

Mise au point d'une méthode de mesure simplifiée des émissions d'ammoniac et des gaz à effet de serre des bâtiments d'élevage de porcs en engraissement

Nadine GUINGAND (1), Solène LAGADEC (1), Paul ROBIN (2,3), Mélynda HASSOUNA (2,3)

(1) IFIP Institut du Porc, F-35650 Le Rheu, France

(2) INRA, UMR1069 Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

(3) Agrocampus Ouest, UMR1069, Sol Agro et hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France

nadine.guingand@ifip.asso.fr

Avec la collaboration technique de Delphine LOISEAU (1) et Romain RICHARD (1)

Mise au point d'une méthode de mesure simplifiée des émissions d'ammoniac et des gaz à effet de serre des bâtiments d'élevage de porcs à l'engrais

L'objectif de cette étude est de mettre au point une méthode de mesures, simple et fiable, applicable à un grand nombre d'élevages porcins afin de contribuer à l'amélioration des connaissances sur les facteurs d'émissions pour l'ammoniac et les gaz à effet de serre. Des mesures ont été réalisées en continu sur deux bandes de porcs charcutiers tant sur le volet émissions gazeuses que sur les paramètres zootechniques et environnementaux. Dans un premier temps, les émissions mesurées ont été comparées aux défauts des bilans de masse sur l'azote et le carbone aboutissant à des écarts inférieurs à 20%. Après cette validation des mesures en continu, leurs cinétiques ont été analysées afin de déterminer les périodes de prélèvements optimales au cours de l'engraissement. Sur ces périodes, une estimation des émissions gazeuses a été réalisée à l'aide de la méthode des rapports de concentrations et les résultats ont été comparés aux mesures en continu. La méthode des rapports de concentrations est basée sur les pertes en carbone déduites à partir du bilan de masse et les rapports de concentrations C-CO₂/C-CH₄ et N-NH₃/N-N₂O obtenus avec les prélèvements d'air ponctuels. À l'issue de ces analyses, trois jours de prélèvements (J25, J60 et J80) ont été identifiés comme permettant d'aboutir à une estimation des facteurs d'émissions par porc pour l'ammoniac et les GES avec un écart inférieur à 20 % par rapport aux valeurs mesurées. Dans une dernière étape, la méthode simplifiée a été appliquée sur une dernière bande de porcs charcutiers pour sa validation.

A simplified method of measuring greenhouse gas and ammonia emissions in pig grower-finisher barns

Levels of GHG and ammonia emissions can be determined by continuously measuring concentrations in barn rooms during the entire fattening period. However, the high investment of time and money required by this method limit its widespread application; practically, it would be difficult to justify its use to assess the variability in emissions attributable to housing system, farming practices and climate in a large number of facilities. A simpler and reliable method was needed to assess the variability and develop appropriate mitigation strategies. With that objective in mind, and for two consecutive seasons, NH₃, N₂O, CO₂, CH₄ and water vapor were continuously measured during the entire fattening period. The pigs were reared from 30 to 110 kg on a fully slatted floor. To help validate the simplified method, a comparison of emissions measured in both batches with the nitrogen and carbon mass balances deficit was achieved and showed that 85 and 105% of total nitrogen and carbon losses were explained by measured gaseous emissions. Based on the emission kinetics obtained during continuous measurements, emissions were calculated using the concentrations ratios method. This method was based on carbon losses deduced from carbon mass balance combined with mean gas concentrations ratios obtained with spot measurements during the rearing period. Finally, results showed that intermittent gas concentrations measurements performed between 10 a.m. and 16 p.m. on days 25, 60 and 80 of fattening led to estimates of emission levels with an error less than 20%. Additional batches were used to validate this simplified method.

INTRODUCTION

En France, le secteur agricole est responsable de 19% des émissions de gaz à effet de serre (GES) dont 46% proviennent de l'élevage (CITEPA, 2008). Pour l'ammoniac (NH_3), le secteur agricole contribue à plus de 95% dont 72% sont imputables à l'élevage (CITEPA, 2008). Actuellement, les calculs d'inventaires nationaux utilisent des facteurs d'émissions pour les GES et l'ammoniac qui ne sont pas considérés comme représentatifs des pratiques nationales d'élevages. Afin de diminuer l'incertitude sur ces inventaires, une connaissance approfondie des facteurs d'émissions français devient nécessaire. Les méthodes d'acquisition traditionnelles, basées sur la mesure en continu des émissions gazeuses, ne peuvent être appliquées à un grand d'élevages du fait du temps nécessaire et du coût important lié à leurs mises en œuvre. La mise au point d'une méthode simplifiée, basée sur des mesures ponctuelles doit permettre de combiner réduction du temps et coût de réalisation sans pour autant altérer la précision des données acquises.

Du fait de l'importance du stade porcs charcutiers dans les émissions gazeuses, la méthode simplifiée a été mise au point dans un premier temps en engraissement uniquement.

1. MATERIEL ET METHODES

La méthode simplifiée se base sur la méthode des rapports de concentrations (MRC - Paillat et al., 2005) adaptée aux porcheries. Les équations suivantes (de 1 à 5) sont utilisées :

$$\text{Pertes C} = E_{C_{CO_2}} + E_{C_{CH_4}} \quad (1)$$

avec $E_{C_{CO_2}}$ et $E_{C_{CH_4}}$, les émissions de C sous la forme de CO_2 et de CH_4 , respectivement.

Sur la base de l'équation (1), l'émission pour chaque gaz peut alors être exprimée de la manière suivante :

$$E_{C_{CO_2}} = \text{Pertes C} / [1 + (\text{Gradient}_{C_{CH_4}} / \text{Gradient}_{C_{CO_2}})_{\text{moy}}] \quad (2)$$

$$E_{C_{CH_4}} = E_{C_{CO_2}} \times (\text{Gradient}_{C_{CH_4}} / \text{Gradient}_{C_{CO_2}})_{\text{moy}} \quad (3)$$

$$E_{N_{NH_3}} = E_{C_{CO_2}} \times (\text{Gradient}_{N_{NH_3}} / \text{Gradient}_{C_{CO_2}})_{\text{moy}} \quad (4)$$

$$E_{N_{N_2O}} = E_{C_{CO_2}} \times (\text{Gradient}_{N_{N_2O}} / \text{Gradient}_{C_{CO_2}})_{\text{moy}} \quad (5)$$

où $E_{N_{NH_3}}$ et $E_{N_{N_2O}}$ sont les émissions de N sous formes de NH_3 et N_2O , respectivement. Le gradient par gaz correspond à la différence entre les concentrations mesurées dans l'ambiance et dans l'air extérieur.

L'adaptation de la MRC aux porcheries pour la mise au point de la méthode simplifiée s'est organisée selon les quatre étapes suivantes :

1.1. Etape 1 : Mesures en continu et validation des facteurs d'émission

L'étude a été mise en place au sein de la station expérimentale IFIP de Romillé (35) sur deux bandes de 60 porcs charcutiers issus d'un croisement (PPxLW)x(LWxLD) élevés en conditions climatiques contrastées (B1, d'octobre à janvier – B2, de mars à juin). Par salle, les animaux sont répartis en 6 cases de 10 porcs avec une surface de $0,7 \text{ m}^2$ par porc. Les animaux sont élevés sur caillebotis intégral avec stockage intégral des déjections dans une préfosse de $0,8 \text{ m}$ de profondeur utile. La consigne de température est fixée à 24°C pour la première bande, dite bande d'hiver et à 22°C pour la deuxième bande,

dite bande d'été, avec une plage de 6°C . L'entrée d'air est assurée par un plafond diffuseur alors que l'extraction est basse, c'est-à-dire réalisée sous le caillebotis. Les porcs sont alimentés à volonté avec l'aliment croissance jusqu'à 65 kg puis de l'aliment finition. Les deux aliments sont iso-énergétiques ($9,3 \text{ MJ}$ d'énergie nette). Leur teneur en MAT est, respectivement de $16,5$ et $15,2\%$ pour une teneur en lysine digestible, respectivement, de $0,9$ et $0,8 \text{ g/MJ}$ d'énergie nette.

Les porcs sont mis en lot par poids et par sexe à l'entrée en engraissement puis pesés individuellement lors du changement d'aliment et la veille du départ pour l'abattoir. La quantité d'aliment consommée par case est mesurée entre deux pesées alors que la quantité d'eau consommée par salle est enregistrée de manière hebdomadaire. Les caractéristiques des carcasses sont enregistrées à l'abattoir

La température et l'hygrométrie ambiantes sont mesurées en continu sur toute la durée de présence des animaux à l'aide d'un thermo-hygromètre (TESTO 177H1) placé au centre de la salle. A l'extérieur, la température et l'hygrométrie sont mesurées à l'aide d'un thermo-hygromètre de même modèle. Le débit de ventilation est calculé à partir de la mesure de la vitesse de rotation d'une hélice folle couplée au ventilateur de la salle (FANCOM) et reliée à un système d'acquisition intégrant les données toutes les 15 minutes.

Pour chaque bande, la mesure des concentrations en ammoniac (NH_3), en protoxyde d'azote (N_2O), en dioxyde de carbone (CO_2), en méthane (CH_4) et en vapeur d'eau a été réalisée en continu sur l'air ambiant et à l'extérieur, à l'aide d'un analyseur photoacoustique à infra-rouge (INNOVA 1412) couplé à un échantillonneur-doseur (INNOVA 1303). Les émissions cumulées par gaz sont ensuite calculées en intégrant le différentiel de concentrations entre l'air ambiant et l'air extérieur ainsi que les débits de ventilation appliqués.

A l'entrée des animaux, les préfosse sont vides, nettoyées et désinfectées. A des fins d'analyses, des prélèvements de lisier sont réalisés dans les préfosse lors du changement d'aliment et lors de la vidange finale après le départ des porcs pour l'abattoir. ur chaque échantillon, le pH, matière sèche (MS), azote total (Ntotal), azote ammoniacal (Nammoniacal) et carbone total (Ctotal) sont mesurés en vue de leur intégration dans les calculs de bilans de masse.

Les facteurs d'émissions sont validés par comparaison des émissions gazeuses cumulées (EC) avec le déficit du bilan de masse (DBM) (Hassouna et al., 2008). Les EC doivent être les plus proches possible du DBM pour H_2O , C et N.

Pour le bilan de masse, les entrées sont la somme des quantités de C, N et H_2O des porcelets à l'entrée en engraissement et de l'aliment consommé en engraissement. Les teneurs corporelles des porcelets en N, C et H_2O sont calculées à partir des équations du CORPEN (2003). Les sorties correspondent aux quantités de N, C et H_2O présentes dans les animaux à l'abattage (Noblet et al., 1994) et celles présentes dans les lisiers. Ces dernières sont calculées à partir des volumes de lisiers mesurés et des concentrations en N, C et H_2O résultants des analyses physico-chimiques réalisées sur les échantillons de lisiers prélevés.

1.2. Etape 2 : Comparaison des pertes de carbone calculées avec les données expérimentales (DE) et les données de références (DR)

La MRC est basée sur le bilan de masse en carbone (ég.6) qui nécessite l'intégration des données techniques de l'élevage

(lisier, composition des aliments et quantités, poids des animaux).

$$\text{Pertes C} = Q_{C, \text{carcasse entrée}} + Q_{C, \text{aliment}} - Q_{C, \text{carcasse abattage}} - Q_{C, \text{lisier}} \quad (6)$$

Avec $Q_{C,i}$ quantité de C dans i (i = carcasse à l'entrée, dans l'aliment, dans la carcasse à l'abattage, lisier).

En élevages commerciaux, l'accès à ces données est plus délicat qu'en station expérimentale. Ainsi, pour tester l'applicabilité future de la méthode simplifiée en élevages commerciaux, l'utilisation des données de référence (DR) apparaît indispensable. Les DR sont les valeurs moyennes de références fournies par les organismes techniques et scientifiques (tableau 1).

Tableau 1 - Données de référence (DR) utilisées dans le calcul du bilan de masse carbone

Lisier	Quantité par porc ¹ : 4,1 kg par jour Composition ¹ : 5,8 g N par kg
Aliment	MS ² : 87 %
Lisier	MS ¹ : 6,84 %

¹Levasseur (2006), ²INRA (2002)

Pour chaque bande, le bilan de masse carbone a été calculé en utilisant les données techniques de l'étude (DE) et comparé à celui calculé avec des données de référence (DR). La différence entre les pertes C calculées avec les DE et les DR ne doit pas excéder 30% pour que les DR soient considérées comme exploitables dans l'application de la méthode simplifiée aux élevages commerciaux.

1.3. Etape 3 : Identification des périodes et de la durée des mesures ponctuelles

La méthode simplifiée est basée sur des mesures ponctuelles réparties au cours de la phase d'engraissement.

L'analyse des cinétiques des rapports de concentrations obtenus avec les mesures en continu doit permettre de déterminer les périodes de mesures ainsi que leurs durées. Le choix des périodes de mesures a aussi été réalisé en fonction des conduites techniques et en particulier de l'alimentation, mais aussi de la faisabilité de mise en œuvre de la méthode simplifiée.

Différents jours de prélèvement ont été testés aléatoirement et les émissions obtenues sur ces journées ont été comparées aux émissions réelles mesurées.

La détermination de la durée par jour de prélèvement a été réalisée selon le même schéma de raisonnement que celui appliqué pour la détermination des jours de prélèvement. Des durées de prélèvements seront choisies par rapport à l'analyse de la cinétique des concentrations par jour en fonction de différents critères techniques mais aussi de faisabilité des mesures. Les émissions calculées à partir des modalités de durée ont été comparées aux émissions mesurées.

Pour les jours de prélèvement et leurs durées, un écart maximum de 30% est considéré comme acceptable par les auteurs, au regard des incertitudes qui prévalent sur les données habituellement disponibles.

1.4. Etape 4 : Validation de la méthode simplifiée

Une troisième bande de porcs charcutiers a été engraisée en période hivernale (B3) dans des conditions d'élevage strictement identiques à celles appliquées pour les deux premières bandes. De la même façon, l'ensemble des paramètres environnementaux et zootechniques sont enregistrés. Les résultats d'émissions gazeuses obtenus par application de la méthode simplifiée ont été comparés à ceux des mesures en continu.

2. RESULTATS ET DISCUSSION

2.1. Performances zootechniques

Les porcs ont été abattus entre 103 et 118 jours de présence en engraissement pour l'ensemble des bandes étudiées avec un poids d'abattage moyen d'environ 115 kg (tableau 2). Le gain moyen quotidien (GMQ) était plus élevé pour les porcs élevés en hiver (bandes 1 et 3 – 839 et 841 g.j⁻¹) par rapport à ceux élevés en été (768 g.j⁻¹). L'effet négatif de la température sur les performances est communément observé et s'explique par la réduction de la prise alimentaire quotidienne (Quiniou *et al.*, 2000).

Tableau 2 - Performances zootechniques des trois bandes

	Bande 1 (B1 -hiver)	Bande 2 (B2 - été)	Bande 3 (B3 - hiver)
Poids à l'entrée (kg)	29,0	25,8	21,0
Poids à l'abattage (kg)	115,5	116,4	114,3
Durée eng. (j)	103	118	111
GMQ (g j⁻¹)	839,1	767,6	840,9
IC (kg.kg⁻¹)	2,55	2,50	2,74

Dans notre étude, l'indice de consommation (IC) est globalement supérieur sur les bandes d'hiver par rapport à celle d'été du fait des besoins supplémentaires de thermorégulation (Quiniou *et al.*, 2000). Pour l'ensemble des bandes étudiées, les performances zootechniques sont en accord avec les données précédemment acquises dans des conditions similaires et sont représentatives des performances nationales.

2.2. Conditions climatiques

Les températures extérieures ont varié entre 3,5 et 19,0°C pour B1, entre 3,6 et 21,6°C pour B2 et entre 0,4 et 19,7°C pour B3. La température ambiante moyenne était de 23,4 ±1,8, 24,5±1,3, 24,7±0,7°C, respectivement pour B1, B2 et B3. L'humidité relative ambiante était, en moyenne, de 78,8±8,8% pour B1, 63,0±5,4% pour B2 et 82,0±10,9% pour B3.

2.3. Mise au point de la méthode simplifiée

2.3.1. Etape 1 : Mesures des émissions en continu et validation des facteurs d'émissions

Le tableau 3 regroupe les valeurs de DBM et d'EC pour chaque élément volatil et chaque bande. Les écarts entre DBM et EC par composant étant inférieurs à 20%, les émissions mesurées lors de ces deux bandes sont donc validées.

Tableau 3 - Comparaison des déficits de bilan de masse (DBM) et des émissions cumulées (EC) pour N, C et H₂O (données exprimées en kg par salle)

	B1 (hiver)			B2 (été)		
	DBM	EC	Ecart (%)	DBM	EC	Ecart (%)
N	72,2	59,6	-17,4	46,4	44,2	-4,7
C	3736	4382	17,3	3870	3671	-5,1
H₂O	22747	22864	0,5	19703	15807	-19,1

Durant l'engraissement, les émissions cumulées d'ammoniac ont été respectivement de 10,8 et 9,12 g N₂ par porc et par jour pour B1 et B2. Ces valeurs sont en accord avec celles de la littérature (Hoeksma *et al.*, 1992 ; Philippe *et al.*, 2007). Pour N₂O, les EC sont respectivement de 0,26 et 0,19 g N₂O.porc⁻¹.j⁻¹ pour B1 et B2. Philippe *et al.* (2007) a obtenu des valeurs d'environ 0,3 g N₂O.porc⁻¹.j⁻¹ dans des conditions similaires. Pour CO₂, les EC ont été respectivement, de 788 g et 637 g C₂. porc⁻¹.j⁻¹ pour B1 et B2. Ces valeurs sont inférieures à celles publiées par Philippe *et al.* (2007) et Gallman *et al.* (2003) avec des valeurs variant entre 1,6 et 2 kg par porc et par jour. Les émissions de CH₄ (7,4 et 10,1 g C₂.p.j⁻¹ pour B1 et B2) sont en accord avec celles proposées par Gallman *et al.* (2003 - entre 6 et 9 g C₂.porc⁻¹.j⁻¹).

2.3.2. Etape 2 : comparaison des pertes carbone calculées avec les données expérimentales (DE) et les données de référence (DR)

Les DR listées dans le tableau 1 ont été utilisées pour le calcul des pertes C. La différence entre les pertes C calculées avec les DE et les DR est respectivement, de -5,8 et 2,9% pour B1 et B2. Ces faibles différences valident la possibilité d'utiliser les DR dans le calcul des pertes C, base de l'application de la méthode des rapports de concentrations.

2.3.3. Etape 3 : Identification des périodes et de la durée des mesures ponctuelles

L'objectif principal de la méthode simplifiée est d'être applicable sur le terrain à un nombre important d'élevages. C'est pourquoi la fréquence et la durée des mesures ponctuelles doit être réduite. Leurs déterminations doivent intégrer les spécificités de certaines conduites comme la conduite alimentaire. En France, l'alimentation bi-phase concerne 82,6% des places d'engraissement (SCEES, 2008). De par la relation entre l'azote ingéré et l'azote volatilisable (CORPEN, 2003 et 2006), il semble indispensable de positionner les jours de mesures de manière proportionnée sur les périodes croissance et finition. Cette contrainte nous a conduit à considérer au moins deux jours de mesures (un jour par période alimentaire). Ainsi, une première série de comparaison entre les EC et les résultats d'émissions à partir de la méthode des rapports de concentration a été réalisée avec 2 et 3 jours de mesures :

- Le premier jour de mesures se situant entre 15 et 25 jours d'engraissement
- Le deuxième jour entre 50 et 60 jours d'engraissement
- Le troisième jour entre 80 et 110 jours d'engraissement.

L'analyse des rapports de concentrations nous a conduits à privilégier le rapport de concentration CH₄/CO₂ du fait de sa stabilité dans le temps.

Le tableau 4 illustre les valeurs obtenues avec 2 et 3 jours de mesures sur B2 en comparant les EC avec les valeurs obtenues à partir des rapports de concentrations. Chaque journée est considérée d'une durée de 24 heures pour cette première partie de l'analyse.

Tableau 4 - Ecart (en %) entre les EC et les valeurs calculées avec 2 ou 3 jours de mesures ponctuelles.

	C_CO ₂	C_CH ₄	N_NH ₃	N_N ₂ O	H ₂ O
EC (kg/salle)	3514	44,9	41,2	1,0	15325
Ecart avec 2 jours de mesures (%)					
J15, 95	5,7	-8,5	-24,1	-9,2	27,0
J25, 60	5,9	-24,2	-15,5	-16,3	-8,8
J25, 80	5,8	-12,2	-15,0	-5,1	-16,6
Ecart avec 3 jours de mesures (%)					
J25, 60, 95	5,6	1,0	-9,7	-5,1	16,4
J25, 80, 95	5,5	10,6	-9,3	3,1	10,8
J25, 60, 80	5,7	-9,4	-15,3	-2,0	-10,4
J25, 80, 110	5,3	25,2	32,3	7,1	-17,2

Les écarts obtenus entre les EC et les valeurs calculées avec 2 jours de mesures sont plus importants sur l'ammoniac et l'eau qu'avec les valeurs calculées avec 3 jours de mesures. Pour les séries avec 3 jours de mesures, les écarts les plus faibles sont obtenus avec J25, 60, 95 et J25, 80, 95. Cependant, seule la série J25, 60, 80 a été retenue. En effet, des mesures à 95 jours de présence en engraissement sont difficilement envisageables du fait des premiers départs à l'abattoir des porcs les plus lourds. Cette série permet d'avoir un point de mesure pendant la période croissance, un deuxième en début de période finition et un troisième vers la fin de la période finition avant les premiers départs abattoir.

Ces comparaisons ayant été réalisées sur des durées de mesures de 24 heures, il convenait ensuite de déterminer la durée de mesures ponctuelles et plus particulièrement le moment de la journée adéquat, en intégrant les contraintes techniques de mises en œuvre des mesures en élevages commerciaux. Comme pour les jours de mesures, différentes durées de mesures ont été testées.

Tableau 5 - Ecart (en %) entre les EC et les valeurs calculées à J25, 60 et 80 selon le moment de la journée sur B2

	C_CO ₂	C_CH ₄	N_NH ₃	N_N ₂ O	H ₂ O
9h00 – 13h00	2,5	-13,4	19,8	-5,9	4,5
10h00 – 16h00	2,3	-13,3	-19,6	-5,0	5,0
14h00 – 18h00	2,5	-13,2	-20,8	-4,9	-18,4

L'écart entre les EC et les valeurs calculées avec la MRC est faible et constant quelque soit la période de mesures dans la journée. Ceci reflète la stabilité du CO₂, exclusivement émis par les animaux et dont le niveau de production est proportionnel à leurs poids. Le choix du moment de mesures a été arrêté sur la période 10h00-16h00 présentant à la fois les écarts les plus faibles par rapport aux EC mais permettant surtout une mise en œuvre la plus aisée pour les opérateurs.

L'installation des capteurs et points de prélèvements nécessaires aux mesures peut être réalisée avant le démarrage des mesures à 10h00.

2.3.4. Etape 4 : Validation de la méthode simplifiée

Pour cette phase de validation, la première étape a été la validation des émissions mesurées en continu. Ainsi, les EC ont été comparées au DBM calculé sur la bande B3 et validées du fait d'un écart inférieur à 20% sur N, C et H₂O.

Sur la base de 3 jours de mesures à 25, 60 et 80 jours d'engraissement et une durée de 6 heures (entre 10h00 et 16h00), les écarts entre les EC et les émissions calculées avec la méthode simplifiée sont respectivement de 18,4 ; 16,3 ; 11,8 ; 15,7 et 2,6% pour C_CO₂, C_CH₄, N_NH₃, N_N₂O et H₂O. La totalité des écarts étant inférieurs à 20 %, les émissions obtenues avec la méthode simplifiée sont donc validées.

CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

Notre étude a permis de mettre au point une méthode simplifiée de mesures de l'ammoniac et des GES pour les porcs charcutiers dont la mise en œuvre est aisée et la fiabilité, acceptable. Cependant, cette méthode a été validée au sein de la station expérimentale IFIP de Romillé (35). Avant l'ultime étape de mise en œuvre à grande échelle de la méthode, il est prévu de valider cette méthode dans quelques élevages commerciaux en vue de tester sa fiabilité.

Un programme, financé par l'ADEME, est actuellement en cours visant à la mise au point de méthode simplifiée pour l'ensemble des stades physiologiques.

REMERCIEMENTS

Cette étude a été financée par l'Association de Coordination des Techniques Agricoles (ACTA) dans le cadre d'un programme de recherche regroupant l'IFIP-Institut du Porc, l'ITAVI, l'Institut de l'Elevage, ainsi que l'INRA et le Cemagref.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- CITEPA, 2008. Inventaire des émissions polluantes atmosphériques en France - séries sectorielles et analyse étendues. Rapport d'inventaire national. 247 p.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote, phosphore, potassium, cuivre et zinc des porcs. 40 p.
- Gallmann E., Hartung E., Jungbluth T., 2003. Long - term study regarding the emission rates of ammonia and greenhouse gases from different housing systems for fattening pigs - final results. Proc. Conference "Gaseous and odour emissions from animal production facilities", Horsens, Danemark, pp. 122-130.
- Hassouna M., Espagnol S., Robin P., Paillat J.M., Levasseur P., Li Y, 2008. Monitoring NH₃, N₂O, CO₂ and CH₄ emissions during pig solid manure storage : effect of turning. Compost Science and Utilization, 16, 267-274.
- Hoeksma P., Verdoes N., Oosthoek J., Voermans J.A.M., 1992. Reduction of ammonia volatilization from pig houses using aerated slurry as recirculation liquid. Livestock Production Science, 31, 121-132.
- INRA, 2002. Tables d'alimentation pour les porcs. ITP,
- Levasseur P., 2006. Composition des effluents porcins et de leurs co-produits de traitement - quantités produites. ITP, 40 p.
- Noblet J., Karge C., Dubois S., 1994. Prise en compte de la variabilité de la composition corporelle pour la prévision du besoin énergétique et de l'efficacité alimentaire chez le porc en croissance. Journées Rech. Porcine, 26, 297-276
- Paillat J.M., Robin P., Hassouna M., Callarec J., Toularastel P., 2005. Environmental assessment of composting pig slurry with wheat straw based on the Guernévez process. Proc. Conference " International Workshop on Green Pork Production", Paris, France
- Philippe F.X., Laitat M., Canart B., Vandenheede M., Nicks B., 2007. Comparison of ammonia and greenhouse gas emissions during the fattening of pigs, kept either on fully slatted floor or on deep litter. Livest. Sci., 111, 144-152.
- Quiniou N., Renaudeau D., Collin A., Noblet J., 2000. Effets de l'exposition au chaud sur les caractéristiques de la prise alimentaire du porc à différents stades. INRA Prod. Anim., 13, 233-245.

