

**MOLDAVI : UN MODELE POUR SIMULER LES FLUX D'ELEMENTS ET
D'ENERGIE DES ATELIERS DE PRODUCTION DE VOLAILLES
DE CHAIR AVEC OU SANS PARCOURS**

**Meda Bertrand¹, Robin Paul¹, Aubert Claude²,
Rigolot Cyrille³, Dourmad Jean-Yves⁴, Hassouna Mélynda¹**

¹*INRA, UMR 1069 SAS, F-35000 RENNES, FRANCE*

²*ITAVI, Zoopôle Beauce, F-22440 PLOUFRAGAN, FRANCE*

³*INRA, UMR 1080 PL, F-35590 SAINT-GILLES, FRANCE*

⁴*INRA, UMR 1079 SENAH, F-35590 SAINT-GILLES, FRANCE*

melynda.hassouna@rennes.inra.fr

RESUME

MOLDAVI est un modèle dynamique au pas de temps horaire permettant de simuler les flux d'eau, de C, N, P, K, Cu et Zn ainsi que les flux d'énergie d'ateliers de production de volailles de chair. Le modèle est multi-espèce et permet de simuler différents modes de production avec ou sans accès à un parcours. Dans MOLDAVI la croissance des animaux est simulée par un modèle « animal type » basé sur une courbe de Gompertz ajustée en fonction de l'espèce et de la souche choisie. Les productions de chaleur, d'eau et de CO₂ par les animaux et les effluents sont ensuite calculées. L'alimentation des animaux est également simulée en tenant compte de la composition des aliments et de nombreuses sorties sont disponibles (ingestion, rétention, excrétion). La modélisation des bâtiments prend en compte la régulation de l'ambiance, les effluents produits, aussi bien sur les plans qualitatifs (composition) que quantitatifs (masse, volume). Le calcul des émissions de NH₃, N₂O, et CH₄ des effluents repose sur l'utilisation de facteurs d'émissions issus de la littérature et de dires d'experts modulés en fonction des pratiques d'élevage retenues pour la simulation ce qui permet de tester des combinaisons de pratiques. Les consommations d'eau et d'énergie (gaz, fuel, électricité) sont également prédites par le modèle. Enfin, afin d'illustrer les potentialités de MOLDAVI pour l'évaluation de systèmes avicoles, cet article présente trois applications de MOLDAVI : 1) l'effet de l'alimentation sur les performances zootechniques (croissance et ingestion) ; 2) l'effet du climat extérieur sur les conditions d'ambiance dans le bâtiment ; 3) l'effet de pratiques sur les caractéristiques de l'effluent et sur les émissions gazeuses.

ABSTRACT

MOLDAVI: A model to predict nutrient and energy fluxes from meat poultry production systems.

MOLDAVI is a simulation model developed to predict nutrient (water, C, N, P, K, Cu, and Zn) and energy fluxes from poultry production systems at an hourly time-step. The model can represent multiple poultry species and simulate a variety of production systems with or without an outdoor run. MOLDAVI predictions are based mainly on animal growth, which is simulated by an adjusted Gompertz function depending on species and breed. Heat, water and carbon dioxide produced by animals and manure are then calculated. Animal feeding is included in the model, with the ability to simulate several feed compositions. Feed consumption, body retention and excretion are also calculated. At the house scale, indoor climatic conditions are calculated, and ventilation and heating are regulated to meet indoor condition targets. The amount and chemical composition of manure also are predicted. Emissions of NH₃, CH₄ and N₂O from manure are calculated with emission factors from the literature and modulated according to manure management practices. The effects of innovative management practices on gaseous emissions therefore can be tested easily. Water and energy (natural gas, fuel, electricity) consumption also are predicted. To illustrate the potential of the model for the assessment of poultry systems, this paper presents three different applications of MOLDAVI: 1) the effect of feeding on zootechnical performance (growth, feed consumption); 2) the effect of outdoor climate on indoor ambient conditions; 3) the effect of farming practices on manure characteristics and gaseous emissions.

INTRODUCTION

L'intensification des systèmes durant la seconde moitié du XX^{ème} siècle s'est montrée très efficace pour faire face à la demande croissante en produits animaux. Mais ils sont désormais pointés pour leurs effets négatifs sur l'environnement (FAO, 2006).

La recherche agronomique et les acteurs du développement travaillent donc à la réduction des impacts environnementaux des productions animales, soit au niveau de l'atelier d'élevage (alimentation, gestion des effluents), soit plus globalement au niveau de l'exploitation. L'approche dynamique du système est indispensable à la connaissance des flux environnementaux et au développement de pratiques d'élevage innovantes. En effet, les fuites de polluants vers l'air ou vers les eaux s'expliquent en grande partie par l'absence de synchronisation ou le déséquilibre, entre leur production et leur recyclage par l'agroécosystème.

A ce titre, la modélisation est un devenu un outil incontournable pour étudier rapidement et à moindre coût l'effet de nouvelles pratiques ou de combinaisons de pratiques sur l'environnement. Si des modèles existent pour l'élevage laitier ou porcin (Chardon, 2008 ; Rigolot 2009), ils font encore défaut en aviculture.

Pour combler ce manque, le modèle MOLDAVI agrège, dans un modèle dynamique à l'échelle de l'atelier, des connaissances sectorielles acquises dans différentes disciplines. Il devrait permettre de réduire les incertitudes sur les flux environnementaux des systèmes avicoles, d'étudier de nouvelles pratiques et de concevoir des systèmes innovants.

1. DESCRIPTION DU MODELE

MOLDAVI est modèle dynamique au pas de temps horaire. Le modèle est multi-espèces (poulets, canards, dindes) et permet de simuler différents modes de production en claustration ou avec accès à un parcours. Le modèle porte sur les flux de C, N, P, K, Cu, Zn et d'eau ainsi que les flux d'énergie (flux de chaleur, consommation d'énergie).

L'architecture du modèle MOLDAVI repose en grande partie sur l'architecture utilisée pour représenter l'atelier d'élevage porcin dans le modèle MELODIE (Chardon, 2008 ; Rigolot 2009) afin de faciliter un couplage des deux modèles dans l'avenir. Le modèle est construit autour de plusieurs modules qui composent l'atelier : un module *Animal*, un module *Bâtiment-Parcours* et un module *Stockage-Traitement* des effluents.

1.1. Échelle animale

A l'échelle animale, les fonctions de croissance, d'ingestion et d'excrétion sont déterminées pour un animal « type » avant d'être estimées pour l'ensemble du lot, au moyen d'une fonction de population prenant en compte la mortalité.

1.1.1. Croissance des animaux

Le poids vif (PV) des animaux est calculé selon fonction de Gompertz modifiée en fonction de l'espèce et de la souche permettant ainsi de simuler des animaux avec différentes vitesses de croissance.

Enfin, certaines lois de réponse de la croissance à l'alimentation (effet de la teneur en protéines ou en énergie notamment) issues du modèle INAVI (Quentin, 2004) ont été intégrées au modèle. Elles ne sont toutefois applicables que pour l'élevage de poulets.

1.1.2. Alimentation

Les quantités d'aliments ingérées sont calculées à partir du gain de poids et d'un indice de consommation moyen (IC) fourni en entrée du modèle. MOLDAVI peut en outre gérer plusieurs aliments successifs avec des compositions différentes. La consommation d'eau de boisson est calculée à partir d'un ratio eau/aliment consommé donné en entrée du modèle.

1.1.3. Rétention corporelle / Excrétion

La rétention corporelle est calculée à partir des valeurs données par le CORPEN (2006) en fonction du PV des animaux. L'excrétion est ensuite estimée par différence entre l'ingéré et le retenu. Dans le cas de systèmes avec parcours, une partie des déjections est excrétée en bâtiment et le complément sur parcours.

1.2. Échelle Bâtiment-Parcours

1.2.1. Présence d'un parcours

Lorsque que l'accès au parcours est possible, la répartition des animaux entre le bâtiment et le parcours est calculée à partir d'un taux moyen de présence sur le parcours fourni en entrée du modèle.

1.2.2. Régulation climatique du bâtiment

Les conditions intérieures de température et d'hygrométrie sont calculées par itérations successives en fonction des conditions climatiques extérieures, des conditions d'ambiance au pas de temps précédent et des paramètres de dimensionnement du bâtiment (débit de ventilation, puissance de chauffage et/ou débit de cooling). L'algorithme d'optimisation est principalement basé sur le modèle CalorSTA développé par Robin *et al.* (2005). La ventilation et le chauffage (ou le cooling) sont ajustés grâce aux bilans de chaleurs latente et sensibles (animaux et effluents) en fonction des consignes de température et d'hygrométrie intérieures fixées en entrées du modèle.

1.2.3. Consommations d'énergie et d'eau

Les consommations d'énergie (gaz, électricité, fuel) et la consommation d'eau (boisson + lavage + cooling) du bâtiment sont également disponibles calculées.

1.3. Devenir des effluents

1.3.1. Émissions gazeuses du bâtiment-parcours

Les émissions gazeuses (NH₃, N₂O, CH₄) sont calculées à partir de facteurs d'émissions issus de la littérature (Meda *et al.*, 2010) modulés selon les pratiques d'élevage et de gestion de l'effluent.

Les émissions de CO₂ et d'eau des effluents sont calculées à partir des productions de chaleur. L'abattement total d'azote est estimé à partir des données du CORPEN (2006), le défaut de bilan correspondant à une émission sous forme de N₂.

La composition des effluents est ajustée de manière dynamique en fonction des pertes gazeuses.

Sur parcours, les émissions sont également calculées à partir de facteurs d'émissions spécifiques. Toutefois, le devenir final des déjections dans le sol après déduction des pertes gazeuses n'est pas simulé.

1.3.2. Stockage-Traitement des effluents

Le module Stockage-Traitement permet de simuler le devenir des effluents (quantité, composition) après leur sortie du bâtiment durant le stockage (fumière, fosse à lisier) et éventuellement lors d'un procédé de traitement (traitement biologique, compostage). Les pertes gazeuses sont calculées de façon similaire à l'aide de facteurs d'émissions spécifiques à chaque mode de stockage et/ou de traitement disponibles dans la littérature.

2. EXEMPLE D'APPLICATIONS

Nous présentons ici différentes simulations pour un bâtiment (1000 m², 20 poulets/m², 4% de mortalité) de production de poulets standards (souche ROSS PM3) afin d'illustrer les potentialités de MOLDAVI. L'objectif de production était d'atteindre un PV à l'abattage de 2 kg à 42 jours avec un IC de 1,8.

2.1. Influence de l'alimentation sur les performances zootechniques

Les figures 1a et 1b présentent respectivement l'effet de 3 régimes très contrastés sur la croissance des animaux (PV) et la consommation totale (CT) d'aliment. Le régime standard (RS) est formulé en suivant les recommandations nutritionnelles pour la souche ROSS PM3. Par rapport à RS le régime R- est déficitaire en matières azotées totales (MAT, -20 g/kg) et en énergie métabolisable (EM, -500 kcal/kg) alors que le régime R+ est enrichi en MAT (+20 g/kg) et en EM (+500 kcal/kg).

Concernant l'évolution du PV des animaux, on observe qu'en début de croissance, les différences entre régime sont très faibles. En fin de bande, le PV de 2 kg est presque atteint (1,99 kg) pour le régime RS. Le PV final à 42 j pour le régime R- est de 1,68 kg, soit un écart de -16% par rapport à RS, et il est de 2,17 kg pour le régime R+, soit +9% par rapport à RS. Pour ce dernier régime le PV de 2 kg est atteint à 39,5j.

En termes de consommation d'aliment, la CT du régime RS est de 3,76 kg (IC de 1,93). La CT pour le régime R- est de 3,33 kg (IC de 2,04) soit une différence de -11% par rapport à RS, ceci étant lié à la croissance plus lente des animaux. Enfin, la CT pour le régime R+ est de 3,99 kg (IC de 1,87) soit une augmentation de 6% par rapport au régime RS en relation avec une croissance plus rapide des animaux.

2.2. Effet du climat extérieur sur les conditions d'ambiance dans le bâtiment

La figure 2a présente une simulation réalisée avec des conditions climatiques (climat océanique) hivernales (températures faibles, hygrométrie de moyenne à élevée) tandis que la figure 2b présente une simulation avec des conditions climatiques (climat océanique) estivales (températures élevées, hygrométrie de faible à moyenne).

La simulation en conditions hivernales montre que la régulation de la ventilation et du chauffage permet de respecter les objectifs de température à l'intérieur du bâtiment (non représentée). L'humidité relative intérieure augmente progressivement avec l'âge des animaux mais la ventilation permet d'évacuer une partie de la vapeur d'eau à l'extérieur du bâtiment et de conserver globalement des hygrométries en dessous de 80% et d'ainsi limiter les risques d'avoir une litière trop humide favorables aux émissions ammoniacales.

En conditions estivales, le modèle est très sensible à la température extérieure. Ainsi, on peut observer que la température intérieure est proche de la température de consigne en début de lot (14 premiers jours) mais qu'en raison des fortes chaleurs, la température intérieure varie fortement et on observe des pics dans le bâtiment, en concomitance avec l'extérieur. Pour tenter de réduire la température à l'intérieur du bâtiment, le modèle actionne le refroidissement évaporatif à plusieurs moments au cours de la période d'élevage avec des débits d'eau élevés en complément de la ventilation au débit maximum. Cette simulation montre que le bâtiment simulé est mal dimensionné pour faire face à de telles conditions climatiques. Le débit maximal de ventilation et/ou le débit maximal d'eau du refroidissement évaporatif devraient être supérieurs afin de pouvoir conserver des conditions de confort thermique pour les animaux à l'intérieur du bâtiment.

2.3. Effet des pratiques sur les émissions gazeuses en bâtiment et sur l'effluent final

Trois pratiques d'élevage ont été testées ici. La première concerne l'alimentation des animaux avec des aliments formulés suivant les recommandations nutritionnelles vs des aliments avec une teneur en MAT réduite de 10 g/kg par rapport aux teneurs recommandées. La seconde concerne le type d'abreuvoirs dans les bâtiments (pipettes vs cloches). La troisième concerne la quantité initiale de paille apportée dans le bâtiment (6 kg/m² vs 4 kg/m²). Le

tableau 1 présente l'effet des différentes combinaisons de pratiques sur la masse de fumier, sa teneur en matière sèche (MS) et en N, ainsi que sur les émissions totales de NH₃, N₂O, N₂ et CH₄ du bâtiment.

La réduction de la teneur en MAT des aliments permet de réduire d'environ 10 % la quantité d'azote excrétée par les animaux et d'environ 10% les émissions totales de NH₃, N₂O et N₂ pour un abattement total identique (en % du N excrété).

Le type d'abreuvoirs apparaît comme une pratique ayant une grande influence sur les émissions gazeuses. Ainsi, un passage de pipettes à des cloches entraîne une augmentation de 53% des émissions de NH₃ et une réduction de l'ordre de 20% des émissions de N₂O. Ceci peut être expliqué par le fait qu'avec des cloches, le gaspillage d'eau est plus important. L'eau gaspillée contribue à humidifier la litière et favorise ainsi les émissions de NH₃ en limitant celles de N₂O (conditions anaérobies défavorables). Ce système d'abreuvement permet en outre d'abattre 28% de N en plus par rapport à un système avec pipettes. Cependant, cet abattement se fait essentiellement sous forme de NH₃ néfaste pour l'environnement. Par ailleurs, le gaspillage d'eau dû à l'utilisation de cloches influe sur la qualité finale du fumier et sur le taux de MS qui est inférieur d'environ 5%.

La quantité de paille apportée a une influence limitée sur les caractéristiques finales du fumier et sur les émissions gazeuses. Cette quantité ne doit cependant pas être trop faible pour continuer à isoler thermiquement les animaux et la litière du sol et ainsi prévenir des maladies et obtenir une litière

suffisamment sèche en fin de bande (montée en température du fumier et évaporation de l'eau).

Les émissions totales de CH₄ (92,7 kg) restent inchangées quelles que soient les pratiques. Ceci est dû au fait que dans MOLDAVI le facteur d'émission de CH₄ du fumier n'est pour l'instant pas modulé par des facteurs de variations (pratiques, humidité du fumier).

CONCLUSION

MOLDAVI est un modèle original qui devrait permettre d'établir de nouvelles références sur l'impact environnemental des ateliers avicoles, et notamment des systèmes « alternatifs » avec parcours. Il permettra également d'étudier l'effet de combinaisons de pratiques notamment sur les émissions gazeuses et ainsi aider à la conception de systèmes innovants, ou être utilisé comme outil pédagogique. Enfin, associé à MELODIE et/ou à la méthode d'ACV, il permettra également d'étudier finement le bilan environnemental de systèmes complexes associant ateliers animaux et cultures.

REMERCIEMENTS

Ce travail a été réalisé avec le soutien financier de l'INRA et de la Région Bretagne. Les auteurs souhaitent remercier Paul Ponchant et Gérard Amand (ITAVI) ainsi que Philippe Lescoat (INRA) pour leur expertise.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Chardon X., 2008. Thèse de Doctorat d'AgroParisTech, Paris, France.
 CORPEN, 2006. Estimations des rejets d'azote, phosphore, potassium, calcium, cuivre, zinc par les élevages avicoles. 55p.
 FAO, 2006. Livestock's long shadow. Environmental issues and options. 390p.
 Meda B., Hassouna M., Aubert C., Robin P., Dourmad J.Y., 2010. 13th European Poultry Conference. p893.
 Quentin M., 2004. Thèse de Doctorat, Ecole Nationale Supérieure Agronomique de Rennes, Rennes, France.
 Rigolot C., 2009. Thèse de Doctorat d'Agrocampus Ouest, Rennes, France.
 Robin P., Hassouna H., Amand G., 2005. Sixièmes Journées de la Recherche Avicole, 136-140.

Figures 1. Effet des régimes RS (régime standard), R+ (MAT,+20g/kg ;EM,+500kcal/kg) et R- (MAT,-20g/kg ; EM,+500kcal/kg) sur le poids vif (a) et la consommation totale d'aliment (b) d'un poulet souche ROSS PM3.

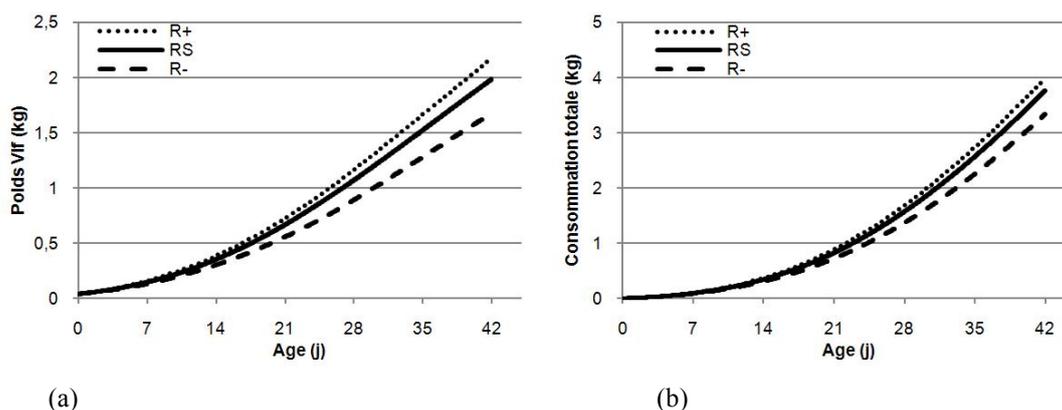


Figure 2. Effet du climat extérieur (Text, HRExt) sur la température (Tint) et l'humidité relative (HRint) intérieures, en conditions hivernales (a) et estivales (b). Evolution du débit de ventilation, de la puissance du chauffage et du débit du cooling d'un bâtiment de 1000m² d'élevage de poulets (20/m²).

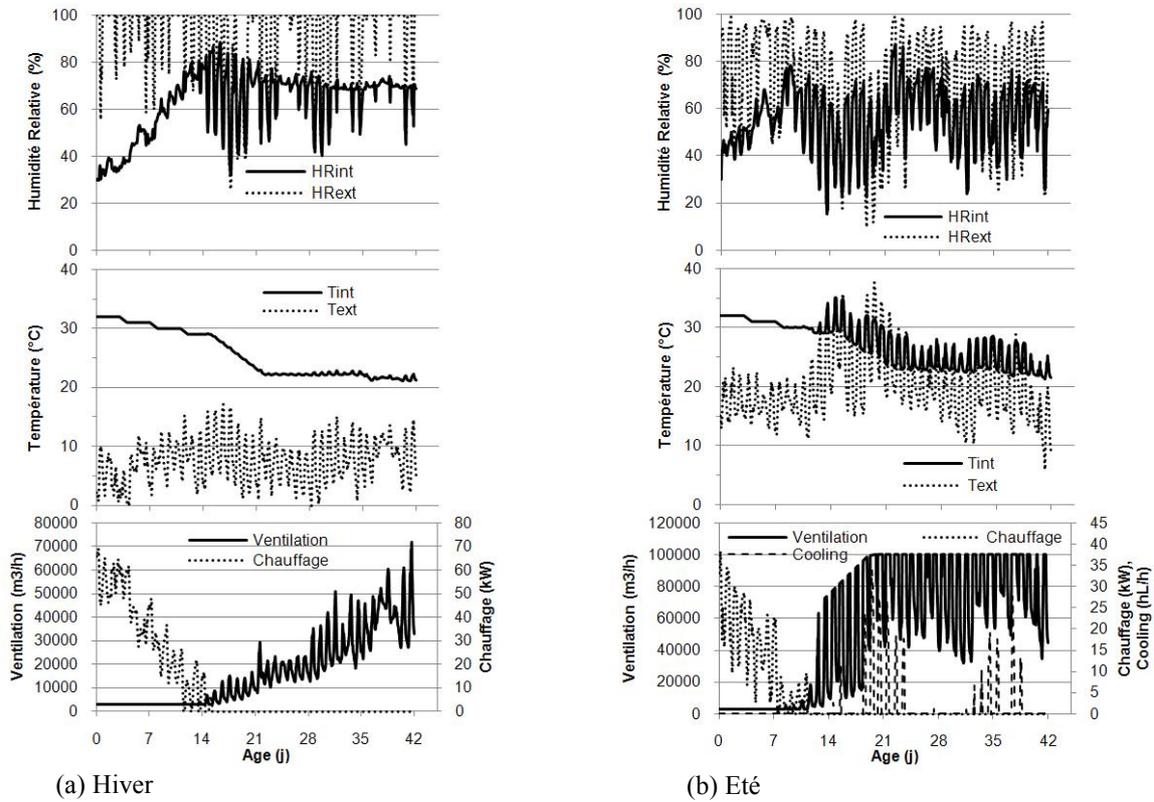


Tableau 1. Effet des pratiques d'élevage sur la masse, la matière sèche (MS), la teneur en azote du fumier et sur les émissions totales de NH₃, N₂O, N₂ du bâtiment et l'abattement total d'azote.

Pratiques			Fumier			NH3	N2O	N2	Abattement total N
Alimentation	Abreuvoir	Paillage	Masse (t)	MS (%)	N (kg/t)	kg (% N excrété)	kg (% N excrété)	kg (% N excrété)	(% excrété)
MAT normale	pipettes	6 kg / m ²	43,0	72,6%	21,9	318 (22%)	30,1 (2%)	22 (2%)	25%
		4 kg / m ²	41,1	71,7%	22,5	323 (22%)	31,9 (2%)	24 (2%)	26%
	cloches	6 kg / m ²	46,3	67,5%	17,5	488 (34%)	24,3 (1%)	8 (1%)	36%
		4 kg / m ²	44,3	66,4%	17,9	494 (34%)	26,2 (1%)	8 (1%)	36%
MAT -1%	pipettes	6 kg / m ²	43,0	72,6%	19,9	288 (22%)	27,3 (2%)	20 (2%)	26%
		4 kg / m ²	41,1	71,7%	20,4	292 (22%)	28,9 (2%)	22 (2%)	26%
	cloches	6 kg / m ²	46,3	67,5%	15,9	441 (34%)	22,1 (1%)	7 (1%)	36%
		4 kg / m ²	44,3	66,4%	16,2	448 (34%)	23,9 (1%)	8 (1%)	36%