

# Estimation des flux d'éléments à risque pour l'environnement dans un élevage cunicole : une approche par modélisation

B. MEDA<sup>1</sup>, M. HASSOUNA<sup>2</sup>, L. FORTUN-LAMOTHE<sup>3</sup>

<sup>1</sup> INRA, UR 83 Recherches Avicoles, F-37380 Nouzilly, France

<sup>2</sup> INRA, UMR 1069 SAS, F-35000 Rennes, France

<sup>3</sup> INRA, UMR 1289 TANDEM, F-31326 Castanet Tolosan, France

**Résumé.** La modélisation est devenue un outil incontournable pour concevoir et évaluer des systèmes d'élevage. En cuniculture, il n'existe pas dans la littérature de modèle permettant d'étudier les rejets vers l'environnement et les conséquences de changement de pratiques sur ces rejets. Un modèle dynamique a été développé pour quantifier les flux à risque pour l'environnement (effluents, émissions gazeuses) d'un élevage naisseur-engraisseur en fonction des performances des animaux (reproduction, croissance, ingestion) et des teneurs en azote et phosphore des aliments. Le modèle repose sur des bilans de masse et est composé de deux sous-modèles. Le premier représente les animaux et leurs performances. Le second représente l'effluent et les pertes gazeuses (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>). Nous avons réalisé une simulation pour un élevage moyen français. Les quantités excrétées de N et P ont été estimées à 7,55 et 2,17 kg/femelle/an respectivement. En engraissement, les émissions de NH<sub>3</sub> sont estimées à 424 mg/j/lapin mais des travaux expérimentaux complémentaires sont nécessaires pour confirmer cette valeur.

**Abstract. Prediction of nutrient flows with potential impacts on the environment in a rabbit farm: A modeling approach.** Modeling has become an important tool to design and evaluate farming systems. There is no such model described in the literature for rabbit production to study the nutrient flows (especially gaseous emissions) and the consequences of farming practices on these flows. A dynamic model was developed to quantify flows of N and P (feed intake, manure, gaseous emissions) in a farrowing-finishing farm. The model is based on mass balances and is composed of two sub-models. The first one represents the animals and their performances. The second one represents manure production and associated gaseous losses (NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, and CH<sub>4</sub>). We propose a simulation for an average French farm. N and P excretion represents respectively 7.55 and 2.17 kg/doe/year. During fattening, NH<sub>3</sub> emissions were estimated to be about 424 mg/d/rabbit but further experiments are required to confirm this value.

## Introduction

La recherche agronomique et les acteurs du développement travaillent à la réduction des impacts environnementaux de l'élevage, soit au niveau de l'atelier d'élevage (alimentation, gestion de l'ambiance et des effluents), soit au niveau de l'exploitation, plus rarement au niveau de la filière ou du territoire. Dans ce contexte, l'approche dynamique du fonctionnement du système est indispensable pour étudier les flux environnementaux et développer des pratiques d'élevage innovantes. A ce titre, la modélisation est un outil incontournable pour étudier rapidement et à moindre coût l'effet de nouvelles pratiques ou de combinaisons de pratiques sur les rejets vers l'environnement. Des modèles existent pour certaines productions animales (Chardon *et al.*, 2012 ; Méda *et al.*, 2011), mais aucun n'est disponible en cuniculture. L'objectif de ce travail est donc de proposer un modèle pour les élevages cunicoles permettant de quantifier les flux d'azote (N) et de phosphore (P) et les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) en fonction de la composition des aliments, du niveau des performances zootechniques et de reproduction.

### 1. Description du modèle

#### 1.1. Description générale

Dans notre approche, nous avons représenté un élevage cunicole de type « naisseur-engraisseur »

avec une conduite en bande unique en système « tout plein-tout vide » comme dans environ 40 % des élevages français (Coutelet, 2011). L'élevage est composé de deux bâtiments identiques avec le passage à chaque sevrage des femelles reproductrices d'un bâtiment à l'autre.

Les performances des animaux ainsi que les flux de N et de P au sein de l'élevage (ingestion, rétention, excrétion, pertes gazeuses) sont calculées au pas de temps journalier et agrégées pour chaque atelier (Maternité et Engraissement) à l'échelle de l'année.

#### 1.2. Echelle Animal

La croissance des lapereaux est simulée à l'aide d'une fonction de Gompertz modifiée (Aubry *et al.*, 2004) paramétrée avec le poids à la naissance, le poids et l'âge à l'abattage. Cette fonction utilise également un coefficient B traduisant la précocité de la croissance. La valeur de ce coeff

icient (0,0314) a été déterminée par ajustement de la fonction à des données d'évolution du poids vif des lapins au cours de la croissance. A ce stade du développement de l'outil, les variations de poids des femelles reproductrices sont supposées nulles.

Avant le sevrage (âge au sevrage fixé par l'utilisateur), les lapereaux consomment le lait produit par la mère et commencent à manger de l'aliment solide distribué à la mère. A ce stade du

développement de l'outil, pour représenter cette ingestion, nous avons considéré i) que la production laitière de la mère est constante au cours de la lactation (i.e. pas de chute de la production laitière en fin de lactation), ii) qu'elle est fonction de la taille de la portée comme proposé par Maertens *et al.* (2006) et iii) que tous les lapereaux consomment la même quantité de lait. Nous avons considéré que les teneurs en azote et phosphore du lait sont constantes au cours de la lactation et sont respectivement de 19,7 g/kg et 2,4 g/kg (Maertens *et al.*, 2006). Concernant l'ingestion d'aliment solide, nous avons considéré que le lapereau commence à consommer l'aliment de sa mère vers 17j selon les valeurs proposées par Orengo et Gidenne (2005). Pour la phase d'engraissement, un indice de consommation constant (fixé par l'utilisateur) est utilisé. Enfin pour l'ingestion de la mère, compte-tenu de la non prise en compte de ses variations de poids au cours du cycle de reproduction, une valeur moyenne d'ingestion quotidienne fixée à 438 g/j (Maertens *et al.*, 2005) a été retenue.

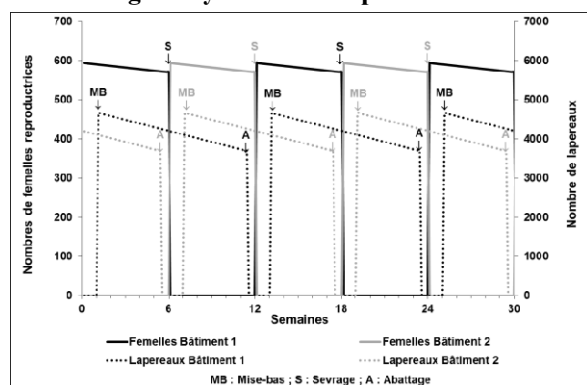
Chez les lapereaux, la rétention corporelle de N et de P est calculée à partir du gain de poids quotidien et des teneurs en N et P du poids vif (29 g/kg et 4,7 g/kg respectivement) proposées par Maertens *et al.* (2005). Pour les mères, la rétention corporelle est considérée comme nulle puisque leur gain de poids est nul. Cependant, une partie de l'ingéré est exportée vers le lait et vers la croissance intra-utérine (gestation).

L'excrétion des animaux est calculée par bilan entre les entrées (ingestion d'aliment et/ou de lait) et la fixation (rétention corporelle, lactation, gestation).

### 1.3. Echelle troupeau

Dans chaque bâtiment, la démographie des différents groupes d'animaux (reproductrices, lapereaux en croissance) est simulée grâce à un taux de mortalité pour les lapereaux et à un taux de perte (mortalité + réforme) pour les reproductrices. Le nombre instantané d'animaux présents à chaque pas de temps peut donc être connu (Figure 1). Le rythme de reproduction est la somme de la durée de la gestation (constante, 31j) et de la durée de l'intervalle mise-bas/IA (fixé par l'utilisateur).

**Figure 1. Evolution des effectifs de femelles reproductrices et de lapereaux dans les bâtiments d'un élevage en système « tout plein – tout vide ».**



A chaque mise-bas, le nombre de lapereaux nés est calculé en multipliant le nombre de mères présentes par le taux de mise-bas (%) et par le nombre de nés vivants par mise-bas (valeurs fixées par l'utilisateur). Enfin, pour les reproductrices, nous supposons que les femelles perdues (mortalité + réforme) à chaque bande sont renouvelées à la bande suivante pour maintenir un effectif moyen constant dans l'élevage (fixé par l'utilisateur).

### 1.4. Effluents et émissions gazeuses en bâtiment

Les pertes gazeuses azotées sont calculées à partir des quantités d'azote excrétées chaque jour en leur appliquant des facteurs d'émissions spécifiques pour chaque gaz, exprimés en % du N excrété. Pour calculer les pertes totales gazeuses, la valeur de 43% de l'azote excrété cité dans les travaux du CORPEN (1999) a été retenue car le mode de gestion des effluents associé est le plus représentatif des élevages français actuels (stockage en fosse semi-profonde). Pour les émissions de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), la référence de 0,2 % de l'azote excrété issue de l'IPCC (2006) a été retenue. Enfin, compte tenu que l'ammoniac (NH<sub>3</sub>) est le composé majoritaire émis, et en l'absence de référence exprimée en fonction de l'azote excrété, nous avons considéré que 80% des pertes totales étaient émises sous forme de NH<sub>3</sub> (soit 34,4 %). Par ailleurs, les émissions quotidiennes par animal de méthane (CH<sub>4</sub>) liées à l'effluent sont calculées à partir du poids vif des animaux et du facteur d'émission moyen de 0,14 g CH<sub>4</sub>/j/kg vif issu des travaux de l'IPCC (2006). En revanche, en l'absence de références IPCC (2006), les émissions de CH<sub>4</sub> issues de la fermentation entérique ont été considérées comme nulles.

La quantité d'azote totale présente dans l'effluent en sortie du bâtiment est ensuite calculée par différence entre l'excrété total et les pertes gazeuses azotées totales. La quantité de phosphore totale présente dans l'effluent correspond quant à elle à la quantité totale excrétée puisque cet élément est non volatil.

## 2. Résultats : simulation d'un élevage moyen français (rythme de reproduction de 42 jours)

### 2.1. Origine des données pour le paramétrage

Afin d'illustrer les potentialités de notre modèle, nous proposons ici une simulation basée sur les résultats technico-économiques moyens de 2010 (Coutelet, 2011) pour un élevage naisseur-engraisseur pratiquant un rythme de reproduction de 42 jours (sevrage à 35 jours). Les principales données et références utilisées pour la simulation sont récapitulées dans le Tableau 1.

### 2.2. Devenir de l'azote et du phosphore ingérés

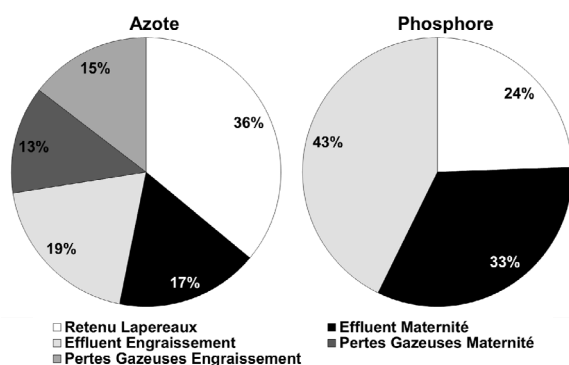
Au niveau de l'élevage, les quantités totales d'azote et de phosphore ingérées via l'aliment, pour l'ensemble des animaux présents dans l'élevage et par cycle de reproduction, sont de 8212 et 1919 kg, dont environ 60 % ingérés par les lapereaux. Le devenir de l'azote et du phosphore ingérés est donné dans la Figure 1.

**Tableau 1. Principales données et références utilisées pour simuler un élevage naisseur-engraisseur français moyen (2010).**

Données	Valeur	Référence
Nb de femelles en production	582	
Taux de mise-bas (%)	81,7	Coutelet, 2011
Nés vivants par mise-bas	9,67	
Poids des femelles (kg)	4,0	Calvet <i>et al.</i> , 2011
Pertes en engraissement (%)	7,0	
Age à l'abattage (j)	73,4	Coutelet, 2011
Poids à l'abattage (kg)	2,47	
N aliment Maternité (g/kg)	28,0	
P aliment Maternité (g/kg)	6,6	Maertens <i>et al.</i> , 2005
N aliment Engraissement (g/kg)	25,6	
P aliment Engraissement (g/kg)	6,4	
IC Lapereaux (35-70j)	2,9	Gidenne <i>et al.</i> , 2011

En moyenne, 36 % de l'azote et 24 % du phosphore sont retenus dans les lapereaux durant leur croissance. Le reste du P est excrété et retrouvé dans les effluents produits (76 %). Pour l'azote, compte tenu des pertes gazeuses qui représentent 28 % du N ingéré, seulement 36% seront retrouvés dans l'effluent en sortie de bâtiment. Enfin, les quantités de N excrétées dans l'atelier Maternité et l'atelier Engraissement représentent 47% et 53 % respectivement, tandis que les quantités de P représentent respectivement 43 % et 57 % de l'ingéré en Maternité et en Engraissement.

**Figure 2. Devenir de l'azote et du phosphore ingérés (aliments) dans un élevage naisseur-engraisseur moyen français (582 femelles).**



Maertens *et al.* (2005) estimaient l'excrétion totale de N et P d'un élevage naisseur-engraisseur exprimée par an et par femelle productive à 7,42 kg et 2,08 kg respectivement. Dans notre simulation, ces valeurs sont similaires (7,55 kg et 2,17 kg respectivement pour N et P). Toutefois, la productivité annuelle par femelle de notre élevage est supérieure à celle observée par Maertens *et al.* (2005 ; 54 vs 45 lapereaux/femelle/an). Ainsi, exprimée par lapereau abattu, les niveaux d'excrétion de N (140 vs 165 g) et

P (40 vs 46 g) sont inférieurs (15%) à ceux proposés par Martens *et al.* (2006).

### 2.3. Emissions gazeuses

Les émissions annuelles totales de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> pour l'élevage pour l'atelier Maternité et l'atelier Engraissement sont données dans le Tableau 2. Les ateliers Maternité et Engraissement représentent respectivement 47 % et 53 % des émissions totales de NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O de l'élevage. Cette répartition n'est pas observée pour le CH<sub>4</sub> où les émissions de l'atelier Maternité et de l'atelier Engraissement représentent respectivement 39 % et 61 % des émissions totales. Cette répartition peut s'expliquer par l'utilisation d'un facteur d'émission journalier exprimé en fonction du poids vif. En effet, le poids total moyen des animaux présents à un instant t en Maternité (environ 2800 kg) est largement inférieur au poids total moyen des lapereaux présent à l'instant t en Engraissement (environ 6200 kg en moyenne).

**Tableau 2. Emissions moyennes en bâtiment de NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> par stade d'élevage dans un élevage naisseur-engraisseur moyen français.**

	NH <sub>3</sub>	N <sub>2</sub> O	CH <sub>4</sub>
Total Maternité <sup>1</sup> (kg/an)	863	6,5	201
Total Engraissement <sup>2</sup> (kg/an)	973	7,3	315
Maternité <sup>1</sup> (mg/femelle/j)	4061	30,6	946
Engraissement <sup>2</sup> (mg/lapereau/j)	424	3,2	137

<sup>1</sup> dont émissions liées aux lapereaux avant sevrage

<sup>2</sup> émissions des lapereaux après sevrage

Les émissions moyennes de NH<sub>3</sub> calculées dans notre étude diffèrent largement des valeurs proposées par Calvet *et al.* (2011). Les émissions de l'atelier Maternité sont nettement plus élevées dans notre étude que dans l'étude de Calvet *et al.* (2011) avec respectivement des émissions de 4061 et 1342 mg NH<sub>3</sub>/femelle/j. Il est toutefois difficile d'expliquer cette différence en raison du manque d'informations dans l'étude de Calvet *et al.* (2011), notamment sur la productivité des reproductrices. De même, les émissions de l'atelier Engraissement sont plus élevées dans notre étude (424 et 225 mg/lapereau/j respectivement). Cependant, le poids des lapereaux à l'abattage est plus élevé dans notre étude que dans celle de Calvet *et al.* (2011). Ainsi, rapporté au kilo de poids vif, les niveaux d'émissions sont beaucoup plus proches, (288 et 204 mg/j/kg vif respectivement pour notre étude et Calvet *et al.*, 2011). Concernant le N<sub>2</sub>O, les émissions en Engraissement sont du même ordre de grandeur, tandis que les émissions en Maternité sont nettement plus faibles dans notre étude que dans celle de Calvet *et al.* (2011) (31 et 247 mg/femelle/j). Cependant, le facteur d'émission utilisé n'est pas spécifique aux élevages cynicoles et pourrait expliquer en partie cette différence.

### 3. Discussion : perspectives d'amélioration

#### 3.1. Performances zootechniques

La prédiction de l'excrétion repose notamment sur une bonne connaissance des quantités de N et P ingérées et retenues. Ainsi, pour les lapereaux, la prédiction de l'ingéré pourra être amélioré en ne considérant plus une ingestion basée sur un indice de consommation fixe mais sur un indice de consommation variant avec l'âge du lapereau.

Pour les femelles reproductrices, la même démarche devra être mise en œuvre pour représenter la dynamique de l'ingéré qui varie en fonction du stade physiologique de l'animal (gestation et/ou lactation). De même, nous avons considéré que le poids des femelles est constant au cours d'un cycle de production alors que des variations de poids sont observées sur le terrain. Il sera donc nécessaire de prendre en compte ces variations afin de représenter les phénomènes de constitution/mobilisation de réserves corporelles, notamment pour la lactation qui devra également être modulée en fonction du temps.

#### 3.2. Facteurs d'émissions gazeuses

La variabilité des émissions gazeuses liées aux effluents d'élevage est très forte. Or, peu de données sont disponibles sur les émissions gazeuses en élevage cunicole et peuvent donc conduire à sur/sous-estimer les prédictions de notre modèle. Aussi, afin de les améliorer, il est nécessaire de réaliser des expérimentations pour acquérir des références pour un élevage français. Par ailleurs, ces mesures devront être couplées à des bilans de masse (ingestion, rétention, effluent) afin d'exprimer les émissions en fonction de l'excrété. Concernant le méthane, la fermentation entérique devra être quantifiée.

#### 3.3. Pratiques de gestion des effluents

La fréquence d'évacuation des déjections à l'extérieur du bâtiment influence les émissions gazeuses. Plus les déjections sont stockées longtemps sous les cages des animaux, plus les émissions seront élevées (Guingand et Lagadec, 2011). Dans notre modèle, nous n'avons pas pris en compte le temps de présence des déjections sous les cages des animaux. Il est donc important d'inclure dans le modèle des facteurs de variation permettant de moduler la valeur des facteurs d'émissions de référence en fonction du temps de présence des déjections sous les cages des animaux.

Par ailleurs, la prise en compte dans le modèle du stockage des effluents à l'extérieur du bâtiment et des émissions gazeuses associées permettra d'estimer les quantités de N et P réellement épanchables.

### Conclusion

Cette étude présente un modèle original qui devrait permettre d'établir de nouvelles références sur l'impact environnemental des ateliers cunicoles. Il permettra en effet d'étudier l'effet de combinaisons de pratiques (alimentation, reproduction, gestion de

l'effluent) notamment sur les émissions gazeuses de NH<sub>3</sub> et de gaz à effet de serre (CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O) et ainsi aider à la conception de systèmes plus durables. Cependant, le développement du modèle doit se poursuivre en améliorant certains aspects liés aux performances des animaux et à la gestion de l'effluent. Enfin, il pourrait être couplé à d'autres modèles à l'échelle de l'exploitation (MELODIE) ou du système de production (Analyse du Cycle de Vie).

### Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier Vincent Loussouarn (EUROLAP) pour la mise à disposition de données de croissance des lapereaux.

### Références bibliographiques

- AUBRY A., QUINIOU N., LE COZLER Y., QUERNE M., 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage : actualisation des coefficients appliqués aux critères standardisés de performances en GTE. *36<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Porcine* : 409-422.
- CALVET S., CAMBRA-LOPEZ M., ESTELLES F., TORRES A.G., 2011. Characterization of the indoor environment and gas emissions in rabbit farms. *World Rabbit Sci.* : 19, 49-61.
- CHARDON X., RIGOLOT C., BARATTE C., ESPAGNOL S., RAISON C., MARTIN-CLOUAIRE R., RELIER J.P., LE GALL A., DOURMAD J.Y., PIQUEMAL B., LETERME P., PAILLAT J.M., DELABY L., GARCIA F., PEYRAUD J.L., POUPA J.C., MORVAN T. AND FAVERDIN P., 2012. MELODIE: A whole-farm model to study the dynamics of nutrients in dairy and pig farms with crops. *Animal*: 6(10), 1711-1721.
- CORPEN, 1999. Estimation des rejets d'azote et de phosphore par les élevages cunicoles. 17 p.
- COUTELET G., 2011. Résultats technico-économiques des éleveurs de lapins de chair en France en 2010. *14<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Cunicole* : 131-134.
- GIDENNE T., COMBES S., BRIENS C., DUPERRAY J., REBOURS G., SALAUN J.M., WEISSMANN D., FORTUN-LAMOTHE L., COMBE Y., TRAVEL A., 2011. Ingestion restreinte et concentration protéique de l'aliment : impact sur la digestion et les rejets azotés chez le lapin en croissance. *14<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Cunicole* : 21-24.
- GUINGAND N., LAGADEC S., 2011. Slurry removal: A simple way to reduce NH<sub>3</sub>, GHG and odours emitted by piggeries. *15<sup>th</sup> ISAH congress*, Vienna (Austria): 363-366.
- IPCC, 2006. 2006 IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories - Chapter 10: Emissions from livestock and manure management. 87 p.
- MAERTENS L., LEBAS F., SZENDRŐ ZS., 2006. Rabbit milk: A review of quantity, quality and non-dietary affecting factors. *World Rabbit Sci.* : 14, 205-230.
- MAERTENS L., CAVANI C., PETRACCI M., 2005. Nitrogen and phosphorus excretion on commercial rabbit farms: Calculations based on the input-output balance. *World Rabbit Sci.* : 13, 3-16.
- MEDA B., ROBIN P., AUBERT C., RIGOLOT C., DOURMAD J.Y., HASSOUNA M., 2011. MOLDAVI : Un modèle pour simuler les flux d'éléments et d'énergie des ateliers de production de volailles de chair avec ou sans parcours. *9<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Avicole* : 146-150.
- ORENGO J., GIDENNE T., 2005. Comportement alimentaire et caecotrophie chez le lapereau avant sevrage. *11<sup>èmes</sup> Journées de la Recherche Cunicole* : 45-48.