

**FORMULATION MULTIOBJECTIF AVEC DES CRITERES  
ENVIRONNEMENTAUX ET ECONOMIQUES : L'OPTIMUM EST-IL LE MEME  
AUX ECHELLES DE L'ALIMENT ET DU PRODUIT FINAL ?**

**Méda Bertrand<sup>1</sup>, Dusart Léonie<sup>2</sup>, Ponchant Paul<sup>3</sup>, Garcia-Launay Florence<sup>4</sup>, Espagnol Sandrine<sup>5</sup>, Wilfart Aurélie<sup>6</sup>, Bouvarel Isabelle<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>URA, INRA, 37380 NOUZILLY

<sup>2</sup>ITAVI, 37380 NOUZILLY

<sup>3</sup>ITAVI, 41 rue de Beaucemaine, 22440 PLOUFRAGAN

<sup>4</sup>PEGASE, Agrocampus Ouest, INRA, 35590 SAINT-GILLES

<sup>5</sup>IFIP Institut du Porc, La Motte au Vicomte, 35650 LE RHEU

<sup>6</sup>SAS, Agrocampus Ouest, INRA, 35000 RENNES

[bertrand.meda@inra.fr](mailto:bertrand.meda@inra.fr)

**RÉSUMÉ**

La formulation multiobjectif (FMO) permet de formuler des aliments en minimisant une fonction objectif incluant le prix de l'aliment et des impacts environnementaux de l'aliment. Ainsi, il devient possible de réduire conjointement plusieurs impacts environnementaux associés à la production d'aliments pour volaille, avec un impact modéré sur le prix de l'aliment. Cependant, pour pouvoir conclure sur les bénéfices finaux de cette approche, les conséquences sur les performances économiques et environnementales du produit final doivent être évaluées. Un total de 120 aliments moyens pour poulet de chair, a ainsi été formulé à l'aide de la FMO. Les conséquences environnementales et économiques de ces aliments ont ensuite été évaluées à l'échelle de la tonne de poulet de chair vif, à l'aide respectivement de la méthode d'Analyse du Cycle de Vie et d'un calculateur du coût de production. Les résultats confirment la contribution majoritaire de la fabrication d'aliment pour la plupart des impacts environnementaux (consommation de phosphore, 97%; occupation des terres, 87%; changement climatique, 80%; consommation d'énergie, 75%; eutrophisation: 63%) et pour le coût de production du poulet vif (52%). Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées (*i.e.* pas de modification des caractéristiques nutritionnelles de l'aliment), l'optimum économique et environnemental identifié à l'échelle de l'aliment lors de la FMO est le même à l'échelle du produit final. La réduction des impacts environnementaux à l'échelle du produit est par ailleurs directement proportionnelle à celle permise par la FMO des aliments (le coefficient de proportionnalité étant égal à la contribution de l'aliment à l'impact final). Ainsi, la FMO des aliments est une approche pertinente pour réduire les impacts environnementaux de la production avicole.

**ABSTRACT**

**Multiobjective feed formulation with economic and environmental criteria: Is the optimum the same at feed and product scales?**

Multiobjective formulation (MOF) of feed is based on the use of an economic indicator (feed price) and environmental indicators (LCA impacts) simultaneously in a single objective function to minimize. Such a method allows the simultaneous decrease of several environmental impacts associated to the production of poultry feed, with a limited impact on feed cost. In order to conclude on the final benefits of this method, economic and environmental consequences at product scale should be studied. 120 broiler diets were formulated using MOF. Economic and environmental consequences of these diets were then assessed for one ton of live weight at farm gate using a production cost simulator and Life Cycle Analysis, respectively. Results confirm that feed production is the main contributor to several environmental impacts (phosphorus consumption, 97%; land occupation, 87%; climate change, 80%; energy use, 75%; eutrophication, 63%) and production cost of live broiler (52%). When animal performance is not modified by nutritional characteristics of feed, the economic and environmental optimum identified at feed scale during MOF is the same at product scale. Moreover, the decrease of environmental impacts at product scale is directly proportional to the decrease at feed scale using MOF (the proportionality coefficient being the contribution of feed to the total impact). MOF of feed is thus a relevant method to reduce environmental impact of poultry production.

## INTRODUCTION

En production de volailles, l'alimentation animale représente une part importante des impacts environnementaux comme par exemple, la consommation d'énergie non-renouvelable l'eutrophisation, ou la contribution au changement climatique (Pelletier, 2008 ; Leinonen *et al.*, 2012 ; Prudêncio da Silva *et al.*, 2014). En effet, la phase de production des matières premières (MP) utilisées pour composer les aliments est associée à des émissions de polluants (gaz à effet de serre, ammoniac...) et des consommations de ressources (énergie, eau...) (Wilfart *et al.*, 2017).

Afin de réduire les impacts environnementaux des aliments du bétail, Dusart *et al.* (2017) ont proposé une nouvelle approche de la formulation des aliments, basée sur l'optimisation simultanée de critères économiques (prix) et environnementaux (impacts environnementaux). La formulation multiobjectif (FMO) permet également de pondérer l'importance relative accordée au prix de l'aliment ou à ses impacts environnementaux en faisant varier un coefficient  $\alpha$  entre 0 et 1 ( $\alpha=1$  traduisant un objectif uniquement environnemental). Ainsi, Dusart *et al.* (2017) ont montré qu'une réduction importante des impacts environnementaux des aliments est possible chez le poulet de chair (par ex. une baisse de 19% de l'impact « Changement climatique » pour une hausse du prix de 2%). Toutefois, il convient également d'étudier les conséquences environnementales et économiques de la FMO à l'échelle du produit final (*i.e.* animal en sortie d'élevage) pour juger du véritable potentiel de réduction des impacts environnementaux.

Cette étude présente donc une évaluation environnementale et économique pour une tonne de poulet vif en sortie d'élevage et pour différents « éco-aliments » formulés à l'aide de la méthode décrite par Dusart *et al.* (2017). Les objectifs étaient 1) de comparer l'optimum économique et environnemental identifié à l'échelle de l'aliment ou à l'échelle du produit final, et 2) de quantifier le potentiel de réduction des impacts environnementaux du produit final grâce à la FMO.

## 1. MATERIEL ET METHODE

### 1.1. Caractéristiques du système de production

Cette étude considère un système de production de poulets de chair Ross PM3 abattus à 36 j pour un poids vif de 1,83 kg. Les principales hypothèses et données utilisées pour décrire la phase d'élevage sont issues du cas-type « poulet Standard Pays-de-la-Loire » décrit par Protino *et al.* (2015) et Dusart *et al.* (2015) et sont présentées dans le Tableau 1.

### 1.2. Scénarii étudiés

A l'aide de la FMO proposée par Dusart *et al.* (2017 ; Figure 1), de la base ECOALIM (Wilfart *et al.*, 2017) et du prix des MP (données issues de la Dépêche et de la veille des instituts ITAVI-IFIP-Arvalis), 96

gammes alimentaires (démarrage, croissance et finition) ont d'abord été formulées et variaient selon différents facteurs :

- le prix des MP avec 4 contextes de prix (2011, 2012, 2013, 2014) ;
- la disponibilité des MP avec une liste classique de MP disponibles (LIM) ou élargie (NLIM ; pois, féverole et sorgho disponibles) ;
- les poids respectifs donnés au prix ( $1-\alpha$ ) et aux impacts environnementaux ( $\alpha$ ) avec  $\alpha$  variant de 0 à 1 par pas de 0,1 ainsi que pour un  $\alpha$  optimal au-delà duquel l'augmentation marginale du prix est supérieure à la réduction marginale des impacts.

Pour chacune de ces 96 gammes, les impacts environnementaux et le prix d'un aliment moyen composé de 6% d'aliment démarrage, 20% d'aliment croissance et de 74% d'aliment finition ont été calculés et exprimés par tonne d'aliment. Les impacts environnementaux potentiels considérés étaient le changement climatique (kg CO<sub>2</sub>-eq), la consommation d'énergie non-renouvelable (MJ), l'eutrophisation (kg PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>-eq), l'acidification (kg molc H<sup>+</sup>-eq), l'occupation des terres (m<sup>2</sup>.an) et la consommation de phosphore, (kg P) issu de l'extraction de phosphates. 24 aliments moyens supplémentaires ont ensuite été produits en considérant, pour chaque contexte de disponibilité (LIM et NLIM) et chaque valeur de  $\alpha$ , la moyenne des aliments moyens 2011, 2012, 2013 et 2014.

Au final, dans la suite de l'étude, 120 aliments moyens ont ainsi été étudiés (12  $\alpha$  × 5 contextes économiques × 2 contextes de disponibilité) et possédaient des caractéristiques nutritionnelles quasi-équivalentes (énergie métabolisable : 2980 ± 0 kcal/kg ; protéines totales : 181 ± 0,1 g/kg ; lysine digestible : 9,7 ± 0,0 g/kg). En conséquence, et en s'affranchissant d'un éventuel effet du profil en MP, les performances et les rejets des animaux ont par la suite été considérés identiques dans tous les scénarii.

### 1.3. Impacts environnementaux liés à la production d'une tonne de poulet vif

Pour chaque scénario (cf. 1.2.), les impacts environnementaux à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage ont été évalués à l'aide d'Analyses du Cycle de Vie. La Figure 2 présente les étapes de production prises en compte dans cette approche. Les impacts hors production des aliments ont été calculés en utilisant les hypothèses et données du Tableau 1 ainsi que différentes bases de données ou modèles, puis ajoutés aux impacts des aliments :

- Ecoinvent 3 (Wernet *et al.*, 2016) pour les impacts liés au transport en camion, à la production et/ou l'utilisation d'eau, d'énergie et de litière (paille) ;
- Agribalyse (Koch et Salou, 2014) pour les impacts liés à la production des poussins et des matériaux de construction des bâtiments d'élevage ;
- EMEP-EEA (2013) pour l'estimation des émissions de NH<sub>3</sub> N<sub>2</sub>O et CH<sub>4</sub> des effluents.

#### 1.4. Coût de production associé à la production d'une tonne de poulet vif

Pour chaque aliment moyen, les coûts de production associés à la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage ont été estimés à l'aide d'un calculateur (Dusart *et al.*, 2016) en utilisant les données et hypothèses présentées dans le Tableau 1 ainsi que le prix des aliments obtenus après formulation. Les autres coûts ont ici été supposés constants, quel que soit le contexte économique.

## 2. RESULTATS ET DISCUSSION

Au sein de chaque contexte de prix (5 au total), pour l'ensemble des aliments moyens (24 par contexte), les variations d'impacts et de prix à l'échelle de la tonne d'aliment et de poulet vif ont été exprimés par rapport à un scénario de référence, correspondant au scénario le plus « réaliste » (formulation à moindre coût économique  $\alpha=0$  + liste limitée de MP disponibles). Ainsi, une valeur positive traduit une hausse d'un impact environnemental ou du prix, tandis qu'une valeur négative traduit une baisse.

### 2.1. Optimum économique et environnemental à l'échelle de l'aliment et du produit final

La réduction des impacts environnementaux à l'échelle de l'aliment et du produit final, ainsi que l'augmentation de prix de l'aliment ou du coût de production sont présentées dans la Figure 3. Comme attendu la réduction des impacts à l'échelle de l'aliment permet de réduire les impacts à l'échelle du produit. Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées, le compromis optimal entre économie et environnement représenté par le  $\alpha$  optimal identifié lors de la FMO demeure le même à l'échelle du produit, mais les réductions ou augmentations de prix ou d'impacts sont « atténuées » car le poste « Alimentation » n'est pas l'unique contributeur aux impacts à l'échelle du produit ou au coût de production (autres postes : effluent, production des poussins, construction et fonctionnement du bâtiment...). En outre, conformément aux résultats de Dusart *et al.* (2017), le potentiel de réduction des impacts est plus important avec une disponibilité non limitée des MP (NLIM ; Figure 3).

### 2.2. Relations entre les variations des indicateurs à l'échelle de l'aliment et du produit final

Les relations entre les variations des indicateurs environnementaux et économiques à l'échelle de l'aliment moyen, et celle à l'échelle de la tonne de poulet vif en sortie d'élevage sont toutes linéaires (Tableau 2). La linéarité des relations s'explique par l'absence de variations de performances zootechniques ou de rejets des animaux, en lien avec des caractéristiques nutritionnelles des aliments

identiques dans tous les scénarii. Cependant, les valeurs des pentes ne sont pas identiques pour l'ensemble des indicateurs considérés. Elles correspondent à la contribution moyenne de l'aliment pour chaque indicateur considéré. On notera par ailleurs, que pour l'impact « Acidification », la contribution de l'aliment est plus faible que pour les autres indicateurs car les émissions d'ammoniac des effluents contribuent également de façon importante à l'impact final (40% environ).

### 2.3. La formulation multiobjectif, un outil efficace pour réduire les impacts environnementaux de la production avicole

Dans le cas d'une utilisation pratique de la FMO, et lorsque les caractéristiques nutritionnelles ne sont pas modifiées (*i.e.* sans conséquences pour les performances des animaux), le potentiel de réduction des impacts environnementaux à l'échelle du produit final est alors facilement accessible au formulateur. De façon réciproque, il devient alors possible de connaître l'objectif de réduction nécessaire à l'échelle de l'aliment pour satisfaire un objectif fixé à l'échelle du produit (par ex. cahier des charges de production). Ainsi, pour obtenir à l'échelle du produit une réduction de 20% de l'impact « Changement climatique », il faudra formuler un « éco-aliment » avec un impact réduit de 25% environ (*i.e.* 20%/0,81).

## CONCLUSION

Lorsque les performances des animaux ne sont pas modifiées, l'optimum économique et environnemental à l'échelle de l'aliment formulé par formulation multiobjectif reste le même à l'échelle du produit final (tonne de vif en sortie d'élevage). En d'autres termes, cette approche permet une réduction directe et proportionnelle des impacts environnementaux du produit final, en réduisant ceux liés à la production des aliments. Cette méthode sera d'autant plus efficace pour réduire les impacts du produit que la contribution de l'aliment aux impacts est élevée. Toutefois, la réduction des impacts s'accompagne généralement d'une hausse du coût de l'aliment, et donc du coût de production. Le surcoût économique consenti par les opérateurs, sera donc crucial pour une réduction efficace des impacts environnementaux de la production avicole. En outre, il conviendra de s'assurer expérimentalement que les performances zootechniques ne sont pas dégradées lorsque les animaux sont nourris avec des éco-aliments.

## REMERCIEMENTS

Cette étude a été réalisée dans le cadre de l'UMT Biologie Intégrative Recherche et Développement (BIRD 2) et a bénéficié du soutien financier du CAS DAR et de l'ADEME (projet 2013-2016 ECOALIM).

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

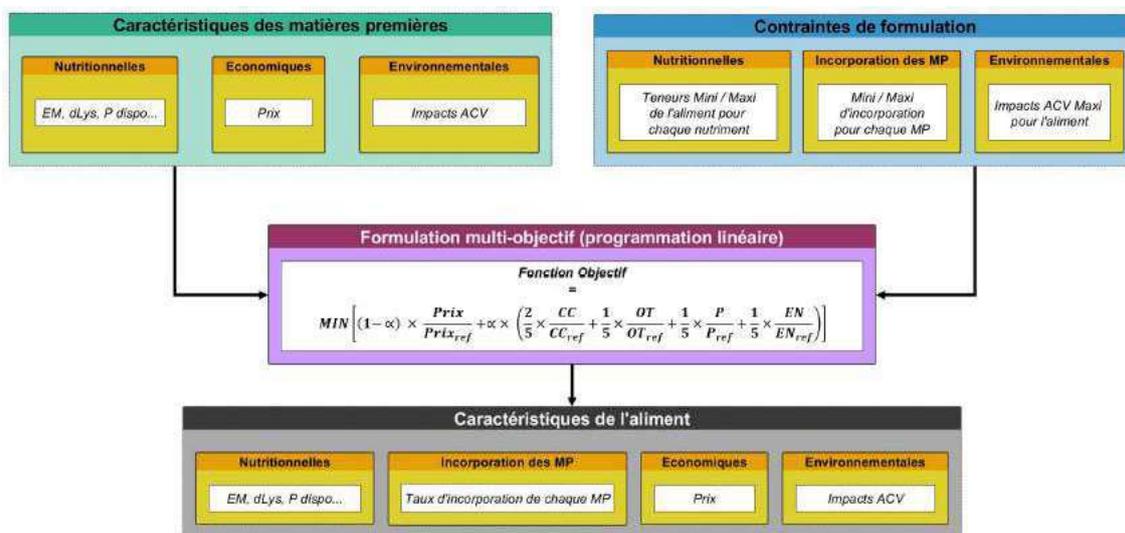
Dusart L., Chenet R., Dezat E., Henninot E., Chevalier D., Bouvarel I., 2016. *Tema*, (37), 11-18.  
 Dusart L., Méda, B., Protino J., Chevalier D., Dezat E., Chenut R., Ponchant P., Lescoat P., Berri C., Bouvarel I., 2015. 11<sup>èmes</sup> JRAPFG, 881-886.  
 Dusart L., Garcia-Launay F., Wilfart A., Méda B., Bouvarel I., Espagnol S., 2017. 12<sup>èmes</sup> JRAPFG.  
 EMEP/EEA 2013. EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook 2013 – technical chapter 3.B, 65 p.  
 Koch P, Salou T., 2014. *Agribalyse®* : Rapport méthodologique, 386 p.  
 Leinonen I., Williams A.G., Wiseman J., Guy J., Kyriazakis I., 2012. *Poultry Sci.*, (91), 8-25.  
 Pelletier N., 2008. *Agr. Syst.*, (98), 67-73.  
 Protino J., Magdelaine P., Berri C., Méda B., Ponchant P., Dusart L., Chevalier D., Dezat E., Lescoat P., Bouvarel I., 2015. 11<sup>èmes</sup> JRAPFG, 1047-1053.  
 Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Soares S.R., Corson M.S., 2014. *J. Envir. Manage.*, (133), 222-231.  
 Wernet G., Bauer C., Steubing B., Reinhard J., Moreno-Ruiz E., Weidema B., 2016. *Int. J. Life Cycle Assess.*, (21), 1218–1230.  
 Wilfart A., Dauguet S., Tailleur A., Willmann S., Laustriat M., Magnin M., Garcia-Launay F., Gac A., Espagnol S., 2017. 12<sup>èmes</sup> JRAPFG.

Tableau 1. Principales données et hypothèses utilisées pour le calcul des impacts environnementaux et du coût de production pour la production d’une tonne de poulet vif en sortie d’élevage.

Animaux		Bâtiment		Hypothèses de distances (km)	
<i>Souche</i>	Ross PM3	<i>Surface des bâtiments</i>	2 x 1300m <sup>2</sup>	<i>Production des MP – Usine d’aliment</i>	variable selon les MP
<i>Âge à l’abattage (j)</i>	36	<i>Type de bâtiment</i>	Colorado dynamique	<i>Usine d’aliment – Elevage</i>	50 km
<i>Poids à l’abattage (kg)</i>	1,83	<i>Litière (kg/m<sup>2</sup>/lot)</i>	4,50	<i>Couvoir – Elevage</i>	200 km
<i>Indice de consommation</i>	1,73	<i>Electricité (kWh/m<sup>2</sup>/lot)</i>	3,80		
<i>Mortalité (%)</i>	4,19	<i>Propane (kWh/m<sup>2</sup>/lot)</i>	13,10		
<i>Densité (animaux/m<sup>2</sup>)</i>	23,40				

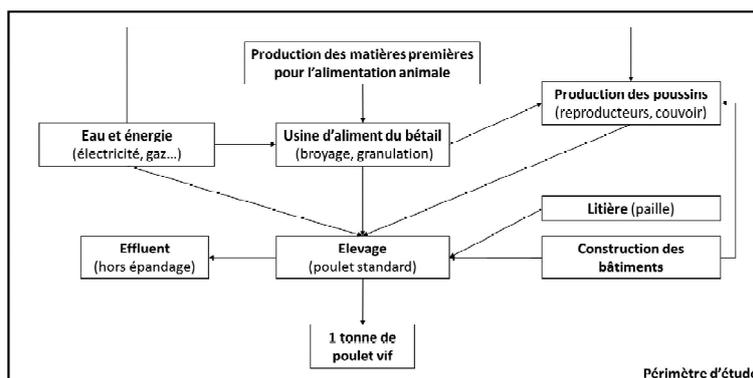
MP : matières premières

Figure 1. La formulation multiobjectif proposée par Dusart *et al.* (2017) permet, tout en tenant compte des caractéristiques des matières premières (MP), d’intégrer différentes contraintes de formulation. Le coefficient  $\alpha$  ( $0 \leq \alpha \leq 1$ ) utilisé dans la fonction objectif permet de pondérer les critères environnementaux (impacts ACV) et économiques (prix), respectivement exprimés par rapport au prix et aux impacts d’un aliment de référence formulé à moindre coût (*ref*).

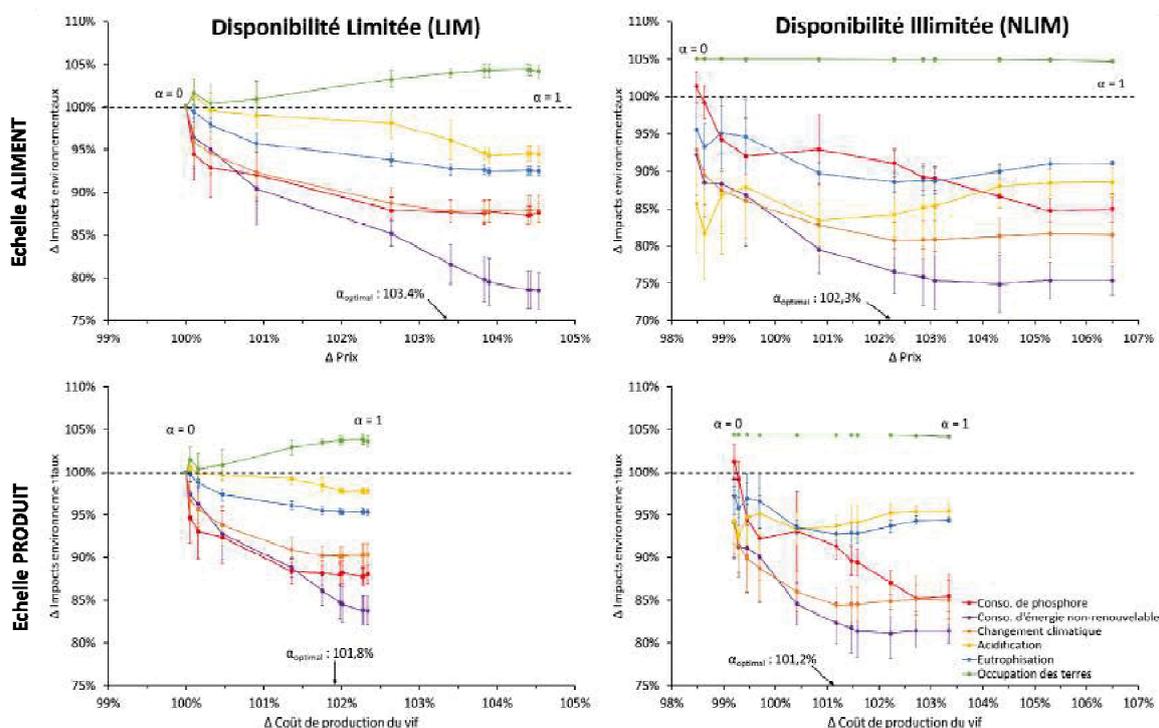


ACV : Analyse de Cycle de Vie ; CC : Changement Climatique ; OT : Occupation des terres ; P : Consommation de phosphore ; EN : Consommation d’énergie non-renouvelable.

**Figure 2.** Périmètre d'étude pour le calcul des impacts environnementaux par Analyse du Cycle de Vie de la production d'une tonne de poulet vif en sortie d'élevage.



**Figure 3.** Variations conjointes des impacts environnementaux à l'échelle de l'aliment et du produit (tonne de poulet vif en sortie d'élevage) en fonction de la variation de prix de l'aliment ou du coût de production pour un contexte de disponibilité limitée (LIM) ou non limitée (NLIM) en matières premières. Les barres d'erreur représentent la variabilité observée en fonction des contextes économiques étudiés.



**Tableau 2.** Relations entre les variations des indicateurs économiques ou environnementaux à l'échelle de l'aliment ( $\Delta X$ ) et du produit ( $\Delta Y$ ) (régressions linéaires réalisées avec  $N=120$ ).

Indicateur	Echelle aliment (X)	Echelle produit (Y)	Relation
économique	Prix	Coût de production	$\Delta Y = 0,52 \Delta X$
environnemental	Consommation de phosphore Occupation des terres Changement climatique Consommation d'énergie non-renouvelable Eutrophisation Acidification	Consommation de phosphore	$\Delta Y = 0,97 \Delta X$
		Occupation des terres	$\Delta Y = 0,87 \Delta X$
		Changement climatique	$\Delta Y = 0,81 \Delta X$
		Consommation d'énergie non-renouvelable	$\Delta Y = 0,75 \Delta X$
		Eutrophisation	$\Delta Y = 0,63 \Delta X$
		Acidification	$\Delta Y = 0,40 \Delta X$