

# Optimisation économique et environnementale de l'atelier d'engraissement de porcs, une approche par modélisation

Florence Garcia-Launay, Thomas Plantevin, Ludovic Brossard, Jean-Yves Dourmad

▶ **To cite this version:**

Florence Garcia-Launay, Thomas Plantevin, Ludovic Brossard, Jean-Yves Dourmad. Optimisation économique et environnementale de l'atelier d'engraissement de porcs, une approche par modélisation. 47. Journées de la recherche porcine, Feb 2015, Paris, France. IFIP - Institut du Porc, Journées de la Recherche Porcine en France, 2015, Journées de la Recherche Porcine en France. hal-01210861

**HAL Id: hal-01210861**
**https://hal.science/hal-01210861**

Submitted on 2 Jun 2020

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

2015. Journées Recherche Porcine, 47, 159-164.

# Optimisation économique et environnementale de l'atelier d'engraissement de porcs, une approche par modélisation

*Florence GARCIA-LAUNAY (1,2), Thomas PLANTEVIN (1,2), Ludovic BROSSARD (1,2), Jean-Yves DOURMAD (1,2)*

*(1) INRA, UMR1348, PEGASE, F-35590 Saint-Gilles, France*
*(2) Agrocampus Ouest, UMR1348, PEGASE, F-35000 Rennes, France*

*Florence.garcia-launay@rennes.inra.fr*

**Optimisation économique et environnementale de l'atelier d'engraissement de porcs, une approche par modélisation**

L'atelier d'engraissement est responsable de la majorité des coûts d'alimentation et des rejets de la production porcine. Ainsi, optimiser la séquence alimentaire des porcs en engraissement est un moyen d'améliorer la performance économique et environnementale de la production de porcs. Nous avons développé un modèle d'optimisation de la séquence alimentaire d'une population de porcs en engraissement, baptisé PigOptim. PigOptim calcule les impacts environnementaux de l'atelier par Analyse de Cycle de vie (ACV). Il optimise le poids vif moyen à chaque changement de phase, l'apport de lysine (entre 70% et 130% du besoin moyen de la population) et la formule de chaque aliment en maximisant une fonction-objectif qui intègre la marge brute (MB) de l'atelier et son impact sur le changement climatique (CC). PigOptim utilise des lois de réponse des performances des animaux issues de simulations d'une population réalisées avec InraPorc®. Pour une optimisation sur la MB seule, les meilleurs résultats de MB et CC sont obtenus pour des apports de lysine entre 90 et 100% du besoin moyen de la population, alors que les performances zootechniques sont maximisées à 110% du besoin moyen. L'optimisation conjointe sur MB et CC conduit à une réduction de CC et de MB, mais il se produit une augmentation conjointe d'autres impacts environnementaux. Ces premiers résultats suggèrent que PigOptim produit des estimations cohérentes de performances techniques, économiques et environnementales. A l'avenir, PigOptim devra intégrer plusieurs impacts environnementaux dans la fonction-objectif ainsi qu'une procédure d'optimisation améliorée pour envisager à terme son utilisation dans un outil d'aide à la décision.

**Economic and environmental optimization of pig finishing unit, a modeling approach**

The fattening pig unit is responsible for most of the feeding cost and nutrient excretion in pig farming. Thus, optimizing the feeding schedules of growing-finishing pigs is a way to improve the economic and environmental outputs on a commercial farm. We developed a model, called PigOptim that optimizes the feeding schedule of a population of growing pigs. PigOptim calculates the environmental impacts of pig production by Life Cycle Analysis (LCA). It optimizes the average live weight at the beginning of each phase, the lysine supply (from 70% to 130% of the average requirement of the population) and the formula of each feed by maximizing an objective function which integrates gross margin (GM) of the unit and its impact on Climate Change (CC). PigOptim includes response laws of growth performance issued from simulations of a population performed with InraPorc® software. For an optimization of GM only, the best results of GM and CC were obtained for a lysine supply between 90% and 100% of the average requirement of the population, whereas animal performance was maximized at 110% of the average requirement. The simultaneous optimization of GM and CC led to a reduction of GM and CC, but some other environmental impacts increased. These first results suggest that PigOptim gives consistent estimations of animal performance, GM and environmental impacts. In the future, PigOptim will have to include various environmental impacts in the objective function and will need an improved optimization process for further integration into a decision support system.

## INTRODUCTION

La rentabilité économique et les impacts environnementaux de la production porcine sont fortement dépendants des performances techniques de l'élevage, ainsi que du prix des matières premières et de leur incorporation dans les aliments.

Les outils actuels de formulation permettent de raisonner l'incorporation des matières premières pour maximiser la performance zootechnique avec des aliments à moindre coût (e.g. Porfal®). Différentes études, reposant sur des approches de simulation et/ou d'optimisation ont montré que la recherche des performances techniques maximales ne conduit pas nécessairement à l'optimum économique et/ou environnemental (Pomar *et al*., 2007 ; Morel *et al*., 2012). La formulation des aliments à moindre coût est donc insuffisante pour maximiser la rentabilité économique et minimiser les impacts environnementaux de la production.

Les pratiques d'alimentation efficaces pour réduire l'excrétion de nutriments (N et P en particulier) et les impacts environnementaux associés sont assez bien connues (Dourmad *et al.*, 2009). Elles concernent l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des nutriments en ajustant en dynamique les apports aux besoins (alimentation par phases), en évitant les nutriments en excès (utilisation d'acides aminés alimentaires pour améliorer le profil en acides aminés) et en améliorant leur biodisponibilité (utilisation de phytases pour améliorer l'absorption du P). Pour l'atelier d'engraissement, responsable d'environ 70% des coûts d'alimentation (Mullan *et al.*, 2011) et 70% des rejets (Dourmad *et al*., 1999 ; Poulsen *et al*., 1999), utiliser ces connaissances pour maximiser la rentabilité économique et minimiser les impacts environnementaux revient à optimiser les séquences alimentaires.

Le développement de modèles de croissance stochastiques (Morel *et al*., 2010 ; Vautier *et al*., 2013) qui permettent de simuler la réponse d'une population aux pratiques d'alimentation, ainsi que l'existence d'algorithmes d'optimisation de fonctions non linéaires de grande dimension, permettent d'envisager la maximisation de la marge brute d'un atelier (Alexander *et al*., 2006). Par ailleurs, l'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et les modèles de calcul des émissions ($N_2O$, $NH_3$, $NO_3^-$,…) permettent d'intégrer l'ensemble des impacts potentiels et les différents postes (alimentation, élevage en bâtiment, gestion des effluents) responsables des impacts dans l'évaluation des systèmes et des pratiques.

Pour répondre à ces enjeux et utiliser ces acquis, nous avons construit un modèle d'optimisation de la séquence alimentaire d'une population de porcs en croissance-engraissement sur un critère économique, la marge brute (MB, en €/porc), et un critère environnemental, l'impact changement climatique (CC, en kg $CO_2$-eq/kg porc) calculé par ACV. Cette communication présente le modèle PigOptim, son comportement et son utilisation pour raisonner les objectifs économiques et environnementaux.

## 1. MATERIEL ET METHODES

Le modèle PigOptim (Figure 1) calcule les performances techniques ainsi que le résultat économique et environnemental d'une population de porcs en engraissement en fonction de la séquence alimentaire testée.

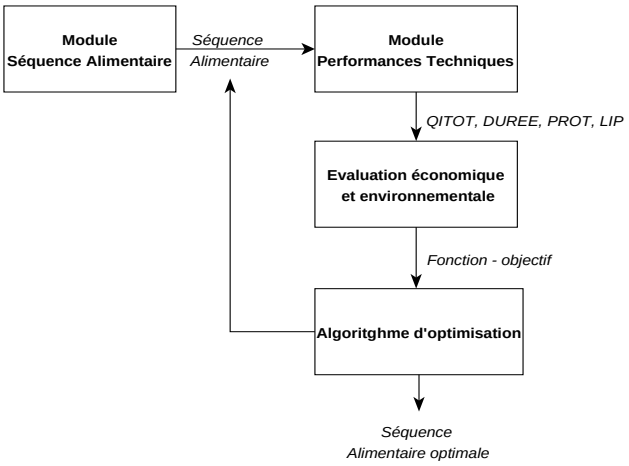



**Figure 1** – Schéma général du modèle PigOptim. Les modules sont indiqués dans des cadres et les variables du modèle sont en italique.

Pour un nombre de phases fixé, PigOptim optimise la séquence alimentaire $S$ définie par le poids moyen de la population à chaque changement de phase, l'apport de lysine digestible (Lysd, en % du besoin moyen de la population par kg d'aliment) au début de chaque phase et la formule de chaque aliment :

$$S = (p_1, t_1, \overrightarrow{x_1}; p_2, t_2, \overrightarrow{x_2}; \dots; p_n, t_n, \overrightarrow{x_n})$$

Où $p$ est le poids vif moyen de la population au début de chaque phase, $t$ est le niveau d'apport (entre 70% et 130% du besoin moyen de la population) de Lysd au début de chaque phase et $\vec{x}$ est un vecteur de formulation dans lequel chaque $x_i$ représente la quantité du i$^{ème}$ ingrédient dans l'aliment. Chaque phase dure au moins le temps nécessaire à un gain de poids supérieur ou égal à 80% du gain de poids total réalisé pendant l'engraissement divisé par le nombre de phases.

PigOptim est constitué de trois modules : un module de conception de la séquence alimentaire, un module de calcul des performances et un module d'évaluation économique et environnementale de la séquence (Figure 1). PigOptim calcule ainsi une fonction-objectif Z :

$$Z = a \times MB - b \times CC$$

Où a et b sont des coefficients de pondération paramétrables. PigOptim est programmé dans GAMS (GAMS Development Corporation, USA) et utilise l'algorithme d'optimisation IPOPT adapté aux problèmes non linéaires de grande taille (Wächter et Biegler, 2006). Cet algorithme cherche la séquence optimale qui maximise la valeur de la fonction-objectif.

### 1.1. Module Séquence Alimentaire

Les séquences alimentaires sont élaborées pour réaliser l'engraissement d'un groupe de porcs depuis 30 kg jusqu'à 115 kg de poids vif. Ce module contient l'ensemble des contraintes et règles de conception de la séquence alimentaire. Les aliments sont formulés en respectant des minima (teneurs en énergie nette, en acides aminés digestibles,…) et des maxima (teneurs en matières azotées totales et cellulose brute,…) de valeurs nutritionnelles ainsi que des limites d'incorporation des différentes matières premières (Garcia-Launay *et al.*, 2014).

Les minima de teneurs des acides aminés digestibles sont calculés selon les profils de besoins en acides aminés pour les porcs en croissance (InraPorc, 2006 ; Ajinomoto Eurolysine, 2011). Les besoins en Lysd de la population sont calculés à chaque changement de phase et les teneurs en Lysd des aliments sont limitées entre 70% et 130% de ces besoins. Les optimisations sont réalisées sans contrainte de teneur minimale en protéines.

### 1.2. Module Performances Techniques

Le module Performances Techniques permet de calculer 4 variables principales : les quantités ingérées totales (QITOT), la durée d'engraissement (DUREE), ainsi que les quantités de protéines (PROT) et de lipides (LIP) corporels retenues.

Le module comporte des équations d'évolution de ces quatre variables, QITOT, DUREE, PROT et LIP ainsi que des besoins en Lysd en fonction du poids vif, établies à partir des résultats de simulations d'InraPorc®.

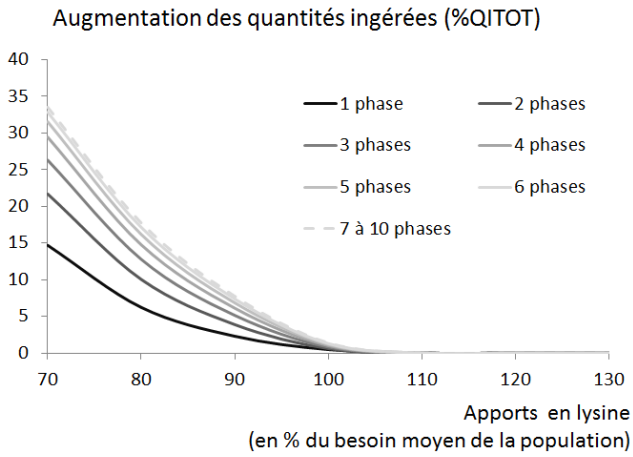



**Figure 2** – Courbes de variations des quantités ingérées totales (QITOT) en fonction du nombre de phases (de 1 phase à 7 phases et plus) et du pourcentage de couverture des besoins en lysine digestible.

Les variations de QITOT, DUREE, PROT et LIP en fonction du nombre de phases et de l'apport en Lysd ont été établies à partir de données de simulation d'une population de porcs (Brossard *et al.*, 2009). Les valeurs de QITOT, DUREE, PROT et LIP ont été simulées avec InraPorc® pour des séquences de 1, 2, 3, 5, 7 et 10 phases et des apports en Lysd constants à chaque début de phase de 70%, 80%, 90%, 100%, 110%, 120% et 130% du besoin moyen de la population. Les courbes de variation de QITOT (Figure 2), DUREE, PROT et LIP en fonction du nombre de phases et des apports en Lysd ont été ensuite ajustées sur ces valeurs. Les équations obtenues traduisent les variations de performances qui se produisent quand la population de porc subit une restriction des apports en acides aminés essentiels.

Le module Performances Techniques calcule également le taux de muscle des pièces (TMP) à partir des proportions de protéines et de lipides corporels (Kloareg *et al.*, 2006).

### 1.3. Module d'évaluation économique et environnementale

La MB par porc produit est calculée en faisant la différence entre les recettes réalisées grâce à la vente des porcs à l'abattage et les coûts liés à l'achat des porcelets, des aliments ainsi qu'aux soins et à la main d'œuvre.

Les coûts des matières premières des aliments sont des moyennes sur 24 mois (2010-2011) issues de la Dépêche (2010-2011) pour l'huile de colza et des relevés mensuels de la note de conjoncture Aliment de l'IFIP pour les autres matières premières (IFIP, 2010-2011). Les compositions des matières premières alimentaires sont issues des tables INRA-AFZ (2004). La plus-value réalisée sur la vente des porcs est calculée à partir des grilles de paiement et des valeurs de TMP et de poids vif vide calculées par le module Performances Techniques. Les coûts de main d'œuvre ont été établis sur la base des données de Quiniou *et al.* (2007).

Les impacts environnementaux de la production d'un kg de porc en sortie de ferme ont été calculés par Analyse du Cycle de Vie (ACV). Le système retenu est un élevage considéré hors-sol, avec gestion des effluents sous forme de lisier, mais qui utilise des surfaces pour la production des aliments et la valorisation des effluents. L'ACV inclut la production et le transport des matières premières alimentaires, la préparation des aliments à l'usine de fabrication (localisée en Bretagne), le transport des aliments jusqu'à l'exploitation, la production des porcelets, le post-sevrage et l'engraissement, le stockage, le transport et l'épandage des effluents. Les impacts associés à la production des porcelets ainsi qu'à l'atelier post-sevrage ont été inclus sur la base des résultats moyens obtenus par Garcia-Launay *et al*. (2013). Les impacts sur le changement climatique (CC, kg $CO_2$-eq), l'eutrophisation (EU, kg $PO_4$-eq), l'acidification (AC, kg $SO_2$-eq), l'écotoxicité terrestre (kg 1,4-DCB-eq), la demande cumulée en énergie (MJ) et l'occupation des terres ($m^2$.an) ont été calculés en multipliant les ressources et les émissions cumulées de chaque substance par son facteur d'impact. Des éléments plus détaillés sur la production des matières premières et le calcul des émissions associées sont disponibles dans Garcia-Launay *et al*. (2013). Les valeurs de MB et d'impact CC sont ensuite utilisées pour calculer la fonction-objectif.

### 1.4. Scénarios explorés

Nous avons simulé des scénarios avec un apport en Lysd constant au début de chaque phase (xxLYS où xx correspond au pourcentage du besoin moyen de la population fixé pour le scénario) et d'autres scénarios avec un pourcentage du besoin moyen de la population variable entre phases (entre 70 et 130% des besoins en lysine) et donc optimisé. Les scénarios explorés ont été simulés avec une optimisation économique seule (ECO1ENV0, coefficient b de la fonction-objectif nul) ou avec une optimisation économique et environnementale. Dans le cas d'une optimisation économique et environnementale, nous avons appliqué un ratio de pondération de 1 à 4 entre les coefficients de MB et CC dans la fonction-objectif (ECO1ENV1, ECO1ENV2, ECO1ENV3, ECO1ENV4, correspondant à des coefficients a=1 et b=1 à 4, respectivement). Ainsi, 12 scénarios ont été étudiés : 70LYS-ECO1ENV0, 80LYS-ECO1ENV0, 90LYS-ECO1ENV0, 100LYS-ECO1ENV0, 110LYS-ECO1ENV0, 120LYS-ECO1ENV0, 130LYS-ECO1ENV0, ECO1ENV0, ECO1ENV1, ECO1ENV2, ECO1ENV3, ECO1ENV4.

## 2. RESULTATS

### 2.1. Analyse du comportement de PigOptim

Les variations d'indice de consommation global (IC, Figure 3) et de gain moyen quotidien (GMQ, données non présentées) obtenues avec les scénarios 70LYS-ECO1ENV0 à 130LYS-ECO1ENV0 sont très proches de celles simulées par Brossard *et*

*al.* (2009) et utilisées pour développer le module Performances Techniques. L'IC augmente avec le nombre de phases pour des apports de lysine entre 70% et 110% des besoins. L'IC maximal est observé pour 70% des besoins et 10 phases. A partir de 110% de couverture des besoins en lysine et au-delà, l'IC n'augmente plus avec le nombre de phases. De la même façon, le GMQ ne varie pas avec le nombre de phases quand l'apport de lysine est supérieur ou égal à 110% du besoin moyen alors qu'il est dégradé pour des pourcentages inférieurs.

La MB calculée (Figure 3) varie largement en fonction du nombre de phases et de la couverture des besoins en Lysd (exprimés en g/kg d'aliment), de 14 €/porc pour 10 phases et 70LYS-ECO1ENV0 à plus de 42 €/porc pour 10 phases et 100LYS-ECO1ENV0. La MB est maximale pour le scénario 100LYS-ECO1ENV0 pour des séquences alimentaires comprenant entre 2 et 10 phases. Pour une séquence avec un aliment unique, le scénario 90LYS-ECO1ENV0 permet d'obtenir la MB la plus élevée. A même nombre de phases, augmenter l'apport en Lysd au-delà de 100% des besoins ou le réduire en dessous de 100% des besoins réduit la MB.

L'impact CC calculé (Figure 3) varie entre 2,05 et 2,39 kg $CO_2$-eq / kg porc produit. Il est minimal avec le scénario 100LYS-ECO1ENV0 pour des séquences alimentaires comprenant de 2 à 10 aliments. Pour une séquence avec un aliment unique, le scénario 90LYS-ECO1ENV0 permet d'obtenir l'impact CC le plus faible. Augmenter l'apport en lysine au-delà de 100% des besoins augmente fortement l'impact CC par augmentation des rejets, mais de manière atténuée pour un nombre élevé de phases. Diminuer l'apport en lysine en dessous de 100% des besoins augmente également l'impact CC.

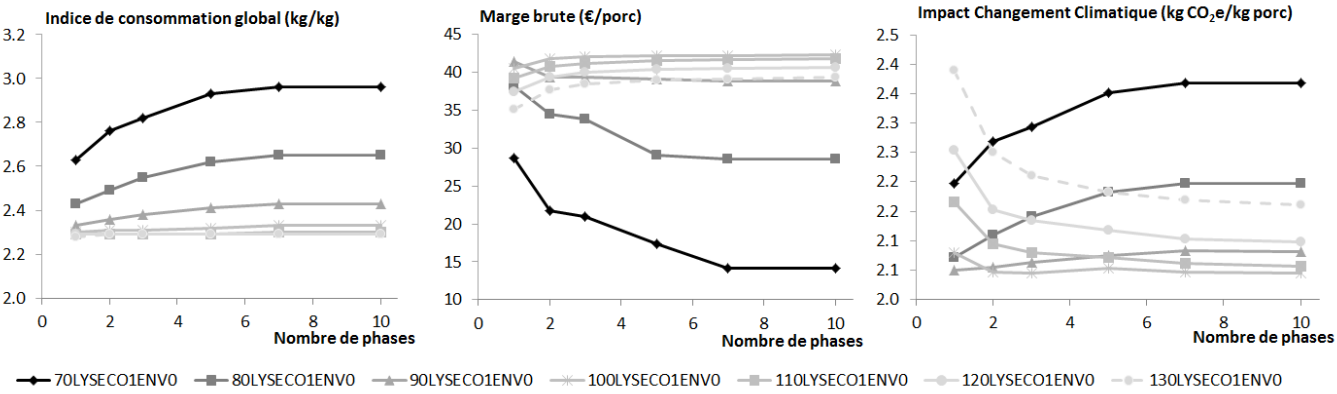



**Figure 3** – Variations de l'indice de consommation, la marge brute et l'impact Changement Climatique simulés en fonction du nombre de phases et de l'apport de lysine digestible en % du besoin moyen de la population (voir description des scénarios en section 1.4.).

## 2.2. Effet des scénarios d'optimisation sur les séquences alimentaires et leurs performances économique et environnementale

### 2.2.1. *Caractéristiques des séquences alimentaires optimisées*

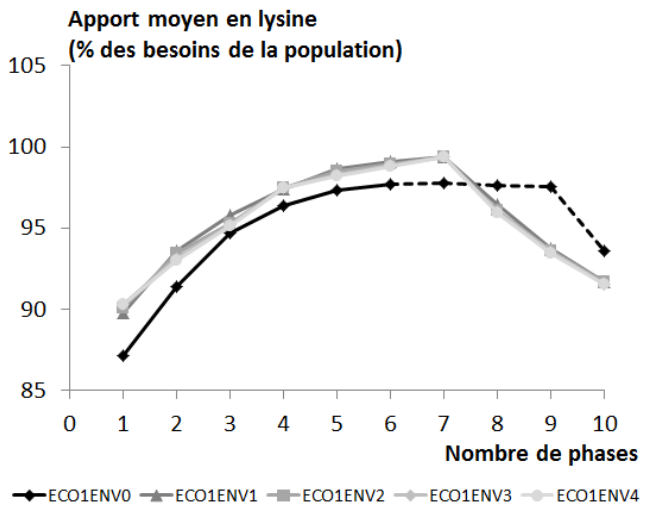



**Figure 4** – Apport moyen de lysine des séquences alimentaires optimisées, en fonction du nombre de phases et du scénario d'optimisation (voir description des scénarios en section 1.4.).

L'optimum du pourcentage moyen des besoins en Lysd dans le scénario ECO1ENV0 (Figure 4) augmente de 87% pour une séquence avec un aliment unique à 97,5% pour une séquence allant de 7 à 9 aliments, puis diminue à 93% pour une séquence à 10 aliments. Pour les scénarios incluant l'impact CC dans la fonction-objectif (ECO1ENV1 à ECO1ENV4), l'apport en Lysd optimisé augmente de 90% du besoin moyen de la population pour une séquence avec un aliment unique à 99% pour une séquence avec 7 aliments, puis diminue au-delà jusqu'à 91,5% pour 10 aliments. Pour des séquences de plus de 7 aliments, les pourcentages des besoins en Lysd des aliments 8, 9 et 10 sont réduits à 70%, ce qui explique la diminution du taux moyen présenté en Figure 4.

La teneur moyenne en protéines optimisée varie de 129,5 g/kg à 146,6 g/kg d'aliment. Quelle que soit la pondération entre MB et impact CC, la teneur moyenne en protéines est supérieure à celle observée avec le scénario ECO1ENV0, à même nombre de phases dans la séquence.

Enfin, les séquences alimentaires optimisées sont caractérisées par une première phase plus longue que les phases suivantes. Cet enchaînement permet de suivre au plus près l'évolution des besoins en Lysd sans trop restreindre les animaux.

### 2.2.2. *Performances économique et environnementale*

La MB varie de 40,7 €/porc à près de 43 €/porc (Figure 5). Quel que soit le scénario retenu, la MB augmente lorsque l'on passe d'une séquence à une phase à une séquence biphase et pour des séquences de plus de 7 phases. Comme il était attendu, à même nombre de phases, ECO1ENV0 produit une MB supérieure à celles des scénarios ECO1ENV1 à ECO1ENV4. Néanmoins une séquence alimentaire avec 10 phases optimisée sur la marge brute et l'impact CC (ECO1ENV1) conduit à la même valeur de marge brute qu'une séquence alimentaire biphase optimisée sur la marge brute uniquement (ECO1ENV0).

L'impact CC (Figure 5) reste stable en fonction de nombre de phases quel que soit le scénario d'optimisation.

Pour ECO1ENV0, l'impact CC calculé est d'environ 2,05 kg $CO_2$-eq/ kg porc produit. Pour ECO1ENV1 à ECO1ENV4, l'impact CC est réduit à environ 1,93 kg $CO_2$-eq / kg porc produit. La demande énergétique cumulée est également réduite pour les scénarios ECO1ENV1 à ECOENV4 par rapport au scénario ECO1ENV0 (-0,6 MJ/kg porc environ).

En revanche les scénarios ECO1ENV1 à ECO1ENV4 conduisent à une augmentation de l'impact sur l'eutrophisation (+1 g$PO_4$-eq/kg porc), de l'impact sur l'écotoxicité terrestre (+1 g1,4-DB-eq/kg porc pour des séquences de 2 à 10 phases) et de la surface nécessaire à la production (+0,1 m².an/kg porc). L'impact sur l'acidification n'est pas modifié par le scénario d'optimisation considéré.

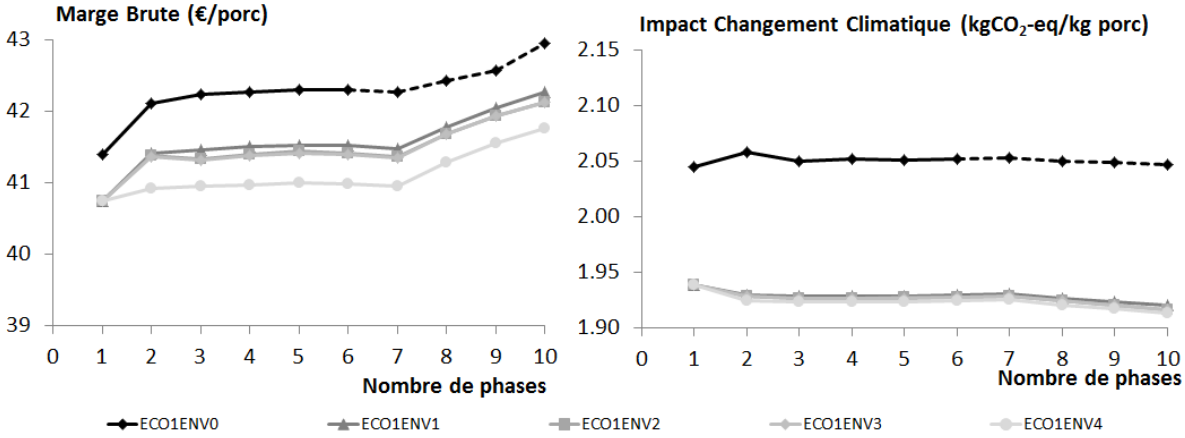



**Figure 5** – Variations de la marge brute et de l'impact Changement Climatique simulées en fonction du nombre de phases et du type d'optimisation choisi (voir description des scénarios en section 1.4.)

## 3. DISCUSSION

### 3.1. Analyse du comportement de PigOptim

Les performances techniques calculées par PigOptim sont conformes aux valeurs de Brossard *et al*. (2009) utilisées pour développer le modèle. En ce sens, PigOptim reproduit fidèlement le comportement d'une population selon le nombre de phases et les apports en lysine de la séquence alimentaire. Les lois de réponses ajustées sur des sorties d'InraPorc® permettent dans cette première version de PigOptim d'intégrer les effets de la variabilité individuelle des besoins sur les performances techniques, le résultat économique et les impacts environnementaux. Intégrer la variabilité individuelle d'une population est en effet essentiel dans une optique d'optimisation des pratiques (Sirisatien *et al*., 2009 ; Morel *et al*., 2012), car utiliser un modèle déterministe représentant les besoins d'un individu moyen conduit à considérer comme optimales des séquences alimentaires qui amèneront à restreindre une partie importante de la population (Brossard *et al*., 2009).
Les impacts environnementaux calculés ici sont globalement faibles, 2,05 kg $CO_2$-eq/kg porc pour une optimisation économique seule *vs* 2,26 à 2,53 kg $CO_2$-eq/kg porc (Garcia-Launay *et al.*, 2014) ou encore 2,30 kg $CO_2$-eq/kg porc (Dourmad *et al.*, 2014). L'IC de la population influence fortement les résultats d'impacts et celui de la population étudiée ici, particulièrement faible (2,24 *vs* 2,77 de moyenne en Bretagne ; GTE, 2013), explique les faibles valeurs d'impacts ainsi que les valeurs élevées de marge brute obtenues.

### 3.2. Optimum technique *vs* optimum économique et/ou environnemental

L'IC minimal et le GMQ maximal sont obtenus pour des apports de Lysd de 110% du besoin moyen de la population à chaque début de phase (Figure 3). A ce niveau d'apport, le coefficient de variation du GMQ de la population est minimal, quel que soit le nombre de phases (Brossard *et al*., 2009).

Ce résultat suggère qu'à ce niveau de Lysd il y a une bonne valorisation du potentiel des animaux. Les séquences alimentaires permettant d'atteindre l'optimum économique et/ou environnemental sont un peu différentes de celles permettant d'atteindre l'optimum technique. Ainsi, pour les scénarios utilisant un apport en lysine constant (en % du besoin moyen de la population) à chaque début de phase, les valeurs de MB maximale et d'impact CC minimal sont obtenues pour un apport de lysine entre 90% et 100% du besoin moyen de la population, selon le nombre de phases. Cela signifie que la réduction de coût des aliments entre 110% et 90 ou 100% du besoin moyen compense la perte de performance zootechnique.

Quand on inclut l'impact CC dans la fonction-objectif, les résultats d'impacts (CC, EU, AC,…) ne sont pas influencés par le poids relatif CC/MB dans la fonction-objectif mais la marge brute diminue quand le poids de l'impact CC augmente. Le poids relatif des critères dans la fonction-objectif doit donc être raisonné pour aboutir à un résultat de MB viable.

Les scénarios d'optimisation économique et environnementale produisent des séquences alimentaires dont les formules contiennent du pois (150 g/kg) en remplacement de l'orge, du tourteau de soja et d'une partie des AA industriels. Ces changements de formule expliquent la réduction de l'impact CC et l'augmentation de l'impact EU pour ces scénarios, car le pois a un impact CC plus faible et un impact EU plus élevé que l'orge et le tourteau de soja (Garcia-Launay *et al.*, 2014).

### 3.3. Perspectives d'évolution de PigOptim

A notre connaissance, PigOptim est le premier modèle d'optimisation de la séquence alimentaire qui calcule les impacts environnementaux par ACV. Aujourd'hui, PigOptim est capable d'optimiser sur MB et CC, mais pas sur d'autres critères tels qu'EU simultanément. Le modèle de Morel et Hill (2011) inclut et minimise les quantités d'azote et de matière organique excrétées par l'atelier, mais ne considère pas l'ensemble du cycle de vie de la production de porc.

Leurs travaux mettent en lumière l'importance d'optimiser conjointement sur ces deux critères, associés respectivement aux impacts CC et EU, pour éviter de dégrader l'un en améliorant l'autre. La prochaine version de PigOptim devra intégrer plusieurs impacts dans la fonction-objectif et traiter la question de leur pondération. Une autre évolution de PigOptim serait l'intégration de l'effet des pratiques d'abattage et de gestion des fins de bandes sur les performances de l'atelier (Quiniou *et al.,* 2007).

Utiliser PigOptim dans un outil d'aide à la décision (OAD) pour définir des séquences alimentaires optimales en fonction des caractéristiques de la population et des marchés du porc et des matières premières nécessitera un certain nombre d'évolutions du modèle. Les travaux de Sirisatien *et al*. (2009) portant sur l'optimisation du modèle de Morel et Hill (2011) montrent la difficulté à optimiser des séquences alimentaires sur des critères économiques et/ou environnementaux. Ces auteurs ont comparé différents algorithmes et développé leur propre algorithme d'optimisation.

Le meilleur temps moyen d'optimisation qu'ils rapportent est d'environ 30 min, ce qui reste un frein pour un OAD.

## CONCLUSION

Nous avons présenté ici les premiers développements de PigOptim, modèle d'optimisation de la séquence alimentaire d'une population de porcs en croissance-engraissement sur des critères économiques et environnementaux. PigOptim fournit des estimations cohérentes des performances zootechnique, économique et environnementale d'un atelier de porc en engraissement. Les scénarios étudiés illustrent l'intérêt de simuler le comportement d'une population pour établir des séquences alimentaires optimales d'un point de vue économique et/ou environnemental.

Les prochains travaux concerneront l'amélioration des performances d'optimisation et la prise en compte de plusieurs impacts dans la fonction-objectif.

## REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES


- Ajinomoto Eurolysine S.A.S., 2011. Formulating pig grower diets with no minimum crude protein - Essential amino acids requirements; energy systems and low protein diets. 38 p.
- Alexander D.L.J., Morel P.C.H., Wood G.R., 2006. Feeding strategies for maximising gross margin in pig production. In: J.D. Pintér (Eds), Global optimization - Scientific and Engineering Case studies, Springer, 33-43..
- Brossard L., Dourmad J.Y., Rivest J., van Milgen J., 2009. Modelling the variation in performance of a population of growing pig as affected by lysine supply and feeding strategy. Animal, 3, 1114-1123.
- Dourmad J.Y., Seve B., Latimier P., Boisen S., Fernandez J., van der Peet-Schwering C., Jongbloed A.W., 1999. Nitrogen consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. Livest. Prod. Sci., 58, 261-264.
- Dourmad J.Y., Rigolot C., Jondreville C., 2009. Influence de la nutrition sur l'excrétion d'azote, de phosphore, de cuivre et de zinc des porcs, et sur les émissions d'ammoniac, de gazà effet de serre et d'odeurs. INRA Prod. Anim., 22, 41-48.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzàlez J., Houwers H.W.J., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T.L.T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. Animal, doi:10.1017/S1751731114002134.
- Garcia-Launay F., Van der Werf H., NGuyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.Y., 2013. L'incorporation d'acides aminés dans les aliments permet de réduire les impacts environnementaux de la production porcine. Journées Rech. Porcine, 45, 123-128.
- Garcia-Launay F., van der Werf H.M.G., Nguyen T.T.H., Le Tutour L., Dourmad J.Y., 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. Livest. Sci., 161, 158-175.
- IFIP,2010-2011.Note de conjecture aliment. Téléchargée sur le site http://www.ifip.asso.fr.
- INRA-AFZ, 2004. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Porcs, volailles, bovins, ovins, caprins, lapins, chevaux, poissons. D. Sauvant, J.M. Pérez, G. Tran (Eds), INRA, Paris, 301 p.
- InraPorc, 2006.Un outil pour évaluer des stratégies alimentaires chez le porc. Version 1.0.4.0. INRA-UMR SENAH, www.rennes.inra.fr/inraporc.
- Kloareg M., Noblet J., Van Milgen J., 2006. Estimation of whole body lipid mass in finishing pigs. Animal Sci., 82, 241-251.
- La Dépêche, 2010-2011. Marchés Mondiaux : Protéagineux, Huiles [Prix des matières premières]. La Dépêche/Le petit Meunier, 72-73.
- Morel P.C.H., Hill J.V., 2011. Feeding strategies to minimise environmental impact. In: (PC.H. Morel Ed),Proceedings of the Massey University Advancing Pork Production Seminar Volume 2, Palmerston North, 7 juin 2011, 26-30. Animal Nutrition Division, Massey University, Palmerston North, New Zealand.
- Morel P.C.H., Alexander D.L.J., Sherriff R.L., Sirisatien D., Wood G.R., 2010. A new development in pig growth modelling. In: D. Sauvant, J.v. Milgen, P. Faverdin &N. Friggens (Eds), 83-90. Wageningen Academic Publisher, The Netherlands.
- Morel P.C.H., Sirisatien D., Wood G.R., 2012. Effect of pig type, costs and prices, and dietary restraints on dietary nutrient specification for maximum profitability in grower-finisher pig herds: A theoretical approach. Livest. Sci., 148, 255-267.
- Mullan B.P., Moore K., Payne H., Trezona-Murray M., Pluske J.R., Kim J., 2011. Feed efficiency in growing pigs - what's possible? Recent Adv. Anim. Nutr. - Australia, 18, 17-22.
- Pomar C., Dubeau F., Letourneau-Montminy M.P., Boucher C., Julien P.O., 2007. Reducing phosphorus concentration in pig diets by adding an environmental objective to the traditional feed formulation algorithm. Livest. Sci., 111, 16-27.
- Poulsen H.D., Jongbloed A.W., Latimier P., Fernández J.A., 1999. Phosphorus consumption, utilisation and losses in pig production in France, The Netherlands and Denmark. Livest. Prod. Sci., 58, 251-259.
- Quiniou N., Brossard L., Gaudré D., van Milgen J., Salaün Y., 2007. Optimum économique du niveau en acides aminés dans les aliments pour porcs charcutiers - Impact du contexte de prix des matières premières et de la conduite d'élevage. TechniPorc, 30(3), 25-36.
- Sirisatien D., Wood G., Dong M., Morel P., 2009. Two aspects of optimal diet determination for pig production: efficiency of solution and incorporation of cost variation. J. Global Optim., 43, 249-261.
- Vautier B., Quiniou N., van Milgen J., Brossard L., 2013. Accounting for variability among individual pigs in deterministic growth models. Animal, 7, 1265-1273.
- Wächter A., Biegler L.T., 2006. On the implementation of an interior-point filter line-search algorithm for large-scale nonlinear programming. Math. Program., 106, 25-57.