. doi: 10.2527/1995.734981x
- Melse, R. W., Hofschreuder, P., & Ogink, N. W. M. (2012). Removal Of Particulate Matter (Pm10) By Air Scrubbers At Livestock Facilities : Results Of An On-Farm Monitoring Program. *Transactions of the Asabe*, 55(2), 689-698.
- Mitchell, B. W., & Baumgartner, J. W. (2007). Electrostatic Space Charge System For Reducing Dust In Poultry Production Houses And The Hatchery. Paper presented at the International Conference How to improve air quality.
- 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. doi: 10.1071/an09207
- Mosquera, J., Wagemans, M. J. M., Aarnink, A. J. A., et al. (2004). Guidelines To Use The Respicon Unit For Dust Concentration Measurements In Practice. Wageningen: Agrotechnology & Food Innovations.
- Nimmermark, S., Lund, V., Gustafsson, G., et al. (2009). Ammonia, Dust And Bacteria In Welfare-Oriented Systems For Laying Hens. *Ann Agric Environ Med*, 16(1), 103-113.
- Ogink, N. W. M., Aarnink, A. J. A., Mosquera, J., et al. (2010). Development And Testing Of Technical Measures For The Abatement Of Pm10 Emissions From Poultry Housings Paper presented at the XVIIth World Congress of the International Commission of Agricultural and Biosystems Engineering (CIGR), Québec City, Canada
- Renoux A., Boulaud D. (1998). Les aérosols, physique et métrologie. Lavoisier Ed.
- Rupprecht E., Meyer M., Patashnick H. (1992). The tapered element oscillating microbalance as a tool for measuring ambient particulate concentration in real time. European Aerosol Conference, Oxford, UK
- Ulens, T., Demeyer, P., Ampe, B., et al. (2015). Effect Of Grinding Intensity And Pelleting Of The Diet On Indoor Particulate Matter Concentrations And Growth Performance Of Weanling Pigs. *Journal of Animal Science*, 93(2), 627-636. doi: 10.2527/jas2014-8362
- Ulens, T., Millet, S., Van Ransbeeck, N., et al. (2014). The Effect Of Different Pen Cleaning Techniques And Housing Systems On Indoor Concentrations Of Particulate Matter, Ammonia And Greenhouse Gases (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O). *Livestock Science*, 159, 123-132. doi: 10.1016/j.livsci.2013.10.024
- Urbain, B., Prouvost, J., Beerens, D., et al. (1996). Chronic exposure of pigs to airborne dust and endotoxins in an environmental chamber. *Veterinary research*, 27(6), 569-578.
- 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.
- Van Ransbeeck, N., Van Langenhove, H., Van Weyenberg, S., et al. (2012). Typical Indoor Concentrations And Emission Rates Of Particulate Matter At Building Level: A Case Study To Setup A Measuring Strategy For Pig Fattening Facilities. *Biosystems engineering*, 111(3), 280-289.
- Vantklooster, C. E., Roelofs, P., & Denhartog, L. A. (1993). Effects Of Filtration, Vacuum Cleaning And Washing In Pighouses On Aerosol Levels And Pig Performance. *Livestock Production Science*, 33(1-2), 171-182. doi: 10.1016/0301-6226(93)90248-g
- Wang, X., Zhang, Y., Riskowski, G. L., et al. (2002). SE—Structures and Environment: Measurement And Analysis Of Dust Spatial Distribution In A Mechanically Ventilated Pig Building. *Biosystems Engineering*, 81(2), 225-236. doi: https://doi.org/10.1006/bioe.2001.0014
- Winkel, A., Demeyer, P., Feilberg, A., et al. (2014). Measurement Of Particulate Matter: Recommendations For The VERA Test Protocol On Air Cleaning Technologies. Report.
- Winkel, A., Mosquera, J., Ellen, H. H., et al. (2012). Dust Filtering Properties And Ammonia Emission Of On-Farm Drying Systems For Poultry Manure. Paper presented at the International Symposium on the Emissions of gas and dust from Livestock (EMILI 2012), France. [http://www6.inra.fr/animal\\_emissions/Page-d-accueil/Actualites/EMILI-2012](http://www6.inra.fr/animal_emissions/Page-d-accueil/Actualites/EMILI-2012)
- Winkel, A., Rubio, J. L., in't Veld, J., et al. (2015). Equivalence Testing Of Filter-Based, Beta-Attenuation, TEOM, And Light-Scattering Devices For Measurement Of PM10 Concentration In Animal Houses. *Journal of Aerosol Science*, 80, 11-26. doi: 10.1016/j.jaerosci.2014.10.009
- Wood, D. (2015). The Evaluation of Ammonia and Particulate Matter Control Strategies for Poultry Production Facilities. Doctor of Philosophy.
- Worley, J. W., Naeher, L. P., Czarick, M., et al. (2013). Monitoring Of Fine Particulates Downwind Of Broiler Houses—A Field Study. *The Journal of Applied Poultry Research*, 22(2), 351-360. doi: 10.3382/japr.2012-00646
- Xu, W., Zheng, K., Meng, L., et al. (2016). Concentrations and Emissions of Particulate Matter from Intensive Pig Production at a Large Farm in North China. *Aerosol and Air Quality Research*, 16(1), 79-90. doi: 10.4209/aaqr.2015.02.0078
- Yang, X., Wang, X., Zhang, Y., et al. (2011). Characterization Of Trace Elements And Ions In PM10 And PM2.5 Emitted From Animal Confinement Buildings. *Atmospheric Environment*, 45(39), 7096-7104. doi: https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2011.09.037
- Yao, H. Q., Choi, H. L., Lee, J. H., et al. (2010). Effect Of Microclimate On Particulate Matter, Airborne Bacteria, And Odorous Compounds In Swine Nursery Houses. *J Anim Sci*, 88(11), 3707-3714. doi: 10.2527/jas.2009-2399
- Zhao, Y., Aarnink, A. J. A., Hofschreuder, P., et al. (2009). Evaluation Of An Impaction And A Cyclone Pre-Separator For Sampling High PM10 And PM2.5 Concentrations In Livestock Houses. *Journal of Aerosol Science*, 40(10), 868-878. doi: 10.1016/j.jaerosci.2009.06.001
- Zheng, W., Zhao, Y., Xin, H., et al. (2013). Concentrations And Size Distributions Of Airborne Particulate Matter And Bacteria In An Experimental Aviary Laying-Hen Chamber. *Transactions of the Asabe*, 56(6), 1493-1501.

### Référence bibliographique de cet article

- Lagadec S., Guingand N., Hassouna M., Joubert A., 2020. Les particules en élevage porcin. Etat de l'art sur les équipements de mesures et protocoles utilisés : choix de la méthode adaptée. *Cahiers IFIP*, 7(1), 15-24.