

Etat de l'art des protocoles de mesure des émissions de particules et expérimentations complémentaires

Solène Lagadec, Chambre régionale d'agriculture de Bretagne
Mélynda Hassouna, Jérôme Chiffe, INRA UMR-SAS
Nadine Guingand, IFIP-Institut du porc
Aurélien Joubert, Walid Mrad, Laurence Le Coq, IMT Nantes atlantique



Cette synthèse bibliographique dresse un état des lieux des protocoles mis en œuvre pour mesurer les émissions de particules. 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 émissions de particules varient en fonction du type de sol (caillebotis ou litière), du type de litière (paille ou sciure), de l'aliment (farine, granulé, soupe, composition), de l'animal (espèce, activité), du type de bâtiment (âge, ventilation, entrée d'air) et des conditions d'ambiance (température, hygrométrie relative). Afin d'identifier les leviers d'action, il est nécessaire de mesurer correctement les émissions de particules. Le protocole de mesure à mettre en œuvre doit permettre d'obtenir des résultats représentatifs, robustes et reproductibles.

1. Quelle méthode de mesure et équipements associés utilisée ?

L'analyse de la bibliographie a montré que l'appareil de mesure le plus adapté aux conditions et objectifs fixés est le compteur de particules optique Grimm 1.109 associé à une mesure gravimétrique.

Des expérimentations complémentaires ont montré que l'utilisation du filtre du Grimm 1.109 ne permet pas une mesure fiable avec filtre de la masse cumulée par l'appareil durant le prélèvement. Il est donc nécessaire d'utiliser un autre dispositif gravimétrique (porte-filtre) en parallèle des mesures.

Cette donnée (masse mesurée avec le dispositif gravimétrique) servira de référence à l'évaluation d'un facteur de correction des données du Grimm. Ce facteur (appelé Facteur C) varie en fonction des masses volumiques des particules. Il sera donc nécessaire de l'évaluer à chaque nouvelle campagne de mesure.

Les concentrations massiques pour chaque fraction seront alors calculées à partir des concentrations en nombre mesurées avec le Grimm, du volume des particules et du facteur C.

Protocole : Le choix est fait d'utiliser un Grimm 1.109 avec en parallèle une mesure gravimétrique avec un porte-filtre.

2. Où prélever l'air ?

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.

2.1. L'air entrant

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 1).

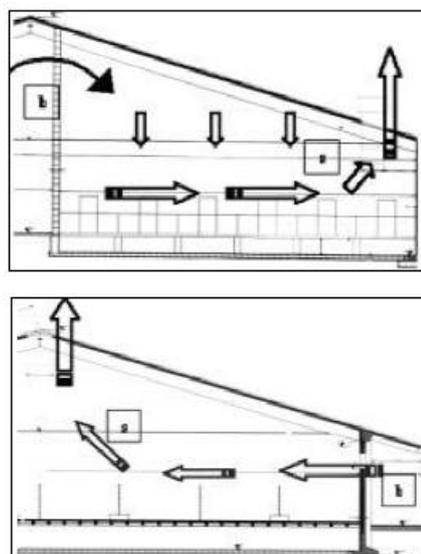


Figure 1 : points de prélèvement en fonction du circuit d'air dans le bâtiment (Costa, 2007)

Protocole : L'accès aux combles 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 mesure sera de 30 minutes.

2.1. L'air sortant

- Cas d'une extraction haute (porcs)

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.

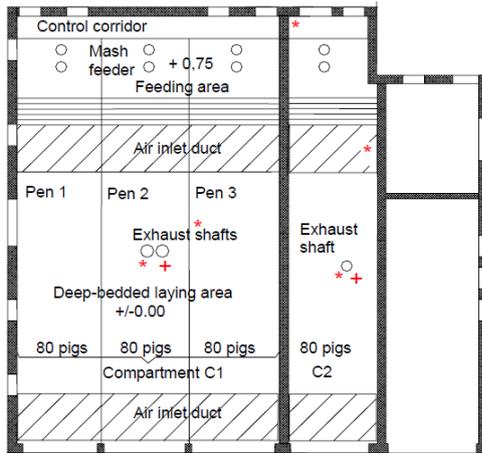


Figure 2 : Points de prélèvement d'air (+) en salle d'élevage en élevage de porcs (Haeussermann, 2007)

- Cas d'une extraction basse (porcs)

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 œuvre de sondes adaptées aux gammes de vitesse d'air rencontrées. Les gammes de vitesses des sondes iso-cinétiques 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 mise à l'élevage).

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 Ransbeek 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 4).

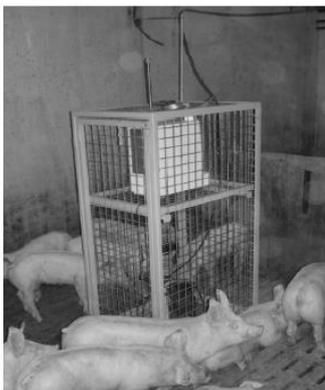


Figure 4 : Cage dans laquelle se trouve l'appareil de mesure (Van Ransbeek, 2012)

- Cas d'une extraction en pignon

Modini et al. (2010) ont réalisé un prélèvement d'air à l'extérieur à l'aide d'une gaine de 11 m connectée à un ventilateur dans le cas d'un bâtiment à ventilation dynamique avec extraction en pignon. Jerez et al. (2005) ont positionné l'appareil de mesure dans la salle en face d'un des extracteurs (figure 2).

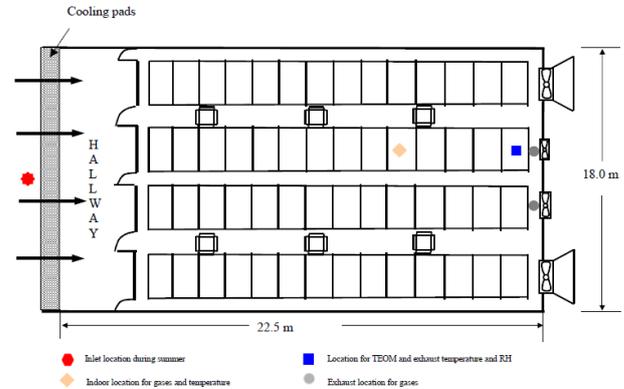


Figure 2 : Points de prélèvement d'air (Jerez et al. 2005)

- Cas d'une extraction statique

Il n'y a pas de publication sur le sujet.

Protocole :

-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 1m10. Le dispositif de mesure sera installé au milieu du couloir de la salle afin de ne pas être endommagé par les animaux.

-En bâtiment volaille à ventilation dynamique avec extraction haute, l'appareil sera positionné au milieu du bâtiment à une hauteur de 1,10 m.

3. Quelle durée de prélèvement ?

La majorité des études montrent qu'une durée de 24 heures 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.

Protocole : le choix est fait de réaliser des mesures en continu des particules durant 24 heures.

4. A quelle période réaliser la mesure ?

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. En volaille, il s'agit de 32-36 jours pour les poulets de chair.

D'après Van Ransbeek 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. Ils conseillent 6 périodes de mesures de 24 heures 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).

Protocole : En élevage de porcs et de volailles, trois campagnes de mesure seront réalisées au cours du cycle de production.

Pour les porcs à l'engrais :

- 1- entre 14 et 18 jours de présence en engraissement
- 2- entre 45 et 50 jours de présence en engraissement
- 3- entre 78 et 82 jours de présence en engraissement

Pour les volailles « standard » (base 36.52 jours):

- 1- Une première campagne entre 5 et 9 jours de présence
- 2- Une deuxième campagne entre 17 et 21 jours de présence
- 3- Une troisième campagne entre 29 et 33 jours de présence

Pour les volailles « légères » (base 32 jours):

- 1- Une première campagne entre 4 et 9 jours de présence
- 2- Une deuxième campagne entre 14 et 18 jours de présence
- 3- Une troisième campagne entre 25 et 29 jours de présence

5. Comment estimer les débits de ventilation ?

Différents appareils de mesure sont utilisés pour mesurer le débit d'air : hélice folle (Aert et al., 2008), anémomètre à boule chaude (Modini et al., 2010), bilan CO₂ (Jacobson et al., 2002).

PAPOVIT : Le choix est faire de quantifier le débit en continu durant les 24 heures par bilan CO₂ sur la base de mesures de concentrations à l'aide d'une sonde CO₂ et des données boitier de ventilation (en élevage de porcs).

6. Comment calculer les émissions de particules ?

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

Émission (g / h) = (Centrant- Csortant(g / m³)) × D (m³ / h).

D'après Harn et al. (2010), les émissions annuelles sont calculées à partir des émissions moyennes par multiplication par 24 heures et 365 jours, en le divisant par le nombre de poulets

initialement placés à l'intérieur des bâtiments et en corrigeant une inoccupation des chambres de 19% temps.

Références bibliographiques

Aerts, J. M., Vranken, E., Berckmans, D., et al. (2008). Modelling Dust Emission from Fattening Pig Houses. [Article]. *Automatika*, 49(3-4), 119-125.

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

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.

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.

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

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).

Kim, K. Y., Ko, H. J., Kim, H. T., (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

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

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

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.

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

Comment citer ce document ?

Solène LAGADEC, Mélynda HASSOUNA, Jérôme CHIFFE, Nadine GUINGAND, Aurélie JOUBERT, Walid MRAD, Laurence LE COQ, Décembre 2017. Etat de l'art des protocoles de mesures des particules et expérimentations complémentaires. Synthèse projet PAPOVIT, 8 pages.

Mots-clés :

Porc, volailles, particules, méthode de mesure, équipements, PM2,5, PM10, inhalable, alvéolaire, thoracique, concentrations, émissions,

Annexe 1 : Protocoles de mesure issus de la bibliographie

Product ion	Auteur	Nom de la publication	Description bâtiment	Particules ciblées	Méthode de mesure	Localisation du point de prélèvement	Echantillonnage	Durée de la mesure	Mesure du débit de ventilation	Calcul de l'émission
Volaille	Harn, 2010	Effect of bedding material on dust and ammonia emission from broilers houses		PM10 et PM2,5	Gravimétrie - collecte sur filtre : Cyclone (URG) + pompe Charlie HV (Ravebo)	A 0,5 m du bord de l'extracteur et à 0,10 m sous l'extracteur + à l'extérieur		Poulet (35 jours de production) 24h à J16, J23, J30 et J33	Anémomètre	$Emission (g/h) = (C_{\text{extrait-Centrant}} (g/m^3)) \times Q (m^3/h)$.
	Hofschreuder, 2007	Measurement protocol for determining fine dust emission factors of animal housing systems		PM10 et PM2,5	Gravimétrie - collecte sur filtre : Cyclone (URG) + pompe Charlie HV (Ravebo)	A 0,5 m du bord de l'extracteur et à 0,10 m sous l'extracteur + à l'extérieur pour la mesure de l'air entrant.		6 jours dans une période de 2 mois		L'émission des particules est calculée à partir de la moyenne des concentrations sur 24 heures (4 fermes x 6 mesures par ferme pendant 24 heures). En prenant l'anti-log de la moyenne sur 24 h, on obtient la médiane des observations. L'écart-type calculé à l'échelle logarithmique donne une estimation du coefficient de variation à l'échelle normale. L'émission médiane de particules par jour est multipliée par 365 jours et multipliée par le facteur d'occupation.
	Modini, 2010	Dust emission from a tunnel-ventilation broiler poultry shed with fresh and partially reused litter		PM10, PM2,5	DustTrack + APS sampling system - 3320 (TSI)	En face de l'extracteur (11 m) à l'extérieur à l'aide d'une sonde isocinétique - pas de mesure de l'air entrant	Conduit en polyéthylène (longueur 15 m) fixé à un extracteur d'air (1,37 m de diamètre).	Poulet (56 jours de production) - 2 à 4 heures de mesures le matin à J14, J21, J28, J35, J37, J42, J49, J55	Anémomètre à boule chaude (TSI)	Multiplication de la concentration (mg/m3) par le débit de ventilation (m3/s). Moyenne des prélèvements réalisés tout au long du cycle de production.
Porc Porc	Aerts, 2008	Modelling Dust Emission from Fattening Pig Houses	Bat dymanique - extraction haute	respirables	Haz Dust EPAM-5000	Le long du couloir central, proche des ventilateurs		37 à 92 heures tout au long de l'année	Helice folle (Fancom FMS)	
	Costa, 2007	EVALUATION OF PM10 EMISSION FROM FARROWING AND FATTENING SWINE ROOMS BY CONTINUOUS ON-LINE MEASUREMENTS	Bat dymanique	PM10	Haz Dust EPAM-5000	Intérieur proche de l'extracteur + dans le couloir où la vitesse d'air n'influe pas la mesure (vitesse d'air < 0,5 m/s) + à l'extérieur de la ferme, proche de			Helice folle	

						l'entrée dair			
Costa, 2009	Definition of yearly emission factor of dust and greenhouse gases through continuous measurements in swine husbandry	Bat dynamique extraction haute	PM10			Positionnée dans la sale de sorte à ce que la vitesse d'air soit < 0,5 m/s (Haeusserman n, 2008) + à l'extérieur de la ferme, proche de l'entrée d'air	J15, J45, J70	Ventilateur équipé d'un moniteur qui enregistre le debit toutes les minutes	Emission = CxV
Huaitalla 2011	Particulate Matter emitted from a Pig Farm in Beijing: A Preliminary Study	Bat dynamique	PM10, PM2,5, PM1	Dust Track Model 8520 (TSI)		A 2m de hauteur, au centre de la pièce afin de couvrir l'espace de vie des animaux			
Haeussermann, 2007	Particulate emissions from deep-bedded growing-finishing pigs		PM10, PM2,5	Dust Track Model 8520 (TSI)		2 mesures intérieur (couloir de contrôle à 1,5m de hauteur + surface de repos 0,5m au-dessus de la litière) et 1 mesure conduite d'évacuation = [ventilateur - PM]=0,8m / [PM- mesure Q]=0,7m	Porc à l'engrais : 6 semaines de mesures répartis au cours des 3 mois de production	5 semaines (trois semaines pour les enclos 1, 2 et 3 pendant la période I; une semaine pour l'enclos 4 pendant la période II; une semaine pour l'enclos 4 pendant la période III)	
Heber, 2004	Air emission from swine production buildings		TSP, PM10	TEOM - 1400a		Dans la pièce près des ventilateurs de 91 cm, mais suffisamment éloigné pour que la vitesse de l'air soit 2 m/s ou moins	Trial 1: 22 jours trial 2: 15 jours trial 3: 6 jours trial 4: 15 jours	propeller anemometers (SVA) (R.M. Young Company, Traverse City, Michigan))	
Jacobson, 2002	Development of methods to measure dust (PM10) and ammonia emissions from Minnesota pig facilities		PM10	MiniVol Air Sampler (Airmetrics)		Au milieu de la salle à 1,80 m de hauteur	2 périodes de 24 h	Bilan CO ₂	

Kim, 2007	Monitoring of Aerial Pollutants Emitted from Swine Houses in Korea			Particules totales	Portable direct recorder (Sibata)	Au milieu du couloir à 0,3 m et 0,15 m de hauteur				<p>Ventilation dynamique: surface du ventilo*moyenne de la vitesse (mesurée toutes les 2 et 8 heures avec un anémomètre à fil chaud (Model 444, Kurw µinc., Monterey; Calif.)</p> <p>Ventilation statique: la méthode d'Albright, L. D. (1990). Environmental control for animals and plants. St. Joseph, MI: ASAE.</p>
Martinec, 2001	Reduction of gas, odor and dust emissions from swine operations with biofilters			Particules > 0,18 µm	Five stage minicascade impactor (MKI)	Dans la porcherie, avant et après traitement de l'air				
Van Ransbeeck, 2013	Indoor concentration measurements of particulate matter at a pig fattening facility : comparison and equivalence tests with different sampling instruments and measuring techniques				Grimm + Derenda + Dekati PM10 impactor + Beta Dust Monitor	dans une case vide entourée de cases avec porcs - entrée d'air de l'appareil à 1 m des autres à la même hauteur		5 périodes : 1 : 1-9, 2 : 29-41, 3 : 57-66, 4 : 93-103, 5 : 100-120		
Van Ransbeeck, 2012	Typical indoor concentrations and emissions rates of particulate matter at building level : a case study to setup a measuring strategy for pig fattening facilities				2 Grimm	dans une cage attachée au caillebotis au milieu de la case - mesures à différentes hauteurs : animal (0,8 m), homme (1,6 m) et sortie d'air (2,4 m)				ventilateur calibré

Etat des lieux des méthodes de mesure des particules et équipements associés, Octobre 2017

	Xu, 2016	Concentrations and Emissions of Particulate Matter from Intensive Pig Production at a Large Farm in North China		TSP, PM10	Medium volume air sampler TH-150 A (Tianhong)	dans une cage en fer positionnée au milieu de la case à 1,60 m de hauteur + à l'extérieur à 2 m de hauteur et 6 m du bâtiment			Bilan thermique	