

Particules en élevage porcin : établissement de facteurs d'émission des TSP, PM10 et PM2,5 en conditions de terrain

Nadine GUINGAND (1), Solène LAGADEC (2), Mélynda HASSOUNA (3), Anne-Laure BOULESTREAU-BOULAY (4)

(1) IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

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

(3) INRAE, UMR SAS, rue de Saint Brieuc, 35042 Rennes, France

(4) CRAPL, 9 rue André Brouard, 49105 Angers, France

nadine.guingand@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Loréna GIRRE et Delphine LOISEAU (1),

Pierre LE DÉVÉHAT (2), Paul-Henri COCULA, Alexandre BARTEAU et Emma DESDOUETS (4)

Particules en élevage porcin : établissement de facteurs d'émission des TSP, PM10 et PM2.5 en conditions de terrain

Après avoir établi, dans une première phase du projet, une méthode adaptée aux conditions nationales de production, la deuxième phase du projet PAPOVIT avait pour objectif de mettre en œuvre cette méthode dans des élevages porcins présentant des itinéraires techniques différents, afin d'établir des facteurs d'émission des particules : TSP, PM10 et PM2,5. A cet effet, des mesures des différentes fractions de particules au moyen d'un compteur optique (Grimm), couplées à des mesures massiques sur filtre, ont été réalisées durant 24 heures dans l'ambiance de 28 salles d'élevages du Grand Ouest, de 2018 à début 2020, sur deux périodes climatiques contrastées (chaude vs froide). Deux modalités de présentation de l'aliment (granulés vs soupe) ont été croisées avec deux modalités de gestion des effluents (stockage en préfosse vs raclage). Les concentrations mesurées en période chaude sont significativement inférieures à celles mesurées en période froide, alors que les émissions sont significativement supérieures dans le premier cas. Les profils des particules – rapports des PM2,5 et PM10 sur les TSP – ne sont pas affectés par les modalités de présentation de l'aliment et de gestion des effluents. Cependant, les concentrations et les émissions sont significativement inférieures pour les salles combinant une alimentation en soupe et un raclage des effluents par rapport aux autres modalités.

Indoor concentrations and emission rates of particulate matter: TSP, PM10 and PM2.5 emission factors measured on French pig farms.

After establishing a specific protocol adapted to national production conditions in France, the second phase of the PAPOVIT project aimed to implement it on pig farms with different technical conditions in order to establish emission factors for total suspended particles (TSP), PM10 and PM2.5. To this end, particle fractions were measured with an optical counter (Grimm) and mass measurements on filters for 24 hours in the atmosphere of 28 fattening rooms in Western France, from 2018 to early 2020, during two contrasting climatic periods (hot vs cold). Two forms of feed presentation (pellets vs liquid feed) were combined with two slurry management modes (storage in the pit vs scraping). Concentrations measured during the warm period were significantly lower than those during the cold period, while emissions were significantly higher. The ratios of PM2.5, PM10 and TSP were not influenced by the forms of feed presentation or slurry management modes. However, concentrations and emissions were significantly lower for rooms that combined liquid feeding and slurry scraping than for rooms with other combinations.

INTRODUCTION

Même si l'élevage porcin contribue à moins de 1 % de l'émission totale de particules (TSP) au niveau national (Citepa, 2019), il est important d'identifier les pratiques moins émettrices à mettre en œuvre pour limiter l'impact sur la santé des travailleurs et des animaux, et respecter la réglementation. Pour cela, il faut d'abord améliorer les connaissances sur les facteurs d'émissions. Or, en 2020, Lagadec *et al.* mettaient en évidence une grande disparité des facteurs d'émissions de particules par catégorie animale, en partie liée aux méthodes de mesure mises en œuvre. Ainsi, dans le cadre d'un projet dédié aux particules en élevages porcin et avicole, une méthode adaptée aux conditions nationales de production a été établie (Lagadec *et al.*, 2020). Cette méthode a été appliquée dans des élevages du Grand Ouest de la France pour établir des facteurs d'émissions de particules (TSP, PM10 et PM2,5) selon les différents itinéraires techniques pratiqués. L'originalité de l'étude réside dans (i) la mise en œuvre d'un protocole adapté aux conditions nationales de production porcine et (ii) la présentation des concentrations particulaires en masse mais aussi en nombre pour les différentes fractions. En effet, la bibliographie a peu documenté la connaissance sur les nombres de particules.

L'objet de cet article est de présenter des facteurs d'émission obtenus pour les TSP, PM10 et PM2,5 selon deux paramètres discriminants - le mode de présentation de l'aliment et la gestion des effluents - et de discuter des valeurs obtenues, en masse et en nombre, au regard de la bibliographie.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Salles

Vingt-six élevages naisseurs-engraisseurs du Grand Ouest de la France ont été impliqués dans cette étude, avec un total de vingt-huit salles d'engraissement de porcs charcutiers (entre 25 et 105 kg). Les élevages ont été choisis afin de construire un échantillon représentatif des conditions nationales de production et en intégrant deux modalités de présentation des aliments - granulés vs soupe - et de gestion des effluents - stockage en préfosse avec évacuation gravitaire en fin de bande vs racleage des effluents.

Les mesures ont été réalisées au cours de deux périodes climatiques contrastées : une période dite « chaude » (de juin à septembre 2018 et de mai à septembre 2019) et une période dite « froide » (de fin octobre 2018 à mars 2019 et de décembre 2019 à mars 2020).

Par période climatique, trois campagnes de mesures ont été réalisées au cours du cycle de production : C1 entre 14 et 18 jours de présence des porcs en engraissement, C2 entre 45 et 50 jours et C3 entre 78 et 82 jours.

1.2. Mesures et enregistrements

Les salles associant une alimentation avec granulés et un stockage des effluents en préfosse sont majoritaires dans notre échantillon. Elles sont aussi très représentatives des conditions nationales de production.

Pour chaque salle, un descriptif général a été établi, incluant les caractéristiques de la ventilation (type d'extraction, nombre et diamètre des ventilateurs), la dimension (surface et volume), le nombre de cases et d'animaux par case, ainsi que l'âge du bâtiment concerné.

Pour chaque campagne, les paramètres suivants ont été mesurés : concentrations de particules en nombre et en masse, concentration en CO₂, débit de ventilation, température et hygrométrie.

Pour les mesures de particules, de la température et de la concentration en CO₂ dans l'ambiance, la durée de chaque campagne de mesures est de 24 heures, alors que pour les mesures réalisées à l'extérieur, elle a été réduite à 30 minutes.

La concentration en particules a été mesurée au moyen d'un compteur optique de particules (Grimm 11-A, Intertek, France) équipé d'une sonde radiale placée, pour les mesures ambiantes, à 1 mètre au-dessus du caillebotis, au centre de la salle et, pour les mesures extérieures, à proximité du bâtiment. Cet appareil permet d'obtenir une concentration des fractions (TSP, PM10 et PM2,5), exprimée en nombre et en masse de particules (en µg par m³).

La concentration en dioxyde de carbone (CO₂) dans l'ambiance et à l'extérieur a été obtenue par une sonde (Vaisala GMP252), et la température et l'hygrométrie ont été mesurées en continu par une sonde Kistock (KtH-300P, Kimo, France) placée au centre de la salle.

Le débit de ventilation des salles a été obtenu soit (i) à partir de la mesure de la vitesse d'air par un anémomètre à fil chaud placé dans la gaine d'extraction soit (ii) à partir des concentrations en CO₂ et des productions de chaleur des animaux, en appliquant les équations proposées par la CIGR (Pedersen et Sällvik, 2002). Les données de ventilation (minimum, maximum, plage, température de consigne et pourcentage de ventilation) ont permis de calculer un débit de ventilation théorique qui a pu être confronté au débit mesuré et/ou calculé à partir de la teneur en CO₂. Le débit par animal a ensuite été calculé en divisant le débit de la salle par le nombre d'animaux présents lors de chaque campagne de mesures.

Les émissions des fractions de particules (TSP, PM10 et PM2,5) sont ensuite calculées pour chacune à partir des gradients de concentrations (en nombre ou en masse par m³ d'air) et des débits par animal (en m³.h⁻¹). Pour comparer ces valeurs avec la littérature, les émissions ont été exprimées en kg par place et par an. Le taux annuel d'activité a été établi à 95% pour intégrer la période des vides sanitaires entre bandes.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Caractéristiques des salles

Un total de 28 salles a été impliqué dans cette étude. Leurs caractéristiques, en fonction des modalités de présentation de l'aliment et de gestion des effluents, sont présentées dans le tableau 1. Les valeurs moyennes sont calculées sur les deux périodes climatiques.

Tableau 1 – Caractéristiques des salles impliquées dans l'étude

Présentation aliment Gestion effluent	Granulés Préfosse	Soupe Préfosse	Soupe Racleage
Nombre de salles	13	9	6
Nombre de porcs/salle	109±42	155±47	283±142
Surface par porc (m ²)	0,76±0,24	0,85±0,07	0,87±0,15
Débit par porc (m ³ .h ⁻¹)	30±16	33±21	30±19
Température ambiante. (°C)	24,7±2,5	23,9±1,7	25,0±1,7
Hygrométrie ambiante (%)	64,9±5,9	66,0±6,0	62,7±6,6

Pour l'ensemble des paramètres, aucune différence statistiquement significative n'a été mise en évidence entre les trois types de salles. On notera cependant que les salles

associant alimentation par granulés et présence d'une préfosse, présentent une surface par animal un peu plus faible (0,76 m² vs 0,86 m² en moyenne) que celle des deux autres types de salles.

L'analyse de l'âge des bâtiments met en évidence une différence statistiquement significative entre les trois modalités présentes dans l'échantillon ($P < 0,001$). Avec une moyenne de 22 ± 9 ans, les salles associant alimentation en granulés et stockage de effluents en préfosse sont significativement plus anciennes que celles avec soupe et stockage des effluents en préfosse (18 ± 12 ans). Les salles associant une alimentation en soupe avec le raclage des effluents sont significativement les plus récentes (6 ± 4 ans) de notre échantillon. Il est donc fort possible que ces dernières salles soient aussi plus étanches et que la gestion de la ventilation y soit mieux optimisée.

2.2. Impact de la période de mesures

La variation des concentrations en particules dans l'air extérieur n'a pas permis d'exploiter ces données. La courte durée de mesure combinée avec la variabilité des environnements des bâtiments d'élevage explique cette situation. C'est pourquoi, les données de concentration et d'émission présentées dans les tableaux suivants ne sont pas corrigées des concentrations de l'air extérieur (ce qui est d'ailleurs aussi le cas de la plupart des données bibliographiques disponibles).

Les mesures ont été réalisées au cours de deux périodes climatiques contrastées (période chaude vs période froide). L'analyse des données met en évidence un effet très significatif de la période sur les températures ambiantes et extérieures et sur le débit de ventilation par porc : comme attendu, les valeurs de la période chaude sont toujours supérieures à celles de la période froide pour les températures ambiantes et extérieures ainsi que pour le débit par porc (tableau 1).

Tableau 1 – Valeurs moyennes des températures ambiante et extérieure, débit de ventilation et concentration en CO₂ selon de la période climatique de mesures

	Période chaude	Période froide	ETR ¹	Effet ²
Température extérieure (°C)	18,8	8,9	1,9	***
Température ambiante (°C)	25,5	23,3	3,4	***
Débit par porc (m ³ .h ⁻¹)	43,1	17,9	4,9	***
Concentration CO ₂ (ppm)	1 367	2 318	422	***

¹ ETR : Ecart-type résiduel - * : $P < 0,05$ - ** : $P > 0,01$ - *** : $P < 0,001$

Les valeurs moyennes de température ambiante obtenues dans l'essai sont cohérentes avec les recommandations de température de consigne (entre 22 et 24°C) pour des porcs à l'engraissement. L'écart de débit par porc entre les deux périodes est très marqué, cohérent avec l'écart de concentration en CO₂ dans l'ambiance. Les valeurs de concentrations en CO₂ mesurées dans l'étude correspondent à des niveaux d'émissions de 1,8 et 2,5 kg CO₂ par porc et par jour, respectivement pour la période froide et chaude. Elles sont en accord avec Philippe *et al.* (2007) qui citent des valeurs moyennes variant entre 1,6 et 2,0 kg de CO₂ par porc et par jour. De nombreux auteurs (Hebert *et al.*, 1988 ; Costa *et al.*, 2009 ; Kwon *et al.*, 2016) ont mis en évidence une corrélation entre le débit de ventilation et la concentration en particules. De ce fait, la poursuite de l'analyse se fera sur des données journalières agrégées et par période climatique (période chaude vs période froide) pour les concentrations, puis pour les émissions des différentes fractions de particules.

2.3. Concentrations en particules (en nombre et en masse)

L'effet de la période climatique est significatif sur les concentrations massiques de particules : la masse est supérieure durant la période froide par rapport à la période chaude, alors que les concentrations en nombres sont proches entre les deux périodes (tableau 2). La réduction des débits en période froide entraîne une moindre évacuation des particules vers l'extérieur, contribuant ainsi à augmenter la concentration massique dans l'ambiance ; résultat déjà observé dans de précédentes études (Hebert *et al.*, 1988 ; Takai *et al.*, 1998 ; Van Ransbeeck *et al.*, 2012 ; Xu *et al.*, 2016). La différence d'effet de la période climatique sur les concentrations en masse et en nombre s'explique par la proportion des particules de plus grande taille qui impacte fortement la concentration massique mesurée. En effet, la concentration en particules dont la taille est supérieure à 10 µm est supérieure de 17 % en période froide par rapport à la période chaude. Une explication envisagée est l'augmentation de l'hygrométrie en période froide vs période chaude qui contribuerait à augmenter le diamètre des particules.

Les valeurs moyennes des concentrations massiques mesurées dans cette étude sont en accord avec la bibliographie. Ainsi, dans l'étude de Takai *et al.* (1998) sur des mesures réalisées dans des élevages d'Europe du Nord, la concentration en TSP varie entre 1 210 et 2 670 µg.m⁻³ tandis qu'elle est de $2 750 \pm 20$ µg.m⁻³ dans l'étude de Wang *et al.* (2002). Dans l'étude de Van Ransbeeck *et al.* (2012), les concentrations moyennes en PM10 et PM2,5 s'élèvent à respectivement 617 µg.m⁻³ et de 33 ± 19 µg.m⁻³.

Nos données exprimées en nombre de particules ne peuvent être comparées à la littérature du fait de l'absence de publication dans cette unité d'expression.

Tableau 2 – Concentrations en particules par période

	Période chaude	Période froide	ETR ¹	Effet ²
Concentration en masse (µg.m ⁻³)				
PM2,5	35,6	53,1	20,5	***
PM10	580,1	757,9	282,1	***
TSP	1181	1370	537	T
Concentration en nombre (nombre.m ⁻³)				
PM2,5	93 909	88 456	63 162	-
PM10	96 868	92 797	63 867	-
TSP	96 986	92 932	63 883	--

¹ ETR : Ecart-type résiduel

² T : Tendence* : $P < 0,05$ - ** : $P > 0,01$ - *** : $P < 0,001$

Si, en masse, les PM2,5 ne représentent que 3 à 4 % de la masse totale, en nombre, elles sont très largement majoritaires et représentent 96,8 et 95,2 % des TSP, respectivement pour la période chaude et la période froide.

La concentration en particules, exprimée en masse, augmente de la 1^{ère} à la 3^{ème} campagne sur les deux saisons ; cependant l'effet est significatif uniquement pour la période froide (tableau 3). Pour les concentrations en nombre, les niveaux des 1^{ère} et 2^{ème} campagne sont proches alors que celui de la 3^{ème} est toujours supérieur. Comme pour les concentrations en masse, l'effet campagne n'est significatif que pour la période froide (tableau 3).

L'augmentation des concentrations entre la 1^{ère} et la 3^{ème} campagne est très probablement liée à l'augmentation de la ventilation et du poids des animaux au cours de la période d'engraissement. Cependant, la corrélation entre ces deux

paramètres n'est statistiquement significative que pour la concentration massique en PM_{2,5} sur la période hivernale.

Les concentrations en particules sont ensuite comparées selon le mode de présentation de l'aliment (granulés vs soupe) et le mode de gestion des effluents (préfosse vs raclage, tableau 4). Aucun effet significatif n'est mis en évidence pour les données de concentrations en nombre de particules par m³, et ceci pour les deux périodes étudiées. Lorsque les concentrations sont exprimées en masse, seul l'effet du mode de gestion des effluents est significatif. Cependant, les concentrations - en masse et en nombre - mesurées pour les salles équipées d'une alimentation en soupe et d'un raclage des effluents présentent systématiquement des valeurs inférieures aux deux autres modalités, dans les deux périodes climatiques.

L'effet du mode de présentation de l'aliment a été étudié dans différentes publications qui montrent une réduction des concentrations en particules avec une alimentation liquide par rapport à une alimentation sèche (Takai *et al.*, 1996 ; Pearson et Sharples, 1995). Néanmoins, dans la majorité des études, l'aliment est distribué sous forme de farine et non pas sous forme de granulés comme dans notre étude. L'absence d'effet significatif du mode de présentation de l'aliment peut aussi être lié à la composition des aliments et plus particulièrement à la

teneur en matière grasse des aliments (Takai et Pedersen, 1994).

Tableau 3 – Évolution de la concentration en particules en masse (en µg par m³) en fonction de la campagne de mesures

	C1	C2	C3	ETR ¹	Effet ²
Concentration en masse (µg.m ⁻³) - Période chaude					
PM _{2,5}	32,4	34,7	40,4	17,68	-
PM ₁₀	609,4	539,1	598,2	276,0	-
TSP	1 234	1 111	1 206	589,1	-
Concentration en masse (µg.m ⁻³) - Période froide					
PM _{2,5}	43,1 a	50,7 a	70,9 b	21,4	***
PM ₁₀	661,5	792,8	857,0	303,2	-
TSP	1 124a	1 442ab	1 634b	488,7	**
Concentration en nombre (nombre.m ⁻³) - Période chaude					
PM _{2,5}	82 451	101 706	97 028	66813	-
PM ₁₀	85 458	104 423	100 211	63820	-
TSP	85 585	104 534	100 328	63835	-
Concentration en nombre (nombre.m ⁻³) - Période froide					
PM _{2,5}	77 110 a	72 848 a	123 752 b	62042	*
PM ₁₀	80 803 a	77 221 a	128 972 b	62967	*
TSP	80 918	77 363	129 125	62981	-

¹ ETR : Ecart-type résiduel - ² * : P<0.05 - ** : P>0.01 - *** : P<0.001

Tableau 4 – Concentrations moyennes des différentes fractions de particules en nombre et en masse, selon la période de mesure, le mode de présentation de l'aliment et le mode de gestion des effluents

	Granulés Préfosse	Soupe		ETR ¹	Effet Aliment ²	Effet Effluent ²
		Préfosse	Raclage			
Concentration en masse (µg.m ⁻³) – Période chaude						
PM _{2,5}	41,7 a	36,2 a	22,8 b	16,2	-	*
PM ₁₀	637,1	608,4	445,1	262,2	-	T
TSP	1 285	1 250	899	560,1	-	T
Concentration en masse (µg.m ⁻³) – Période froide						
PM _{2,5}	58,2 a	56,1 a	39,1 b	22,5	-	*
PM ₁₀	787,5 a	858,4 a	557,6 b	286,7	-	**
TSP	1 424,2 a	1 547 a	1 030 b	485,9	-	**
Concentration en nombre (nombre.m ⁻³) - Période chaude						
PM _{2,5}	118 359	88 445	70 819	60 742	-	-
PM ₁₀	118 648	91 561	73 072	60 613	-	-
TSP	118 774	91 693	73 159	60 624	-	-
Concentration en nombre (nombre.m ⁻³) - Période froide						
PM _{2,5}	92 882	97 215	67 088	63 821	-	-
PM ₁₀	97 430	102 150	70 172	64 738	-	-
TSP	97 566	102 307	70 270	64 752	-	-

¹ ETR : Ecart-type résiduel – ² T : Tendances* : P<0,05 - ** : P>0,01 - *** : P<0,001

L'effet du mode de gestion des effluents a été peu étudié à ce jour. Dans l'étude de Lagadec et Toudic (2012), la concentration massique en TSP variait entre 1,37 et 3,01 mg.m⁻³ avec un stockage des effluents en préfosse et était systématiquement inférieure, entre 0,78 et 2,14 mg.m⁻³ avec raclage ; dans les deux cas, les animaux étant alimentés en soupe. Dans l'étude de Cambra-López *et al.* (2011) sur l'identification des sources de particules en porcherie, 88,8 % des PM_{2,5} avaient pour origine les effluents stockés en préfosse. Avec une évacuation des déjections plusieurs fois par jour, la surface de contact entre l'air et l'effluent est réduite, limitant ainsi le dessèchement de ce dernier et la production potentielle de particules.

2.4. Émissions de particules en nombre et en masse

Pour faciliter la comparaison avec les données de la littérature, les émissions de particules sont exprimées en kg par place et par an.

D'après Hans-Dieter (2010, cité par Faburé *et al.*, 2011), le facteur d'émission varie, selon les États-membres de l'Union Européenne, entre 0,21 et 0,81 kg.place⁻¹.an⁻¹ pour les TSP, entre 0,20 et 0,73 kg.place⁻¹.an⁻¹ pour les PM₁₀ et entre 0,01 et 0,11 kg.place⁻¹.an⁻¹ pour les PM_{2,5}. Selon l'EMEP/EEA (2019), ces facteurs d'émission sont respectivement de 1,05, 0,14 et 0,006 kg.place⁻¹.an⁻¹. Des mesures réalisées en porcheries commerciales, toujours pour les porcs en engraissement, par Van Ransbeeck *et al.* (2012) conduisent à des valeurs moyennes en PM₁₀ et PM_{2,5} de respectivement 0,170 ± 0,096 et 0,0095 ± 0,0046 kg.place⁻¹.an⁻¹. Si les données obtenues dans notre étude (tableau 5) sont inférieures à celles d'Hans-Dieter (2010) et de l'EMEP/EEA (2019), elles sont en revanche très proches de celles de Van Ransbeeck *et al.* (2012), avec des méthodologies de mesure elles aussi très proches (mesures optiques réalisées en cinq campagnes réparties sur la phase d'engraissement).

Comme pour les concentrations, l'effet période est significatif sur l'émission des trois fractions considérées (tableau 5) : en effet, le débit d'air, significativement plus élevé en période chaude qu'en période froide, induit une émission significativement plus élevée de particules en période chaude par rapport à la période froide, tant en masse de particules qu'en nombre. Ces résultats confirment ceux déjà observés par Van Ransbeeck et al. (2012) et Xu et al. (2016).

Comme pour les concentrations, l'alimentation en soupe avec raclage conduit à des facteurs d'émission de PM2,5, PM10 et TSP inférieurs à ceux des deux autres modalités (pour les deux périodes de mesure).

Tableau 5 – Émission en particules par période

	Période chaude	Période froide	ETR ¹	Effet ²
Emission en masse (kg.place ⁻¹ .an ⁻¹)				
PM2,5	0,011	0,008	0,007	***
PM10	0,176	0,113	0,104	***
TSP	0,367	0,204	0,200	***
Emission en nombre (nombre.place ⁻¹ .an ⁻¹)				
PM2,5	2,99 10 ⁷	1,40 10 ⁷	7,3 10 ⁶	***
PM10	3,08 10 ⁷	1,41 10 ⁷	7,5 10 ⁶	***
TSP	3,09 10 ⁷	1,42 10 ⁷	7,5 10 ⁶	***

¹ ETR : Ecart-type résiduel – ² T : Tendence* : P<0,05 - ** : P>0,01 - *** : P<0,001

Tableau 6 - Émissions moyennes des fractions de particules (en nombre et masse) selon la période de mesures, le mode de présentation de l'aliment et le mode de gestion des effluents

	Granulés	Soupe		ETR ¹	Effet Aliment ²	Effet Effluent ²
	Préfosse	Préfosse	Raclage			
Emission en masse (kg.place ⁻¹ .an ⁻¹) – Période chaude						
PM2,5	0,0122 b	0,0139 b	0,0056 a	0,0075	-	***
PM10	0,1686 b	0,2273 b	0,1113 a	0,1127	T	**
TSP	0,3639 b	0,4669 b	0,2256 a	0,2134	-	**
Emission en masse (kg.place ⁻¹ .an ⁻¹) – Période froide						
PM2,5	0,0089	0,0064	0,0057	0,0063	T	-
PM10	0,1353	0,1039	0,0799	0,0808	-	-
TSP	0,2488	0,1821	0,1475	0,1525	-	-
Emission en nombre (nombre.place ⁻¹ .an ⁻¹) – Période chaude						
PM2,5	3,37 10 ⁷ b	3,63 10 ⁷ b	1,47 10 ⁷ a	2,72 10 ⁷	-	*
PM10	3,47 10 ⁷ b	3,75 10 ⁷ b	1,52 10 ⁷ a	2,75 10 ⁷	-	*
TSP	3,48 10 ⁷ b	3,76 10 ⁷ b	1,53 10 ⁷ a	2,76 10 ⁷	-	*
Emission en nombre (nombre.place ⁻¹ .an ⁻¹) – Période froide						
PM2,5	1,75 10 ⁷	1,09 10 ⁷	0,93 10 ⁷	1,5 10 ⁷	-	-
PM10	1,83 10 ⁷	1,15 10 ⁷	0,97 10 ⁷	1,6 10 ⁷	-	-
TSP	1,84 10 ⁷	1,16 10 ⁷	0,97 10 ⁷	1,6 10 ⁷	-	-

¹ ETR : Ecart-type résiduel – ² T : Tendence* : P<0,05 - ** : P>0,01 - *** : P<0,001

DISCUSSION GENERALE

Historiquement, dans le contexte agricole, les particules ont été étudiées principalement pour leurs impacts sur la santé des animaux (Robertson *et al.*, 1990 ; Donham, 1991) ou des éleveurs (Lagadec *et al.*, 2018). Plus récemment, les recherches sur ce sujet se sont élargies pour prendre en compte l'impact des particules, non plus seulement à l'intérieur des bâtiments, mais aussi, via l'émission dans l'atmosphère, sur l'environnement (Cambra-López *et al.*, 2010 ; Dan *et al.*, 2019). Au plan réglementaire, la directive européenne sur la qualité de l'air (Directive 2008/50/CE, 2008) impose à la collectivité de respecter un seuil maximal de PM10 de 40 µg.m⁻³ en moyenne annuelle et de 50 µg.m⁻³ en moyenne journalière pendant plus de 35 jours par an, sous peine de devoir mettre en œuvre des restrictions spécifiques (sur la circulation routière, par exemple). En lien plus direct avec l'élevage de porcs, le BREF Elevage (Santonja *et al.*, 2017) établit une liste de Meilleures Techniques Disponibles dont certaines visent à réduire l'émission de particules par les bâtiments d'élevage. Dans cette liste, l'alimentation *ad libitum*, la distribution d'aliments humides ou sous forme de granulés sont des techniques considérées comme moins émissives.

Dans notre étude, les particules présentes dans l'ambiance des porcheries d'engraissement sont (i) principalement des PM2,5 (qui représentent entre 94 et 97 % des TSP en nombre mais seulement 2,5 à 3,4 % de leur masse) et (ii) des PM10 (qui représentent environ 99 % du nombre des TSP et entre 46 et

57 % de leur masse). Les particules de plus de 10 µm de diamètre sont donc en très faible nombre mais représentent quasiment la moitié de la masse des particules dans l'air des porcheries. Le profil des particules - rapport des fractions PM2,5 et PM10 avec les TSP - n'apparaît pas différent selon la présentation de l'aliment ou le mode de gestion des effluents.

Dans l'ambiance des bâtiments, les concentrations en particules sont plus élevées en période froide ce qui peut avoir des conséquences sur l'exposition des animaux et du personnel. A l'inverse, en période chaude, l'augmentation des débits de ventilation favorise l'évacuation des particules vers l'atmosphère.

Une réduction, tant en nombre qu'en masse de particules, est observée pour les concentrations et les émissions dans les salles recevant de la soupe et dont les effluents sont évacués par raclage, par rapport aux salles où les effluents sont stockés en préfosse, quel que soit le mode de présentation de l'aliment, granulés ou soupe, soit pour le premier cas une réduction des émissions de 40 % en masse et 53 % en nombre.

CONCLUSION

Cette étude a permis d'acquérir des facteurs d'émission en TSP, PM10 et PM2,5 pour des itinéraires techniques divers et bien représentés dans les conditions françaises de production. Les valeurs acquises se situent dans la large fourchette des valeurs disponibles au niveau européen (EMEP/EEA, 2019). Elle a de

plus permis de mettre en exergue l'importance de la période climatique de mesures mais aussi celle du mode de gestion des effluents et d'identifier l'itinéraire technique le moins émetteur de particules : l'alimentation en soupe avec raclage des déjections.

Cette étude fait partie du projet PAPOVIT qui a reçu le soutien financier du CASDAR (5619). Les auteurs tiennent à remercier les éleveurs ayant accepté d'ouvrir leurs élevages pour la réalisation des mesures.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Cambra-López M., Aarninck A.J.A., Zhao Y., Calvet S., Torres A.G., 2010. Airborne particulate matter from livestock production systems: a review of an air pollution problem. *Environmental Pollution*, 158, 1-17.
- Citepa, 2019. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques et de gaz à effet de serre en France - format Secten, 450 pp.
- Costa A., Borgonovo F., Leroy T., Berckmans D., Guarino M., 2009. Dust concentration variation in relation to animal activity in a pig barn. *Biosystems Engineering*, 104, 118-124.
- Directive 2008/50/CE, 2018. Directive 2008/50/CE du Parlement européen et du Conseil du 21 mai 2008 concernant la qualité de l'air ambiant et un air pur pour l'Europe. *Journal Officiel de l'Union Européenne* du 11 juin 2008, L152/1-L152/44
- Dan S., Sheng W., Zhaojian L., Qian T., Pengyuan D., Yansen L., Chunmei L., 2019. Distribution and physicochemical properties of particulate matter in swine confinement barns. *Environmental Pollution*, 250, 746-753.
- Donham K.J., 1991. Association of environmental air contaminants with disease and productivity in swine. *American Journal of Veterinary Research*, 52(10), 1723-1730.
- EMEP/EEA, 2019. Air pollutant emission inventory guidebook. 3.B. Manure Management, 70 pp.
- Faburé J., Rogier S., Loubet B., Générumont S., Saint-Jean S., Bedos C., Cellier P., 2011. Synthèse bibliographique sur la contribution de l'agriculture à l'émission de particules vers l'atmosphère : identification de facteurs d'émissions. Rapport final. 164 pp.
- Hans-Dieter H., 2010. Calculations for emissions from German agriculture. National Emission Inventory Report (NIR) 2010 for 2008. Special Issue 334, 436 pp.
- Heber A.J., Stroik M., Faubion J.M., Willard L.H., 1988. Size distribution and identification of aerial dust particles in swine finishing buildings. *Transactions of ASAE*, 31(3), 882-887.
- Kwon K.S., Lee I.B., Ha T., 2016. Identification of key factors for dust generation in a nursery pig house and evaluation of dust reduction efficiency using a CFD technique. *Biosystems Engineering*, 151, 28-52.
- Lagadec S., Guingand N., Joubert A., Le Coq L., Hassouna M., 2020. Mise au point d'une méthode de mesure des particules adaptée aux élevages de porcs. *Journées Rech. Porcine*, 52, 343-344.
- Lagadec S., Toudic A., 2012. Adaptation du système Prolap dans un bâtiment porc existant, rapport ADEME 0974C0304, 76 p.
- Lagadec S., Guingand N., Trucheau P., Gabrysiak L., Guinot L., Hassouna M., 2018. Exposition des travailleurs à l'ammoniac et aux particules PM_{2,5} durant l'alimentation des porcelets et le tri des porcs charcutiers. *Journées Rech. Porcine*, 50, 1-6.
- Pedersen, S., Sällvik, K., 2002. 4th Report of Working Group on Climatization of Animal Houses Heat and moisture production at animal and house levels.: Research Centre Bygholm, Danish Institute of Agricultural Sciences.
- Pearson C.C., Sharples T.T., 1995. Airborne dust concentrations in livestock building and the effect of feed. *J. Agric. Engng Res.*, 60, 145-154.
- Philippe F.X., Laitat M., Canart B., Vandenheede M., Nicks B., 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emission during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. *Livestock Science*, 111, 144-152.
- Robertson J.F., Wilson D., Smith W.J., 1990. Atrophic rhinitis: the influence of the aerial environment. *Animal Production*, 50(1), 173-182.
- Santonja G., Georgitzikis K., Scalet B.M., Montobbio P., Roudier S., Delgado L., 2017. Best Available Techniques (BAT) Reference Document for the Intensive Rearing of Poultry or Pigs, EUR 28674 EN, doi : 10.2760/020485.
- Takai H., Pedersen S., 1994. Reduction of dust in swine buildings by adding animal fat in feed. *Proceedings: AgEng »94*, 5-8 September, Milano. Report 94-C-035.
- Takai H., Jacobson L.D., Pedersen S., 1996. Reduction of dust concentration and exposure in pig building by adding animal fat in feed. *J. Agric. Engng*, 63, 113-120
- Takai H., Pedersen S., Johnsen J.O., Metz J.H.M., Groot Koerkamp W.G., Uenk G.H., Phillips V.R., Holden M.R., Sneath R.W., Short J.L., White R.P., Hartung J., Seedorf J., Schröder M., Linkert K.H., Wathes C.M., 1998. Concentrations and emissions of airborne dust in livestock buildings in Northern Europe. *J. agric. Engng. Res.*, 70, 5-77.
- Van Ransbeeck N., Van Langenhove H., Van Weyenberg S., Maes D., Demeyer P., 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. *Biosystems Engineering*, 111, 280-289.
- Xu W., Zheng K., Meng L., Liu X., Hartung E., Roelcke M., Zhang F., 2016. Concentrations and emissions of particulate matter from intensive pig production at a large farm in north China. *Aerosol and Air Quality Research*, 16, 79-90.
- Wang X., Zhang Y., Riskowski G.L., Ellis M., 2002. Measurement and analysis of dust spatial distribution in a mechanically ventilated pig building. *Biosystems Engineering*, 81(2), 225-236.