

Modélisation de la température du lisier en pré-fosse en vue d'évaluer l'incidence de systèmes de refroidissement sur les émissions d'ammoniac

Yann GUYOT, Yvonnick ROUSSELIERE, Johan THOMAS, Nadine GUINGAND

IFIP-Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35651 Le Rheu Cedex, France

guyot@itavi.asso.fr

Modelling of slurry pit temperature to evaluate impacts of cooling systems on ammonia emissions

In the framework of the new National Plan for the Reduction of Air Pollutant Emissions (PREPA, published in May 2017), France is committed to reducing ammonia emissions, especially from agriculture. One of the means to reduce ammonia emissions from pig farm buildings is slurry cooling, with the help of new slurry-management technology. Reducing the temperature makes it possible to shift the NH_3/NH_4^+ balance towards maintaining the ionic forms of nitrogen in the slurry. The heat captured from the slurry can be directed to locations that consume large amounts of heat, such as farrowing rooms. To assess the ammonia-reduction potential of these systems, a simulation model of slurry temperature as a function of air temperature underneath the slatted floor was constructed. The model is based on an energy balance, considering heat loss from the pit walls, heat gain from the air and the increase in slurry volume. Model results were compared to observations from the IFIP experimental facility. The linear regression between observations and model predictions was $0.93x+1.1$ ($R^2 = 0.90$, $RMSE = 0.43^\circ C$). This model will be coupled with existing models that simulate air temperature (Thermisim) and zootechnical performances (INRAPorc). After validation, the complete model will be able to predict the ability of the cooling system to decrease slurry temperature (and thus ammonia emissions) of a given technology (e.g. floating systems, pit bottom).

INTRODUCTION

La qualité de l'air est une préoccupation croissante au niveau européen et français, entraînant un engagement de la France dans un nouveau Plan national de Réduction des Émissions de Polluants Atmosphériques (PREPA, publié en mai 2017), visant notamment à réduire les émissions d'ammoniac d'origine agricole. Les deux principaux leviers permettant de déplacer l'équilibre NH_3/NH_4^+ vers un maintien des formes ioniques azotées dans le lisier (et donc une réduction des émissions d'ammoniac) sont le pH (Petersen *et al.*, 2016) et la température (Jarvis et Pain, 1990). Le projet Temporalis propose de se concentrer sur ce deuxième levier (la température du lisier) comme stratégie de réduction de la volatilisation de l'ammoniac. Les technologies dites de lisiothermie permettent de capturer la chaleur du lisier (donc de le refroidir) et de la diriger sur des postes plus consommateurs d'énergie telles que les salles de maternité ou les post-sevrage. La modélisation de la température du lisier en fonction de la configuration du bâtiment est un outil crucial dans l'élaboration du cahier des charges de mise en œuvre des solutions de lisiothermie. Cette étude propose donc un modèle mathématique de simulation de la température du lisier en fonction de la température ambiante et l'évolution de la hauteur de lisier stocké.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Bilan énergétique

La température du lisier résulte d'un bilan prenant en compte les apports/pertes énergétiques provenant des parois et de l'air au-dessus du lisier. L'équation d'un tel bilan s'écrit sous la forme suivante :

$$V_l C_v \frac{dT_l}{dt} = h_{air} A_l (T_{air} - T_l) - \frac{k_b}{e_p} A_p (T_l - T_{sol})$$

Avec, T_l la température du lisier, T_{air} la température de l'air, T_{sol} la température du sol sous la pré-fosse, A_p la surface de pré-fosse en contact avec le lisier, A_l la surface du lisier en contact avec l'air, h_{air} le coefficient de convection thermique entre l'air et le lisier, k_b la conductivité thermique du béton, e_p l'épaisseur du béton, V_l le volume de lisier et C_v la capacité thermique volumique du lisier (prise ici égale à celle de l'eau). La température de l'air au-dessus du lisier et l'évolution du volume du lisier sont quant à eux issues de données expérimentales dynamiques provenant de la station de l'Ifip. Les paramètres du modèle sont listés dans le tableau 1.

Tableau 1 – Paramètres du modèle

| Nom | Valeur |
|-----------|--|
| C_v | 4 200 kJ m ⁻³ K ⁻¹ |
| h_{air} | 45 W m ⁻² K ⁻¹ |
| k_b | 2,25 W m ⁻¹ K ⁻¹ |
| e_p | 0,2 m |
| T_{sol} | 12°C |

1.2. Données expérimentales

Deux lots de 20 porcs entre 30 et 110 kg ont été suivis dans l'unité climatotech de la station expérimentale Ifip de Romillé (35). Cette unité est composée de deux salles identiques sur caillebotis intégral avec stockage des effluents sous les animaux dans une pré-fosse (hauteur utile = 65 cm). La surface par animal est de 0,85 m². La ventilation est de type dynamique avec extraction basse. Chaque salle est équipée d'une unité de gestion de l'air permettant d'imposer une température ambiante de consigne qui peut varier entre 16 et 20°C. Le taux de renouvellement de l'air ambiant est fonction de la chaleur produite par les animaux et de la température de l'air entrant dans chaque salle. La stratégie alimentaire est de type biphasé avec un aliment croissance (16.5% MAT) jusqu'à environ 65 kg puis un aliment finition (15% MAT).

Au niveau du lisier, des capteurs de températures (Wifi-T, Lascar Electronics, UK) ont été insérés dans un support étanche permettant de mesurer la température du lisier à différentes profondeurs de la pré-fosse. Pour l'ambiance, le même type de capteurs a été positionné à environ 1m70 au centre de chacune des deux salles. Pour tous les sites de mesures (ambiance et pré-fosse), les données de températures sont enregistrées toutes les 15 minutes sur l'ensemble de la période de présence des animaux.

2. RESULTATS

Les résultats de simulations sont illustrés sur la figure 1.a. L'évolution de la température du lisier suit la température de l'air en contact avec ce dernier. Le modèle permet de capturer cette dynamique avec des ordres de grandeur similaires à ceux observés en station. La figure 1.b démontre une bonne corrélation entre les données observées et les sorties du modèle, avec une régression linéaire $y = 0,93x + 1,1$, un R² de 0,90 et une RMSE de 0,43°C.

CONCLUSION

Le modèle présenté dans cette étude permet de simuler dynamiquement la température du lisier, à condition de connaître la température de l'air au-dessus de ce dernier et l'évolution de son volume. Ce modèle a pour objectif d'être

intégré en tant que module à d'autres modèles simulant à la fois l'ambiance générale en fonction des caractéristiques du bâtiment (Thermisim, Marcon *et al.*, 2016) et les performances zootechniques des animaux en place (INRAPorc). Une fois un tel outil disponible, il sera alors possible de simuler tel ou tel système de refroidissement (moyennant l'intégration spécifique de leur comportement thermodynamique) et d'évaluer leur incidence sur la température du lisier (et donc sur les émissions gazeuses) tout au long de la période d'élevage.

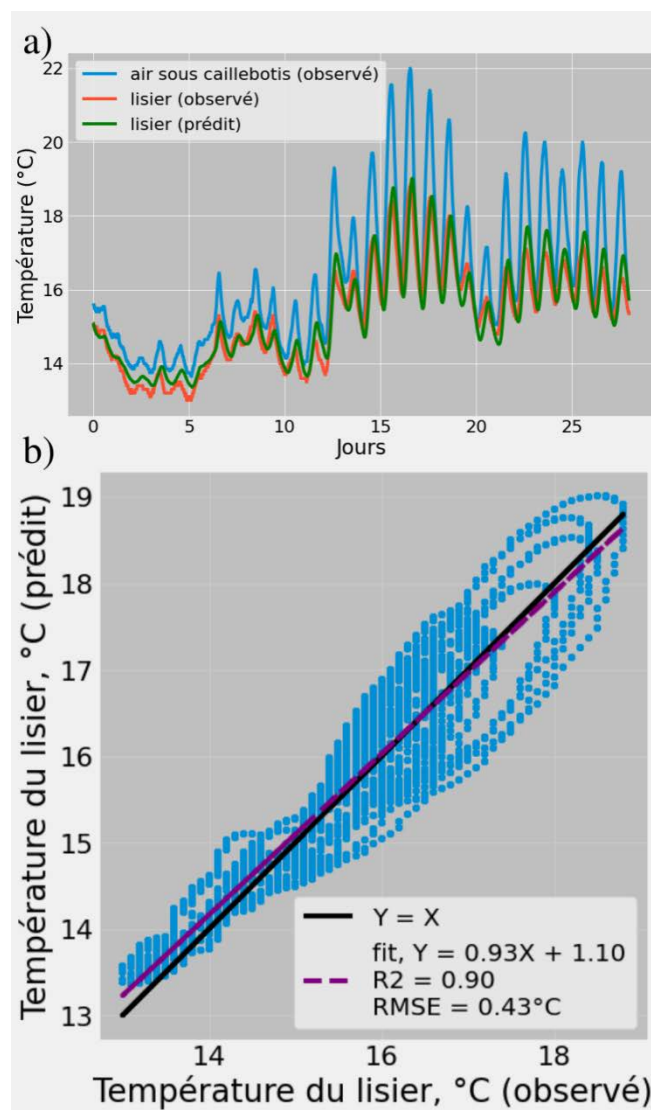


Figure 1 – Observations versus prédictions. **a)** Évolution de la température du lisier (observé et prédit) en fonction de la température de l'air (observé). **b)** validation du modèle

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Jarvis S.C., Pain B.F., 1990. Ammonia volatilization from agricultural land – Proceedings of the Fertiliser Society, Greenhill House, Peterborough (UK) 298, pp. 35
- Marcon M., Massabie P., Kergourlay F., Dourmad J.Y., Salaun Y., 2016. MEDIBATE, un modèle dynamique des flux d'énergie directe et indirecte dans les bâtiments d'élevage de porcs pour l'aide à la décision. Journées Rech. Porcine, 177-182.
- Petersen S.O., Hutchings N.J., Hafner S.H., Sommer S.G., Hjorth M., Jonassen K.N., 2016. Ammonia abatement by slurry acidification: a pilot-scale study of three finishing pig production periods. Agric., Ecosyst Environ., 216, 258-268