

Modélisation du volume et de la composition du lisier des porcs à l'engraissement

Paulo Armando V. de OLIVEIRA (1), Paulo BELLI FILHO (2), Livia TURMINA (3), Arlei COLDEBELLA (1), Jorge M. R. TAVARES (2)

(1) EMBRAPA SUÍNOS E AVES, Caixa Postal 21, 89.700-000 Concórdia/SC, Brésil

(2) ENS-UFSC, Caixa Postal 476, 88.040-970 Florianópolis/SC, Brésil

(3) UnC, Rua Victor Sopesla nº 3.000, 89.700-000 Concórdia/SC, Brésil

Paulo.Armando@embrapa.br

Modélisation du volume et de la composition du lisier des porcs à l'engraissement

Un modèle de prédiction du volume et de la composition du lisier produit par les élevages de porcs à l'engraissement a été développé à partir des articles publiés dans la littérature et validé au cours d'une expérience conduite pendant 13 mois, dans 15 fermes commerciales de production de porcs (entre 23 et 120 kg de poids vif) du sud du Brésil. Afin de quantifier de façon précise ces paramètres, on considère les flux générés depuis l'entrée des aliments et de l'eau jusqu'à la sortie des effluents. Le modèle calcule la teneur des effluents en matière sèche (MS), en azote et en phosphore en prenant en compte les effets de la gestion des animaux (effectifs, performances), de la gestion de l'alimentation (quantité et composition des aliments, abreuvement) et de la gestion du bâtiment (température ambiante, ventilation, évacuation des effluents, lavage). Le modèle a été validé à partir de 31 bandes d'engraissement. Deux saisons avec respectivement 6728 (période froide) et 6148 porcs (période chaude) ont été étudiées. Le modèle s'est avéré fiable et robuste pour la prédiction du volume d'effluent produit ($R^2 = 0,79$) et de sa composition en azote ($R^2 = 0,72$), en phosphore ($R^2 = 0,83$) et dans une moindre mesure, de sa teneur en matière sèche ($R^2 = 0,61$).

Modeling of the amount of manure produced and its composition in commercial growing-finishing pig farms

A model to predict the manure production and its physico-chemical composition in commercial pig farms was developed from articles published in the literature and validated in an experiment conducted over 13 months in 15 commercial growing-finishing pig (23 to 120 kg live weight) farms in southern Brazil. The aim was to quantify these parameters precisely, considering the water and feed consumed by the animals as the inflow, and as outflow, the manure produced. The dry matter (DM), nitrogen and phosphorus contents were predicted by the model as well, considering the effects of animal management (herds and farm performances), feed and water management (quantity and composition of feed, drinkers) and the housing conditions (room temperature, ventilation, manure disposal, cleaning facilities). The model was validated using the results of 31 production cycles of growth-finishing pigs. Two periods of time (cold and warm), with 6728 and 6148 pigs, respectively, were evaluated. The model proved to be robust and reliable to predict the volume of manure produced ($R^2 = 0.79$) as well as its content in nitrogen ($R^2 = 0.72$), phosphorus ($R^2 = 0.83$) and to a lesser extent dry matter ($R^2 = 0.61$).

INTRODUCTION

Un modèle de prédiction du volume et de la composition des lisiers produits par un élevage de porcs a été développé et validé à partir de la littérature par Dourmad *et al.* (2002). Des modèles similaires ont été développés par Oliveira (1999) et Aarnink *et al.* (1992) pour la prédiction du volume de lisier produit par les porcs à l'engraissement, mais ces modèles n'ont pas été validés en conditions réelles d'élevage. Le modèle développé par Goss *et al.* (1998) permet quant à lui la prédiction des flux de lisier liquide ou de fumier pour les exploitations laitières et porcines. Dourmad *et al.* (1992) ont également développé un modèle qui prenait en compte l'ensemble des stades physiologiques, mais ne considérait que le flux d'azote, sur la base de valeurs moyennes d'émissions gazeuses. Le CORPEN (2003) a également proposé un modèle de bilan simplifié qui permet de prédire les flux d'azote, phosphore, cuivre, zinc et potassium, mais pas les volumes d'effluents produits. Ces différents modèles ont été développés pour des climats tempérés et la question est posée de leur adaptation aux conditions chaudes rencontrées au Brésil. C'est l'objectif de ce travail.

Le modèle évalué est basé sur celui décrit par Dourmad *et al.* (2002) avec une modification des équations de production de chaleur par les animaux qui sont remplacées par celles de la CIGR (2002) et l'ajout de pertes d'eau par évaporation qui sont fonction de la température ambiante observée. L'objectif de cette étude est donc d'évaluer le modèle ainsi adapté dans les conditions réelles de production porcine dans le sud du Brésil.

1. MATERIELS ET METHODES

1.1. Dispositif expérimental

L'expérience a été réalisée d'avril 2011 à mai 2012 dans 15 fermes commerciales situées dans l'ouest de l'État de Santa Catarina au sud du Brésil, selon la méthodologie présentée par Tavares *et al.* (2014). Les 15 exploitations choisies ont été identifiées et sélectionnées sur la base des conditions suivantes pour réduire les causes possibles de variation : a) production dans la même région géographique; b) producteurs recevant des porcelets issus des mêmes élevages de reproduction; c) exploitations d'engraissement; d) conditions de logement facilitant la mise en œuvre des matériels de mesure. Deux groupes de porcs ont été suivis dans chacune des 15 exploitations au cours de deux saisons différentes : froide (16 cycles de production, 6728 porcs) et chaude (15 cycles de production, 6148 porcs).

Les animaux utilisés pendant l'expérimentation étaient de race Large White × Landrace, pour la mère, et Large White × Piétrain, pour le père. Les animaux étaient pesés en début d'élevage, au 40^{ème} et au 80^{ème} jour d'élevage et en fin d'engraissement.

La surface utile pour les animaux, dans chaque case, était de 1,0 m²/porc, avec un sol plein en béton. Les porcs avaient accès en permanence à un abreuvoir par case, en accord avec les recommandations professionnelles du secteur. Les animaux ont été répartis de manière aléatoire en fonction du sexe dans les deux côtés des bâtiments d'élevage, chaque case contenait une moyenne de 10 ± 2 porcs (effectif qui variait en fonction de la capacité de logement de chaque bâtiment). Les porcs ont été nourris par le producteur trois fois par jour (07h00, 13h00 et 19h00), avec un régime alimentaire multiphase à base de maïs et de tourteau de soja, calculé suivant les

recommandations de Rostagno *et al.* (2011). L'aliment était apporté sous la forme de granulés.

1.2. Système de mesure des volumes d'eau et de lisier

La mesure de la consommation d'eau a été réalisée du début à la fin de l'engraissement des porcs. Les volumes d'eau consommés par les animaux (ingérés et gaspillés) et utilisés pour la nébulisation et le lavage du bâtiment ont été enregistrés tous les jours. Au total 55 compteurs d'eau (Unimag Cyble PN 10, Itron Inc., Liberty Lake, Washington) ont été installés dans les exploitations retenues. La production de lisier a été mesurée à l'aide de cuves de 5,0 m³ de volume (Fibratec et Fortlev), installées entre le bâtiment et la fosse de stockage. Les mesures de compteurs d'eau et de volume de lisier, dans chaque bâtiment, ont été enregistrées par les producteurs, toutes les 24 heures, puis recueillies par des techniciens de l'Embrapa, pour vérification et analyse. Le lisier produit a été échantillonné chaque semaine et envoyé au laboratoire de l'Embrapa pour leur analyse physico-chimique. Les paramètres suivants ont été analysés selon des méthodes standardisées : matière sèche (totale, volatils et minérale), azote total (NTK) et phosphore (P).

1.3. Les mesures sur les aliments

Les différents régimes alimentaires ont été échantillonnés une fois par semaine dans chaque élevage, par les techniciens de l'Embrapa, puis envoyés au laboratoire de l'Embrapa pour analyse physico-chimique de la matière sèche, de l'azote total (NTK) et du phosphore (P).

1.4. Température et humidité relative de l'air

Des enregistreurs de données Testo 174H (Testo AG, Lenzkirch, Allemagne) ont été installés entre 1,5 et 2,0 mètres au-dessus du sol, au centre de chaque bâtiment d'élevage afin de mesurer la température et l'humidité relative de l'air. Les données, enregistrées toutes les heures, ont été stockées puis les moyennes ont été déterminées par semaine pour chaque bâtiment.

1.5. Description du modèle de calcul

Le modèle de calcul utilisé dans cet article est basé sur celui développé par Dourmad *et al.* (2002). Les principales équations utilisées pour le calcul des bilans sont décrites ci-après.

1.5.1. Bilan de matière sèche (MS)

La quantité de matière sèche excrétée dans les fèces est calculée à partir du coefficient de digestibilité de l'aliment qui dépend de sa teneur en NDF (g/kg). La quantité de matière organique dépend en plus de la teneur en énergie digestible (ED, MJ/kg) et en matières minérales (MM, g/kg) selon les équations développées par Le Goff et Noblet (2001). La valeur du coefficient de dégradation de la matière organique au cours du stockage (C, %/j) est fonction de la teneur en MS et de la température du lisier (Aarnink *et al.*, 1992). Les équations utilisées pour le calcul du bilan de MS sont rapportées ci-après :

Excrétion de matière sèche (QMS_{Fèces}, kg/j)

$$QMS_{Fèces} = \text{Aliment} \times MS \times (1 - Cud_{MS}), \text{ où}$$

$$Cud_{MS} = 0,709 + (17,94 - 0,49 \text{ NDF} - 1,09 \text{ MM})/MS$$

$$QMO_{Fèces} = \text{Aliment} \times MO \times (1 - Cud_{MO}), \text{ où}$$

$$Cud_{MO} = (0,744 + (14,69 \text{ ED} - 0,50 \text{ NDF} - 1,54 \text{ MM})/MS)/(MO/MS)$$

Dégradation de la matière organique (QMO_{deg})

$$QMO_{deg} = QMO_{Fèces} \times C \times Durée_{stockage} / 2$$

Quantité de MS dans le lisier

$$QMS_{lisier} = QMS_{Fèces} - QMO_{deg} + (N_{urinaire} - N_{volatilisation}) \times 17/14$$

1.5.2. Bilan d'eau et quantité de lisier

La prédiction de la quantité d'eau du lisier est réalisée à partir du bilan d'eau pour le compartiment animal + bâtiment et de la quantité d'eau utilisée. Ce bilan a été décrit dans les articles de *Dourmad et al.* (2002), *Oliveira et al.* (1998) et *Oliveira* (1999). Nous présentons ici seulement les principales équations impliquées.

Eau de l'effluent (kg/porc/j)

$$Eau_{lisier} = Eau_{Bilan} + Eau_{lavage} (Totale/j)$$

Bilan d'eau (kg/j)

$$Eau_{Bilan} = Eau_{Boisson} + Eau_{Aliment} + Eau_{Métabolique} - Eau_{Retenue} - Eau_{Evaporée}$$

Quantité et volume de lisier

$$Lisier_{Quantité} = Eau_{Lisier} + QMS_{Lisier}$$

$$Lisier_{Volume} = Lisier_{Quantité} / Densité_{Lisier}$$

$$Densité_{Lisier} = 1000 + 0,49 \text{ MS (g/kg)}$$

1.5.3. Bilan de composés azotés

L'excrétion azotée ($N_{Excrété}$) totale est calculée par différence entre les quantités retenues et les quantités ingérées par les animaux (*Dourmad et al.*, 2002). La quantité de matière azotée excrétée dans les fèces est calculée à partir du coefficient de digestibilité de la matière azotée (CudN) de l'aliment. Ce coefficient peut être estimé à partir de la teneur en énergie digestible (ED, MJ/kg), en matière minérale (MM, g/kg) et en NDF (g/kg) de l'aliment à l'aide des équations établies par *Le Goff et Noblet* (2001). La volatilisation de l'azote (sous la forme d'ammoniac) dans le bâtiment est estimée en appliquant un coefficient de volatilisation à la quantité excrétée. Nous utilisons la valeur du coefficient moyen de 0,24 qui correspond à l'estimation de *Dourmad et al.* (1999) pour des bâtiments d'engraissement sur caillebotis béton. Ce coefficient est ensuite modulé pour prendre en compte les nombreux paramètres susceptibles de modifier la volatilisation : effets de la concentration en N ammoniacal ($Effet_{TNAm}$) et de la température du lisier ($Effet_{Temp}$). Dans notre cas, nous avons fixé les coefficients des paramètres du taux de renouvellement de l'air ($Effet_{Renouv} = 1,08$), du type de sol ($Effet_{Sol} = 1$), du type de ventilation ($Effet_{Ventilation} = 1,15$) et du rythme d'évacuation du lisier du bâtiment ($Effet_{Rythme} = 0,75$). Les effets de la plupart de ces paramètres sont issus de relations empiriques dérivées de la littérature ou du modèle de prédiction de la volatilisation d'ammoniac en bâtiment d'engraissement développé par *Aarnink et Elzink* (1998). Les différentes équations utilisées pour le calcul du bilan d'azote sont rapportées ci-après :

Excrétion azotée

$$N_{Excrété} = N_{Ingéré} - N_{Retenu}$$

$$N_{Fèces} = Aliment \times MS \times (1 - CudN)$$

$$CudN = (-0,128 + (7,80 \text{ ED} + 0,87 \text{ MAT}) / \text{MS}) / (\text{MAT} / \text{MS})$$

$$N_{Urinaire} = N_{Excrété} - N_{Fèces}$$

Volatilisation de l'azote ammoniacal

$$N_{Volatilisé} = Coeff_{Volat} \times N_{Excrété}$$

$$Coeff_{Volat} = 0,24 \times Effet_{TNAm} \times Effet_{Temp} \times Effet_{Renouv} \times Effet_{Ventil} \times Effet_{Sol} \times Effet_{Rythme}$$

Azote du lisier

$$N_{Lisier} = N_{Excrété} (1 - Coeff_{Volat})$$

$$TeneurN_{total} = N_{Lisier} / Lisier_{Quantité} \text{ (g/kg)}$$

$$N_{ammoniacal} = N_{Urinaire} - N_{Volatilisé} + N_{Fèces} \times C \times Durée_{stockage} / 2$$

$$TeneurN_{ammoniacal} = N_{ammoniacal} / Lisier_{Quantité} \text{ (g/kg)}$$

L'influence de la température du lisier sur la volatilisation d'azote est évaluée à partir des paramètres du modèle de *Aarnink et Elzink* (1998). La valeur moyenne de la température ambiante dans les essais ayant conduit au coefficient de volatilisation de 0,24 peut être estimée à 23-24°C, ce qui correspond à une température du lisier d'environ 22°C (*Granier et al.*, 1996). La valeur du paramètre $Effet_{Temp}$ est donc fixée à 1 pour une température du lisier de 22°C. Elle passe à respectivement 0,77 et 1,24 lorsque la température du lisier diminue ou augmente de 20%. La température du lisier peut être estimée à partir de la température ambiante à l'aide de l'équation issue des travaux de *Granier et al.* (1996).

L'influence de la nature du sol sur les émanations d'ammoniac a été relativement peu étudiée. Généralement les émanations d'ammoniac sont réduites, de l'ordre de 20 à 30%, lorsque l'on utilise un caillebotis béton partiel au lieu d'un caillebotis béton intégral (*Aarnink et al.*, 1995), mais l'effet n'est pas systématique puisque *Guinand et Granier* (2001) n'observent pas de réduction en saison froide et notent même une augmentation en saison chaude, l'hygiène générale des animaux étant par ailleurs dégradée.

1.5.4. Bilan de phosphore

Le bilan de phosphore est calculé par différence entre les quantités ingérées et retenues par les porcs. Pour les animaux en croissance, la rétention est calculée par différence entre les quantités corporelles en fin et en début d'engraissement. La quantité de minéraux contenus dans les tissus corporels est déterminée à partir d'équations établies par le CORPEN (2003).

Excrétion de phosphore (P)

$$P_{Excrété} = P_{Ingéré} - P_{Retenu}$$

Rétention de phosphore (P)

$$P_{Retenu} = P_{Corp} (fin) - P_{Corp} (début)$$

$$P_{Corp} (g) = 5,3 \text{ PV}$$

1.6. Analyses statistiques

Le logiciel SAS (SAS Inst. Inc., Cary, NC, USA) a été utilisé pour l'analyse statistique des différentes variables mesurées. Les estimations par le modèle ont été comparées aux données observées en élevage. Les coefficients de détermination et les erreurs de prédiction ont été calculés pour les relations entre les données prédites et observées à l'aide de la procédure REG de SAS. On peut considérer que l'erreur de prédiction peut traduire un biais (erreur systématique) du modèle (ou des observations) tandis que le coefficient de détermination traduit la dispersion des prédictions (erreur aléatoire).

2. RESULTATS ET DISCUSSION**2.1. Résultats zootechniques moyens des élevages**

La moyenne des résultats zootechniques des porcs élevés, ainsi que le nombre d'animaux et de jours d'élevage, la consommation totale d'eau et d'aliments sont présentées dans le tableau 1.

Tableau 1 - Résultats zootechniques des élevages.

Paramètre	Moyenne/porc ^a
Poids d'entrée (kg)	24,5 ± 2,26
Poids de sortie (kg)	122,6 ± 19,2
Consommation totale d'aliment (kg)	196,8 ± 33,9
Consommation totale d'eau (L)	768,7 ± 160,1
Durée d'engraissement (j)	105 ± 7
Indice de consommation (kg/kg)	2,51 ± 0,18
GMQ global (g/j)	885 ± 51
Nombre de porcs suivis par élevage	Entre 295 et 606

^a moyenne ± écart-type.

2.2. Caractéristiques physico-chimiques des lisiers

Les résultats des mesures de caractéristiques physico-chimiques des lisiers sont présentés dans le Tableau 2.

Tableau 2 - Caractéristiques physico-chimiques des lisiers (moyenne, écart-type, minimum et maximum).

Paramètre	Moyenne	Max.	Min.
Matière sèche, g·L ⁻¹			
Totale	58,2±14,9	91,8	33,7
Volatile	43,6±11,8	71,5	23,1
Minérale	14,6±3,30	22,1	9,5
Azote total, g·L ⁻¹	5,25±1,08	7,22	3,56
N-NH ₄ ⁺ , g·L ⁻¹	3,09±0,59	4,50	2,54
Phosphore total, g·L ⁻¹	1,23±0,33	1,83	0,66

2.3. Température et humidité mesurées dans les élevages

Les mesures de températures et d'hygrométrie de l'air ambiant dans les bâtiments sont présentées dans le Tableau 3. Nous pouvons observer que la température moyenne hebdomadaire de 18,8°C en période froide était supérieure à 16°C, soit une valeur qui peut être considérée comme supérieure à la température critique inférieure pour les porcs à l'engrais (CIGR, 2002).

Tableau 3 - Température et humidité mesurées dans les élevages (moyenne et écart-type).

Paramètre	Période froide	Période chaude
Température (°C)	18,83 ± 1,18	24,05 ± 0,95
Humidité (%)	71,58 ± 2,69	70,06 ± 3,29

2.4. Quantité d'eau utilisée et volume de lisier produit

Au total 31 lots de porcs ont été observés dans les 15 élevages suivis en périodes froide et chaude. Le Tableau 4 présente les résultats obtenus pour la quantité moyenne journalière d'eau utilisée par porc (7,72 ± 1,32 et 8,33 ± 1,37 L/porc/j, respectivement pour 10 et 15 semaines d'élevage) et le volume moyen journalier de lisier produit exprimé aussi par porc (4,15 ± 0,78 et 4,46 ± 0,82 L/porc/j, respectivement pour 10 et 15 semaines d'élevage). Ces résultats sont présentés de manière plus détaillée par Tavares *et al.* (2014). Les valeurs moyennes de volume de lisier produit par porc observées dans notre étude sont dans la gamme de celles rapportées par plusieurs auteurs (Aarnink *et al.*, 1992 ; Guingand et Granier, 2001 ; Dourmad *et al.*, 2002).

Le modèle prédit de façon satisfaisante le volume total de lisier produit sur la période totale d'engraissement (Figure 1). Le coefficient de détermination (R^2) s'élève à 0,79 et l'erreur de prédiction est de 36,7 litres, soit 9,4 % de la valeur moyenne (399,5 L/porc). Dourmad *et al.* (2002), en utilisant une base des données de la littérature regroupant 19 publications, obtiennent une erreur résiduelle inférieure pour la prédiction (12,4 litres soit 3,6% de la valeur moyenne de 344 L/porc).

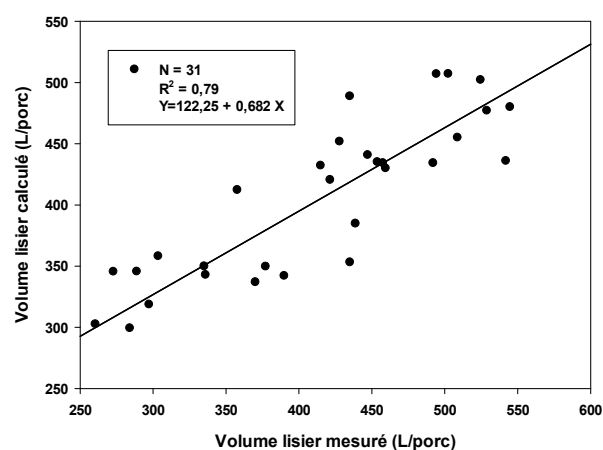
Tableau 4 - Consommation d'eau et production de lisier. Moyenne et écart-type observés dans les élevages

Paramètre (L/porc/j)	n ^a	Période expérimentale		
		Moyenne ^b	Max.	Min.
Consommation d'eau				
10 semaines	32	7,72±1,32	10,4	5,74
15 semaines	28	8,33±1,37	10,6	5,94
Production de Lisier				
10 semaines	33	4,15±0,78	5,90	2,63
15 semaines	28	4,46±0,82	6,24	2,93

^a nombre de cycles observé.

^b moyenne et écart-type.

Le modèle proposé apparaît donc relativement précis pour la prédiction du volume de lisier produit à la sortie des élevages. Les données que nous utilisons ont été obtenues à partir de mesures sur le terrain, dans des bâtiments d'élevage où l'on trouve des situations assez diversifiées de conduite alimentaire, d'abreuvement, de performances et de conditions climatiques. Malgré cela, le modèle prédit avec une précision satisfaisante le volume de lisier produit avec une incertitude aléatoire (« fidélité ») voisine de 10%. (Figure 1).

**Figure 1** – relation entre le volume de lisier prédit par le modèle et le volume mesuré.

2.5. Quantité totale de phosphore du lisier

Pour la validation du modèle de prédiction du flux de phosphore, des mesures ont été réalisées dans 15 élevages sur 23 lots de porcs. Les relations entre les valeurs prédites et mesurées pour le flux de phosphore sont présentées à la figure 2. En moyenne, la valeur mesurée est inférieure à la valeur calculée d'environ 10,9% (409,9 ± 113,5 versus 469,7 ± 125,2 g/porc). L'erreur de prédiction du modèle est de 64,6 g/porc et l'écart-type de cette erreur de prédiction est de 45,4 g/porc. La valeur du R^2 (0,83) est légèrement plus faible que celle estimée par Dourmad *et al.* (2002) à partir d'essais de la littérature ($R^2 = 0,94$).

L'écart observé peut être expliqué, tout au moins en partie, par une sous-estimation de la valeur mesurée, en relation avec les difficultés d'échantillonnage du lisier. Pendant le stockage, le phosphore sédimente fortement et il est possible que l'échantillonnage ne permette pas de recueillir complètement les couches profondes très enrichies en phosphore. En conséquence, nous considérons que le biais vient plus probablement des observations et que le modèle est « juste », avec une incertitude aléatoire voisine de 10% pour la prédiction des rejets de phosphore.

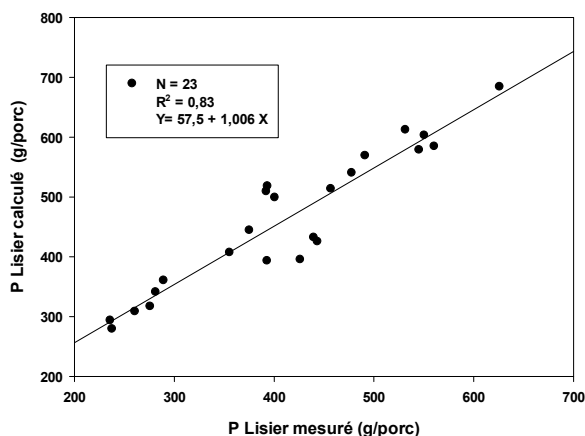


Figure 2 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les mesures de quantité de phosphore produit par porc.

2.6. Quantité totale d'azote du lisier

Les données obtenues sur 28 lots de porcs ont été utilisées pour la prédiction des flux d'azote dans le lisier. Les relations entre les valeurs prédites et mesurées pour le flux d'azote et la teneur dans le lisier sont présentées à la figure 3.

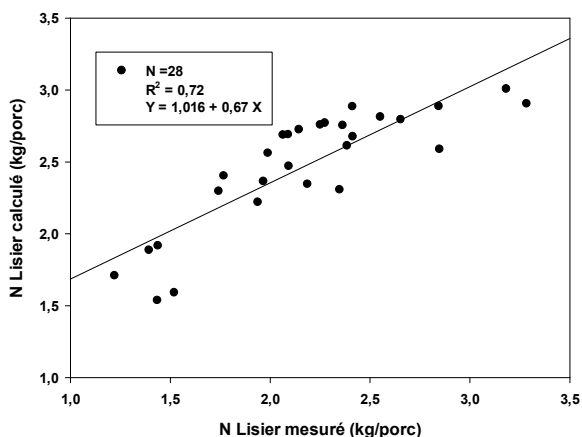


Figure 3 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les mesures de quantité d'azote produit par porc.

En moyenne, les valeurs calculées et mesurées sont respectivement de $2,47 \pm 0,41$ et $2,17 \pm 0,52$ Kg/porc. La pente de la relation entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées est de 0,67 (Figure 3), le coefficient de détermination (R^2) de 0,72, l'erreur de prédiction étant de $0,35 \pm 0,18$ kg soit 18,2 % de la valeur moyenne mesurée (2,17 kg/porc). La différence entre les valeurs calculées et les valeurs mesurées dans notre essai est supérieure à celle trouvée par *Dourmad et al.* (2002). La quantité d'azote prédite par ces auteurs était de $2,53 \pm 0,26$ kg en moyenne par porc produit,

très voisine de la quantité mesurée ($2,56 \pm 0,22$ kg). La durée plus courte de la période d'engraissement explique en grande partie les valeurs plus faibles qu'ils obtiennent. Toutefois, le coefficient de corrélation R^2 (0,72) est inférieur à celui obtenu par ces auteurs (0,84). L'erreur aléatoire de notre modèle est voisine de celle du modèle de *Dourmad et al.* (2002), 0,27 kg, soit environ 10% des rejets d'azote observés. Une erreur systématique d'échantillonnage est peu probable pour l'azote. En revanche, l'erreur systématique d'environ 20% peut s'expliquer par une volatilisation accrue de l'azote dans nos conditions expérimentales (sol plein dans les salles d'élevage, cuve de stockage intermédiaire de 5m^3). Le modèle devrait donc être adapté pour ces conditions en augmentant les coefficients de dégradation de la MS (C) et surtout de volatilisation de l'azote ($\text{Coeff}_{\text{volat}}$).

2.7. Quantité totale de matière sèche du lisier

La figure 4 présente les relations entre les valeurs prédites et calculées pour le flux de matière sèche dans le lisier. La quantité de matière sèche prédite (moyenne de $17,7 \pm 2,66$ kg/porc), est voisine de la quantité mesurée ($19,6 \pm 4,29$ kg/porc) avec R^2 de 0,61. Par contre, la corrélation entre les deux séries de valeurs est moins bonne que pour les paramètres précédents ($R^2 = 0,72$) et inférieure à celle obtenue pour la prédiction du volume de lisier ($R^2 = 0,79$). Le flux de MS est estimé principalement à partir de la digestibilité de la matière sèche des aliments et de la transformation en biogaz de la MO du lisier pendant le stockage. En accord avec *Dourmad et al.* (2002) qui observaient le même phénomène, l'origine de l'imprécision du modèle pourrait donc provenir d'une description insuffisamment précise des phénomènes de la dégradation de la MO présente dans le lisier. Cela pourrait également provenir d'un prélèvement d'échantillon non représentatif de la teneur réelle des effluents. Le modèle sous-estime la MS pour les fortes productions (plus de 20 kg de MS/porc).

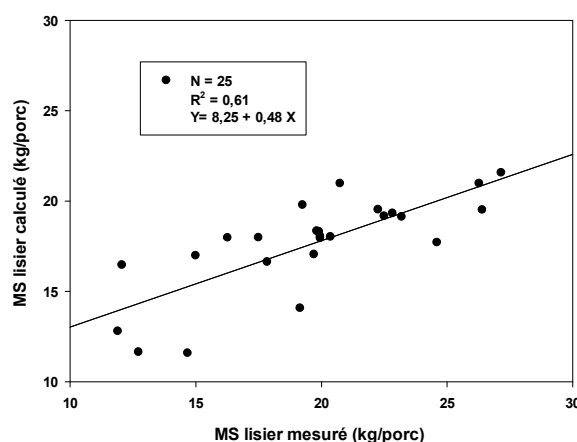


Figure 4 - Relation entre les valeurs prédites par le modèle et les mesure de quantité de matière sèche produite par porc.

Schiavon et al. (2009) mentionnent une perte de MS accrue sur sol plein par rapport au caillebotis. Mais au Brésil le phénomène peut être différent en raison des lavages fréquents réalisés en élevage. Dans le modèle, le coefficient de dégradation de la MS (C) augmente avec la teneur en MS. Il serait possible de réduire l'erreur de justesse du modèle (erreur systématique) en modifiant le calcul de ce coefficient. L'erreur aléatoire du modèle reste similaire aux autres variables calculées (environ 10%).

Le modèle rend compte de la variabilité observée des flux de MS mais il apparaît moins « juste » que pour le phosphore ou l'eau.

2.8. Qualité des prédictions et erreurs de prédiction

La moyenne et l'écart-type de l'écart entre les valeurs prédites et calculées pour les flux de N, P et MS dans le lisier sont récapitulées au tableau 5. En l'absence de calage des paramètres, le modèle que nous utilisons permet de prédire avec une précision satisfaisante le volume du lisier à la sortie du bâtiment, avec une erreur de prédiction de $9,4 \pm 6,4$ %, les flux de phosphore et de matières sèches avec des erreurs respectives de $16,8 \pm 10,9$ % et $14,1 \pm 8,7$ %. Par contre, l'erreur de prédiction pour l'azote ($18,2 \pm 11,6$) peut être considérée comme élevée.

Tableau 5 - Moyenne et écart-type de la différence entre valeurs prédites et mesurées pour le volume de lisier et les quantités d'azote, de phosphore et de matière sèche, et erreur de prédiction (en % de la moyenne mesurée).

Paramètre	Erreur de prédiction/porc	Erreur de prédiction (%)
Lisier (L/porc)	$36,8 \pm 25,5$	$9,4 \pm 6,4$
Azote (kg/porc)	$0,35 \pm 0,18$	$18,2 \pm 11,6$
Phosphore (g/porc)	$64,6 \pm 45,4$	$16,8 \pm 10,9$
Matière Sèche (kg/porc)	$2,8 \pm 1,9$	$14,1 \pm 8,7$

Mais il faut considérer que les données ont été obtenues dans des élevages commerciaux où de nombreux facteurs d'élevage (température ambiante, type de sol, ventilation) sont

susceptibles d'interférer, alors que le modèle a été développé sur la base de relations empiriques moyennes ou de prédictions issues de modèles plus mécanistes. Néanmoins il est également possible que certains paramètres du modèle, comme par exemple le coefficient de volatilisation de l'azote, mériteraient d'être affinés et mesurés dans les conditions brésiliennes de production.

CONCLUSION

Les résultats obtenus indiquent que le modèle testé peut être utilisé dans les élevages de porcs du sud du Brésil, avec toutefois des limites, en particulier pour la prédiction des flux de matière sèche (CV de 14,1%), d'azote (CV de 18,2%) et de phosphore produit (CV de 16,8%). Les paramètres du modèle peuvent être adaptés pour corriger ces biais. Le modèle est plus précis pour estimer le volume de lisier (CV de 9,4%) en situation réelle d'élevage.

D'autres essais devraient donc être réalisés afin d'adapter certains des coefficients techniques utilisés dans le modèle aux conditions brésiliennes d'alimentation, d'environnement, de température et de conduite des animaux.

REMERCIEMENTS

La réalisation de ce projet a été rendue possible grâce à la contribution financière de l'AINCADESC/SINDICARNE-SC, EMBRAPA, Brasil Foods (BRF), FAPESC, CAPES et PPGA-UFSC.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aarnink A.J.A., Elzing A., 1998. Dynamic model for ammonia volatilization in housing with partially slatted floors, for fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 53, 153-169.
- Aarnink A.J.A., Keen A., Metz J.H.M., Speelman L.; Verstegen M.W.A., 1995. Ammonia emission patterns during the growing periods of pigs housed on partially slatted floors. *J. Agric. Eng. Res.*, 62, 105-116.
- Aarnink A.J.A., Ouwerkerk E.N.J., van Verstegen M.W.A., 1992. A mathematical model for estimating the amount and composition of slurry from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 31, 133-147.
- CORPEN, 2003. Estimation des rejets d'azote et de phosphore des élevages de porc. CORPEN (Ed) Paris, 41 pages.
- CIGR, 2002. in 4th report of working group on climatization of animal houses heat and moisture production at animal and house levels. Pedersen, S. & Sällvik, K. Eds, Danish Institute of Agricultural Sciences, Horsens, Denmark, 46 p.
- Dourmad J.Y., Guillou D., Noblet J., 1992. Development of a calculation model for predicting the amount of N excreted by the pig: effect of feeding, physiological stage and performance *Livest. Prod. Sci.*, 31, 95-107.
- Dourmad J.Y., Guingand N., Latimier P., Seve B., 1999. Nitrogen and phosphorus consumption, utilization and losses in pig production: France. *Livest. Prod. Sci.*, 58, 199-211.
- Dourmad J.Y., Pomar C., Massé D., 2002. Modélisation du flux de composés à risque pour l'environnement dans un élevage porcin. *Journées Rech. Porcine en France*, 34, 183-194.
- Goss M.J., Ogilvie J.R., Stonehouse, 1999. Developing a decision support system for manure management. In: RAMIRAN – 8th International Conference on Management Strategies for Organic Waste Use in Agriculture, Rennes, 25-35.
- Granier R., Guingand N., Massabie P., 1996. Influence du niveau d'hygrométrie, de la température et du taux de renouvellement de l'air sur l'évolution des teneurs en ammoniac. *Journées Rech. Porcine en France*, 28, 209-216.
- Guingand N., Granier R., 2001. Comparaison caillebotis partiel et caillebotis intégral en engraissement: effets sur les performances zootechniques et sur l'émission d'ammoniac. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 31-36.
- Le Goff G., Noblet J., 2001. Utilisation digestive comparée de l'énergie des aliments chez le porc en croissance et la truie adulte. *Journées Rech. Porcine en France*, 33, 211-220.
- Oliveira P.A.V., 1999. Comparaison des systèmes d'élevage des porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. Thèse de doctorat, L'ENSAR Rennes, France, 264 p.
- Oliveira P.A.V., Robin P., Kermarrec C., Souloumiac D., Dourmad Y.V., 1998. Comparaison de l'évaporation d'eau en élevage de porcs sur litière de sciure ou caillebotis intégral. *Journées Rech. Porcine en France*, 30, 355-361.
- Rostagno H.S., Albino L.F.T., Donzele J.L., Gomes P.C., Oliveira R.F., Lopes D.C., Ferreira A.S., Barreto S.L.T., Euclides R.F., 2011. Tabelas brasileiras para aves e suínos: composição de alimentos e exigências nutricionais. 3^a Edição, UFV, Dep. de Zootecnia, Viçosa, Brasil, 252p.
- Schiavon S., Dal Maso M., Cattani M., Tagliapietra F., 2009. A simplified approach to calculate slurry production of growing pigs at farm level. *Ital. J. Anim. Sci.* vol. 8, 431-455.
- Tavares J.M.R., Belli Filho P., Coldebella A. Oliveira P.A.V., 2014. The water disappearance and manure production at commercial growing-finishing pig farms. *Livestock Science*, 169, 146-154.