

# L'incorporation d'acides aminés dans les aliments permet de réduire les impacts environnementaux de la production porcine

*Florence GARCIA-LAUNAY (1,2), Hayo VAN DER WERF (2,3), Thi Tuyet Hanh NGUYEN (2,3),  
Loïc LE TUTOUR (4), Jean-Yves DOURMAD (1,2)*

*(1) INRA, UMR1348 Physiologie, Environnement et Génétique des Animaux et Systèmes d'Élevage, 35590 Saint-Gilles, France*

*(2) Agrocampus Ouest, 35000 Rennes, France*

*(3) INRA, UMR1069 Sol, Agro et Hydrosystème Spatialisation, F-35000 Rennes, France*

*(4) Ajinomoto Eurolysine SAS, 153 rue de Courcelles, F-75817 Paris, France*

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

## **L'incorporation d'acides aminés dans les aliments permet de réduire les impacts environnementaux de la production porcine**

Les acides aminés industriels (AA) permettent de réduire, à mêmes performances, les teneurs en protéines des aliments et l'excrétion d'azote par les porcs. L'objectif de l'étude était d'évaluer les impacts environnementaux du kg de porc vif produit en sortie d'un élevage conventionnel par Analyse du Cycle de Vie (ACV) selon différents scénarios d'incorporation d'AA. Deux modalités de gestion des effluents (lisier LIS et fumier FUM) et deux hypothèses de sources de protéines (uniquement soja (SOJ) ou soja, colza et pois (SOJCP)) ont été considérées. Trois scénarios sont formulés à moindre coût : pas d'AA (NoAA-Min€), incorporation d'AA et taux de protéines CORPEN (AA-CORP-Min€), et AA avec taux de protéines libres (AA-Min€). Dans le scénario AA-MinCP, les aliments sont formulés en minimisant le contenu protéique. Les porcs charcutiers sont engraisés avec un aliment unique (1P), en biphase (2P) ou multiphase (MP). Le contenu protéique des aliments diminue avec l'augmentation de l'incorporation des AA, jusqu'à 123 g/kg pour MP-AA-MinCP. Parallèlement, les teneurs en tourteau de soja diminuent jusqu'à 70 kg/t pour MP-AA-MinCP. En modalité LIS, AA-Min€ réduit les impacts sur le changement climatique, l'acidification et l'eutrophisation d'au moins 26%, 22% et 14% respectivement. En modalité FUM, AA-Min€ réduit les impacts sur le changement climatique, l'acidification et l'eutrophisation d'au moins 20%, 20% et 12%, respectivement. Les impacts écotoxicité terrestre, demande en énergie et occupation des surfaces sont peu sensibles aux scénarios étudiés. L'incorporation d'AA dans des aliments formulés à moindre coût permet de réduire sensiblement les impacts environnementaux de la production porcine.

## **Amino acid incorporation into pig feeds reduces the environmental impacts of pig production**

Feed-use amino acids (AA) allow reducing, at constant performance, the protein content of pig feeds and nitrogen excretion by the animals. The aim was to assess the environmental impact of one kg of live pig produced in a conventional farm in Brittany by Life Cycle Assessment (LCA) according to several scenarios of AA incorporation. Two modalities of effluent management (slurry or solid manure) and two hypotheses of protein sources (soybean only, or soybean, rapeseed and peas) were considered. In three scenarios, feeds were least cost formulated: no AA (NoAA-Min€), AA incorporation and fixed protein content at CORPEN level (AA-CORP-Min€), and AA with free protein content (AA-Min€). In AA-MinCP, feeds were formulated to minimize protein content. Fattening pigs were fed either with only one feed (1P), two feeds (2P) or according to multiphase feeding (MP). The protein content of pig feeds decreased with the amino acid incorporation, down to 123 g/kg in MP-AA-MinCP. At the same time, the incorporation of soybean meal into feeds decreased down to 70 kg/t in MP-AA-MinCP. With slurry management, AA-Min€ reduced the impacts on climate change, acidification and eutrophication by at least 26%, 22% and 14% respectively. With solid manure management, AA-Min€ reduced the impacts on climate change, acidification and eutrophication by at least 20%, 20% and 12% respectively. The impacts on terrestrial ecotoxicity, cumulated energy demand and land occupation were barely sensitive to the studied scenarios. Amino acid incorporation in least cost formulated feeds substantially reduced the feeding cost and environmental impacts of pig production.

## INTRODUCTION

Les productions animales ont un impact sur l'environnement, en lien avec la pollution de l'air, des sols et de l'eau. Les systèmes de production porcins font partie des contributeurs importants de ce phénomène, en relation avec l'élevage en bâtiment et l'utilisation de régimes à hautes teneurs énergétique et protéique. Ainsi, les flux d'éléments au sein de l'élevage tels que C, N, P ou encore Cu, Zn,... conduisent à des fuites vers l'eau, l'air et les sols. De plus, ces systèmes reposent sur l'importation de matières premières alimentaires telles que le tourteau de soja, produit principalement au Brésil et associé à la déforestation (Prudêncio da Silva *et al.*, 2010). Les émissions d'ammoniac (NH<sub>3</sub>) et de protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O) pendant le stockage, le traitement et l'épandage des effluents sont liées à l'excrétion d'azote dans les urines et les fèces (Portejoie *et al.*, 2004). De nombreuses études ont établi qu'alimenter des porcs charcutiers avec des régimes à teneur abaissée en protéines réduit l'excrétion d'azote (Bourdon *et al.*, 1995 ; Portejoie *et al.*, 2004 ; Osada *et al.*, 2011 ; Quiniou *et al.*, 2011) mais ne modifie pas l'ingestion journalière si la teneur en énergie n'est pas modifiée. Si les teneurs en acides aminés essentiels sont maintenues, ces régimes à teneur abaissée en protéines ne modifient pas non plus le gain quotidien ou l'indice de consommation. Cette pratique est efficace puisqu'une diminution de la teneur en protéines de 20 à 12% peut diminuer de 67% les émissions d'ammoniac mesurées au stockage du lisier (pendant 18 jours, Portejoie *et al.*, 2004). Plus récemment, Osada *et al.* (2011) ont conclu à une diminution de 39% des émissions de gaz à effet de serre (GES) avec un régime à basse teneur en protéines. Apporter des acides aminés industriels est un moyen d'équilibrer la composition en acides aminés des aliments pour porc et donc de réduire leur teneur en matières azotées totales. Une analyse de cycle de vie (ACV) des aliments formulés pour les porcs en croissance-finition a montré que l'utilisation d'acides aminés dans les formulations réduit l'incorporation des ingrédients riches en protéines comme le tourteau de soja, mais que l'effet sur les émissions de GES dépend des ingrédients utilisés dans les formulations (Mosnier *et al.*, 2011). Les hypothèses qui découlent de cette étude sont i) l'incorporation d'acides aminés dans les aliments réduit l'impact environnemental d'un kilogramme de porc produit (évalué par ACV), ii) l'incorporation des acides aminés les plus récemment disponibles (L-tryptophane et L-valine) permet d'aller plus loin dans la réduction des impacts environnementaux. L'objectif de la présente étude a donc été d'évaluer par ACV l'impact environnemental de la production porcine selon différentes modalités d'incorporation des acides aminés dans les aliments.

### 1. MATERIEL ET METHODES

Le principe retenu est celui de la comparaison de scénarios d'alimentation qui ne modifient pas les performances des animaux. A cette fin, la teneur en énergie nette des aliments est fixée (9 à 10 MJ/kg selon les catégories d'animaux) et les besoins en acides aminés digestibles pour couvrir les besoins des différents stades physiologiques et de croissance sont supposés être respectés.

#### 1.1. Méthodologie d'évaluation ACV

Le périmètre de l'ACV couvre le processus de production porcine en Bretagne. Bien que l'élevage soit considéré hors-

sol, il utilise des surfaces pour la production des aliments et la valorisation des effluents. L'ACV inclut donc la production et le transport des matières premières alimentaires (Mosnier *et al.*, 2011), 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 sont calculés en sortie de ferme.

Les étapes de transport des animaux à l'abattoir et d'abattage ne sont donc pas incluses. L'unité fonctionnelle est le kilogramme de porc vif produit.

Nous avons calculé les impacts sur le changement climatique (CC, kg CO<sub>2</sub>-eq), l'eutrophisation (EU, kg PO<sub>4</sub>-eq), l'acidification (AC, kg SO<sub>2</sub>-eq), l'écotoxicité terrestre (ET, kg 1,4-DCB-eq), la demande cumulée en énergie (DCE, MJ) et l'occupation des terres (OC, m<sup>2</sup>.an). Le résultat pour chaque catégorie a été obtenu en multipliant les ressources et les émissions cumulées de chaque substance par son facteur d'impact. Les valeurs de CC, EU, AC, ET et OC ont été calculées avec les méthodes de caractérisation CML2 « baseline » et « all categories » et DCE selon sa version 1.05 (Ecoinvent v2.2). Pour CC, les facteurs d'impact retenus sont ceux calculés à l'horizon de 100 années selon les références IPCC (2006).

#### 1.2. Système et scénarios d'alimentation étudiés

Le système considéré est une exploitation conventionnelle naisseur-engraisseur localisée en Bretagne dont les caractéristiques, très proches des valeurs de la GTE et de la GTT Bretagne 2011, ont été établies par enquête (Dourmad *et al.*, 2012) : chaque truie produit 27,8 porcelets sevrés/an, les taux de mortalité sont de 1,4% et 2,7%, respectivement pendant le post-sevrage et en engraissement. Les indices de consommation sont de 1,70 en post-sevrage et de 2,84 kg/kg en engraissement. Les porcs charcutiers sont abattus à 115 kg de poids vif à 180 jours d'âge en moyenne.

Deux types de logement ont été considérés : caillebotis intégral associé à la production de lisier (LIS) et aires paillées associées à la production de fumier (FUM). Il n'y a pas de traitement des effluents produits sur l'exploitation.

Trois plans d'alimentation ont été considérés pour les porcs charcutiers : aliment unique (1P), alimentation biphasé (2P) et alimentation multiphasé (MP). Deux aliments sont utilisés pour les truies (gestation et lactation), de même que pour les porcelets sevrés. Les aliments ont été formulés à moindre coût (Min€) ou en minimisant le niveau de protéines (MinCP), avec (AA) ou sans incorporation d'acides aminés (NoAA), avec le niveau de protéines fixé selon les références CORPEN (CORP) ou libre mais avec le niveau minimal requis pour chaque AA essentiel (AA-Min€). Il en résulte 11 scénarios alimentaires : 1P-NoAA-Min€, 1P-AA-Min€, 1P-AA-CORP-Min€, 1P-AA-MinCP, 2P-NoAA-Min€, 2P-AA-Min€, 2P-AA-CORP-Min€, 2P-AA-MinCP, MP-NoAA-Min€, MP-AA-Min€, MP-AA-MinCP.

Deux hypothèses de sources de protéines ont été retenues : uniquement soja (SOJ) ou soja, colza et pois (SOJCP). Pour chaque scénario, les deux types de gestion des effluents (LIS et FUM) ont été considérés.

#### 1.3. Production des ingrédients et formulation des aliments

La fertilisation et les rendements des cultures sont basés sur des données du Brazilian Agricultural Research Cooperation pour le soja (Embrapa) et sur des données statistiques françaises pour les autres cultures (AGRESTE, 2006).

Les calculs d'impacts ont été faits en prenant en compte un soja moyen du Brésil (70% associé à la déforestation, Prudêncio da Silva *et al.*, 2010).

Concernant les processus de transformation des cultures en matières premières, les données de production de tourteau de soja, de tourteau de colza et d'huile de colza sont celles publiées par Nemecek et Kägi (2007) et par Jungbluth *et al.* (2007). Les références pour les phytases, le sel, le phosphate monocalcique et le carbonate de calcium sont identiques à celles utilisées par Mosnier *et al.* (2011). Le COV a été supposé produit à partir de carbonate de calcium et avoir donc les mêmes impacts (Mosnier *et al.*, 2011). Pour les acides aminés obtenus par fermentation, 1kg de L-lysine ou L-thréonine est supposé produit à partir de 1kg de sucre, 0,5kg d'amidon de maïs, 0,5kg d'amidon de blé, 0,3kg d'ammoniac liquide et 36MJ d'énergie (50% électricité et 50% gaz, Mosnier *et al.*, 2011). Les ressources et l'énergie nécessaires à la production par fermentation d'1kg de L-tryptophane ou de L-valine ont été supposées deux fois supérieures à celles requises pour la L-lysine et la L-thréonine. La production d'1kg de DL-méthionine, obtenu par synthèse chimique, est supposée être réalisée par l'utilisation de 0,43kg de propylène, 0,27kg de sulfure d'hydrogène, 0,39kg de méthanol, 0,21kg de cyanure d'hydrogène et 7,4MJ d'énergie (50% électricité et 50% gaz, Mosnier *et al.*, 2011).

Pour les coproduits, nous avons procédé à une allocation économique des ressources utilisées et des émissions en utilisant les taux d'extraction et les prix (La Dépêche, 2010-2011) des différentes issues d'un processus.

Les aliments ont été formulés avec OpenSolver pour Excel (Mason et Dunning, 2010), une application adaptée à la résolution de problèmes de programmation linéaire ayant un grand nombre de variables et de contraintes. Les minima d'incorporation pour les acides aminés digestibles (DIS) ont été calculés selon les profils de besoins en acides aminés pour les porcs en croissance (InraPorc, 2006 ; Ajinomoto Eurolysine, 2011) et pour les truies et les porcelets (InraPorc, 2006). Les coûts des matières premières des aliments sont des moyennes sur 24 mois (2010-2011) issues des données de FranceAgrimer pour le lactosérum en poudre, de la Dépêche (2010-2011) pour l'huile de colza et la graine de soja extrudée 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).

## 1.4. Calcul des émissions

### 1.4.1. Emissions associées aux cultures

Les émissions vers l'air ont été estimées pour NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O et les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) selon Mosnier *et al.* (2011). Le facteur d'émission pour la volatilisation d'ammoniac après épandage d'ammonitrate a été fixé à 2% (Nemecek et Kägi, 2007). Pour l'épandage de lisier de porc sur les cultures de maïs en Bretagne, nous avons considéré que 20% de l'azote ammoniacal se volatilisait sous forme d'ammoniac (Basset-Mens *et al.*, 2007). Concernant l'épandage de fumier bovin sur les cultures autres que le maïs, nous avons retenu une proportion de 10% de l'azote sous forme ammoniacale, dont 76% qui se volatilisent (Payraudeau *et al.*, 2007). Le facteur d'émission de N<sub>2</sub>O a été établi selon IPCC (2006) et les émissions de NO<sub>x</sub> ont été fixées à 21% du N<sub>2</sub>O (Nemecek et Kägi, 2007). Le lessivage de NO<sub>3</sub> vers les eaux souterraines a

été calculé sur la base des résultats de Basset-Mens *et al.* (2007). Les émissions de phosphate (PO<sub>4</sub>) vers l'eau ont été estimées en considérant le lessivage vers les eaux souterraines et le ruissellement vers les eaux de surface pour le phosphate soluble, ainsi que l'érosion des particules du sol contenant du phosphore (Nemecek et Kägi, 2007). Les émissions d'éléments-traces métalliques vers le sol ont été calculées en considérant les intrants par les fertilisants synthétiques (Nemecek et Kägi, 2007) et organiques et les sorties par les récoltes.

L'inventaire environnemental du soja dans le Centre-Ouest du Brésil a été modifié en établissant la valeur d'émission de CO<sub>2</sub> suite à une conversion de la forêt brésilienne en champ cultivé (déforestation) à 740t/ha (PAS2050, 2011), soit une émission de 37t/ha/an pendant 20 ans.

### 1.4.2. Emissions associées à l'élevage porc

La fixation de N, P, K, Cu, Zn et Se dans la masse corporelle a été calculée pour chaque stade physiologique et l'excrétion a été obtenue par différence entre l'ingestion et la fixation. Les émissions gazeuses ont été estimées pour NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O, NO<sub>x</sub> et CH<sub>4</sub>. Le CH<sub>4</sub> a été estimé à partir de la fermentation entérique et de la gestion des effluents pour les truies, les porcelets sevrés et les porcs charcutiers selon IPCC(2006) et Rigolot *et al.* (2010a,b). Les émissions directes de N-N<sub>2</sub>O en bâtiment, au stockage et à l'épandage sont calculées selon IPCC (2006) et Rigolot *et al.* (2010b). Les émissions de NO<sub>x</sub> ont été estimées selon Nemecek et Kägi (2007). Les émissions de N-NH<sub>3</sub> pendant le stockage intérieur et extérieur et pendant l'épandage ont été calculées selon Rigolot *et al.* (2010a,b) en fonction du type d'effluent (lisier vs. fumier).

## 2. RESULTATS

### 2.1. Composition et coût des aliments formulés

La teneur moyenne en protéines des aliments diminue avec la stratégie d'alimentation, de 192, 182 et 175g/kg en 1P-, 2P- et MP-NoAA-Min€ à 139, 131 et 123 g/kg en 1P-, 2P- et MP-AA-MinCP. Les scénarios AA-MinCP présentent toujours les teneurs en protéines les plus faibles. L'incorporation de lysine, thréonine, méthionine et tryptophane augmente régulièrement entre les scénarios AA-CORP-Min€, AA-Min€ et AA-MinCP. Le tryptophane est incorporé dans les aliments porcelets 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge et croissance dans les scénarios 2P-AA-CORP-Min€ et MP-AA-CORP-Min€, en alimentation SOJCP. Il est incorporé en situation SOJ dans tous les aliments porcelets et porcs charcutiers en scénarios AA-Min€ et AA-MinCP (sauf aliment finition MP-AA-Min€) et dans l'aliment lactation en scénarios AA-MinCP. L'incorporation de valine intervient dans le scénario 2P-AA-CORP-Min€ dans les aliments lactation et porcelets 1<sup>er</sup> âge de même que dans le scénario AA-MinCP dans les aliments lactation, porcelets 1<sup>er</sup> et 2<sup>ème</sup> âge et croissance. Le tourteau de soja est incorporé en moyenne à hauteur de 197(SOJCP) et 253 kg/t (SOJ) en scénario 1P-NoAA-Min€, 161 (SOJCP) et 224 kg/t (SOJ) en 2P-NoAA-Min€, 138 (SOJCP) et 214 kg/t (SOJ) en MP-NoAA-Min€ et seulement à 70 kg/t en scénario MP-MinCP. L'incorporation d'AA dans des aliments formulés à moindre coût réduit en moyenne l'incorporation de tourteau de soja de 51% en 1P, 58% en 2P et 64% en MP (SOJ).

Quel que soit le type de matières premières (SOJ ou SOJCP), le coût des aliments formulés est minimal dans les scénarios AA-Min€ (Figure 1). Le coût moyen de l'aliment est respectivement de 0,624, 0,607 et 0,593 €/kg porc vif pour les

scénarios 1P-AA-Min€, 2P-AA-Min€ et MP-AA-Min€ en alimentation SOJ (soit +0,003€/kg porc vif par rapport à l'alimentation SOJCP). Dans tous les cas, le coût est maximal (Figure 1) pour les aliments formulés sans incorporation d'acides aminés (0,665 ; 0,649 et 0,644€/kg porc vif,

respectivement pour les scénarios 1P, 2Pet MP en SOJ). Les aliments formulés en minimisant la teneur en protéines conduisent à des coûts supérieurs aux scénarios AA-Min€ et AA-CORP-Min€ (respectivement 0,654, 0,637 et 0,624€/kg porc vif pour les scénarios 1P, 2P et MP).

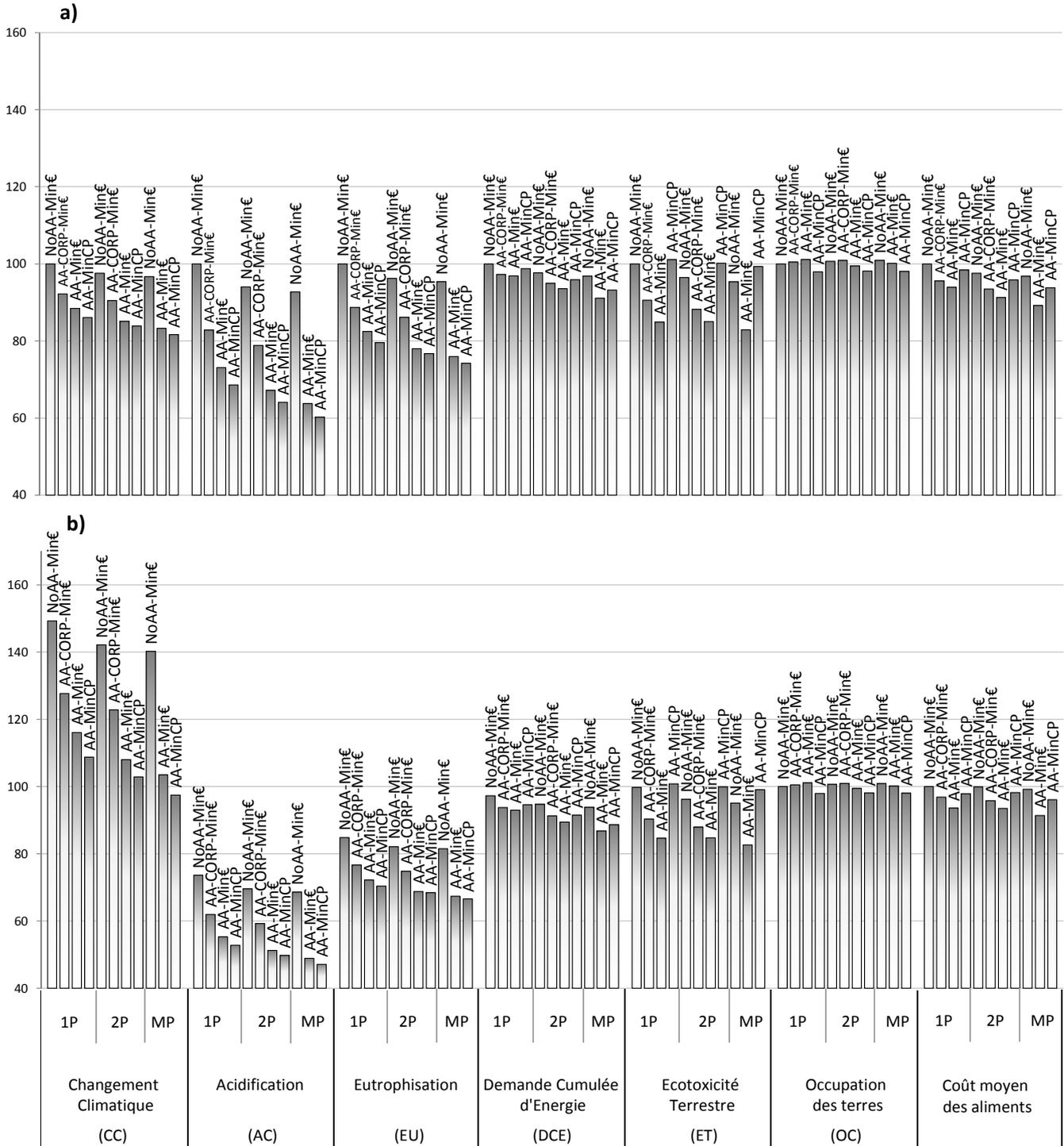


Figure 1– Impacts calculés par analyse de cycle de vie et coût moyen des aliments dans un système porcin conventionnel avec a) gestion de lisier et b) gestion de fumier, selon différentes modalités de formulation des aliments avec le tourteau de soja comme seule matière première riche en protéines, en % du système LIS- 1P-NoAA-Min€ (voir description des scénarios dans le texte)

## 2.2. Impacts des différents scénarios explorés

L'impact du kg vif de porc sur le CC en système lisier varie de 2,28 (MP-MinCP) à 2,82 kg CO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJ et de 2,28 (MP-AA-Min€) à 2,56 kg CO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJCP. L'incorporation d'acides aminés à moindre coût en élevage LIS réduit l'impact CC de 12 à 17% par

rapport à 1P-NoAA (Figure 1a). L'impact CC du kg vif de porc produit sur FUM varie de 2,71 (MP-MinCP) à 4,18 kg CO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJ et de 2,71 (MP-MinCP) à 3,88 kg CO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJCP. En élevage FUM, l'incorporation d'AA avec formulation à moindre coût réduit l'impact CC de 22 à 31% par rapport à 1P-NoAA (Figure 1b). L'impact du kg de porc vif sur l'acidification varie en FUM de 0,027 (MP-MinCP) à 0,042 kg SO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en

alimentation SOJ et de 0,027 (MP-MinCP) à 0,041 kg SO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en SOJCP. En système LIS, l'impact sur l'acidification est plus élevé et varie de 0,035 (MP-MinCP) à 0,058 kg SO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJ et de 0,035 (MP-MinCP) à 0,055 kg SO<sub>2</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJCP.

L'incorporation d'AA dans des aliments formulés à moindre coût réduit l'impact sur l'acidification de 27 à 36% par rapport à 1P-NoAA en élevage LIS (Figure 1a) et de 25 à 34% en élevage FUM (Figure 1b). L'impact sur l'acidification est le plus faible pour les scénarios multiphase FUM (MP-Min€ et MP-MinCP).

L'impact du kg de porc vif sur l'eutrophisation varie en LIS de 0,017 (MP-MinCP) à 0,022 kg PO<sub>4</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJ et de 0,017 (MP-MinCP) à 0,023 kg PO<sub>4</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJCP. En élevage FUM, cet impact varie de 0,015 (MP-MinCP) à 0,019 kg PO<sub>4</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJ et de 0,015 (MP-MinCP) à 0,020 kg PO<sub>4</sub>-eq (1P-NoAA) en alimentation SOJCP.

L'impact sur l'eutrophisation est diminué de 18 à 24% en élevage LIS avec alimentation SOJ par rapport au scénario 1P-NoAA. En élevage FUM, cette réduction de l'impact est de 15 à 21% avec une alimentation SOJ.

En élevage LIS, l'impact sur l'écotoxicité terrestre de la production d'1 kg de porc vif varie de 0,016 (MP-Min€) à 0,019 kg 1,4 DCB-eq (1P et 2P-MinCP) en alimentation SOJ et de 0,017 (MP-Min€) à 0,019 kg 1,4 DCB-eq (1P-MinCP) en alimentation SOJCP.

En élevage FUM, les niveaux d'impact sur l'écotoxicité terrestre sont semblables à ceux obtenus en LIS. La réduction d'impact par incorporation d'AA dans des aliments formulés à moindre coût est au maximum de 17% en alimentation SOJ et de 14% en alimentation SOJCP.

Les impacts sur la consommation d'énergie et l'occupation des surfaces sont peu sensibles aux scénarios étudiés (Figure 1). La consommation d'énergie est en moyenne de 20,1 (LIS) et de 19,3 MJ/kg porc vif (FUM) en alimentation SOJ et de 19,1 (LIS) et 18,3 MJ/kg porc vif (FUM) en alimentation SOJCP. La surface occupée est en moyenne de 4 m<sup>2</sup>.an/kg porc vif en élevages LIS et FUM, avec alimentation SOJ et SOJCP.

### 3. DISCUSSION

#### 3.1. Niveau des impacts environnementaux

Les différents impacts calculés sont dans la gamme des valeurs rapportées dans la synthèse de de Vries et de Boer (2010). L'impact du kg de porc vif sur le changement climatique pour le scénario 2P-AA-CORP-Min€ (proche des pratiques actuelles) en système LIS (2,24 kg CO<sub>2</sub>-eq en SOJCP et 2,54 kg CO<sub>2</sub>-eq en SOJ) est très cohérent avec les valeurs trouvées pour des élevages conventionnels : 2,30 kg CO<sub>2</sub>-eq (Basset-Mens et van der Werf, 2005), 2,30 kg CO<sub>2</sub>-eq (Rigolot *et al.*, 2009), 2,20 kg CO<sub>2</sub>-eq (Nguyen *et al.*, 2011), et 2,47 et 3,05 kg CO<sub>2</sub>-eq selon le niveau de performance du système (Pelletier *et al.*, 2010).

Les impacts sur l'acidification, l'eutrophisation et l'écotoxicité terrestre sont également cohérents avec les valeurs rapportées dans ces études: 0,042 à 0,044 kgSO<sub>2</sub>-eq/kg porc vif, 0,016 à 0,021 kg PO<sub>4</sub>-eq/kg porc vif et 0,016 et 0,019 kg 1,4 DCB-eq/kg porc vif.

Les valeurs d'occupation des surfaces calculées dans cette étude, 4 m<sup>2</sup>.an/kg porc vif, sont semblables aux valeurs de Nguyen *et al.* (2011). La consommation énergétique est un peu supérieure aux valeurs précédemment publiées par Basset-

Mens et van der Werf (2005) et par Pelletier *et al.* (2010): 9,7 à 15,9 MJ/kg porc vif.

#### 3.2. Potentiel de réduction des impacts par incorporation d'acides aminés dans les aliments pour porcs

Nos résultats valident clairement l'hypothèse initiale de réduction des impacts environnementaux du kg de porc vif produit par incorporation d'AA dans les aliments pour porcs. La réduction d'impact dans les scénarios AA-CORP-Min€ est globalement faible. Pour les scénarios AA-Min€, la réduction s'accroît et les aliments formulés en minimisant le contenu en protéines permettent de réduire encore les impacts (jusqu'à 5 points supplémentaires) pour CC, AC et EU, excepté pour l'impact CC dans les élevages LIS avec formulation des aliments à partir de soja, colza et pois. Ce gradient de réduction des impacts entre les scénarios NoAA-Min€ et AA-MinCP est associé à la moindre incorporation du tourteau de soja et à l'incorporation accrue d'acides aminés industriels dans les aliments. Ainsi, les plus faibles impacts ont été relevés dans les scénarios AA-MinCP et AA-Min€ dans lesquels du tryptophane et de la valine sont incorporés aux aliments et dans lesquels les niveaux d'incorporation de lysine, thréonine et méthionine sont maximaux. Ces résultats confirment l'hypothèse initiale d'une possible réduction supplémentaire des impacts environnementaux par l'ajout des acides aminés récemment disponibles, tryptophane et valine. L'ampleur de la réduction des impacts est par ailleurs plus importante que dans l'étude précédente qui ne concernait que la production des aliments pour porcs (Mosnier *et al.*, 2011). Cela signifie que l'ajout d'AA pour formuler les aliments pour porc permet de réduire les impacts tant de la production des aliments que de leur utilisation et devenir en élevage (excrétion par les animaux, stockage et épandage des effluents). Nos résultats mettent par ailleurs en évidence une synergie entre les pratiques d'alimentation dans la réduction des impacts CC, AC et EU, en particulier en situation SOJ : alimentation multiphase (et biphase dans une moindre mesure) et ajout d'AA dans les formules (formulation à moindre coût et formulation en minimisant la teneur en protéines des aliments). En effet les impacts les plus faibles ont été calculés pour les scénarios MP-AA-MinCP, sauf en système lisier pour le CC en situation SOJCP (impact minimal pour 1P, 2P et MP-AA-Min€), grâce à la réduction de l'excrétion d'azote et des émissions de gaz qui y sont associées (principalement NH<sub>3</sub> et N<sub>2</sub>O).

Ces pratiques visant à améliorer l'adéquation entre les besoins en nutriments, en particulier en AA, et les apports, tout au long de la vie de l'animal dans l'élevage, confirment leur intérêt dans un contexte de nécessaire réduction des impacts (Bourdon *et al.*, 1995).

#### 3.3. Concilier réduction des impacts environnementaux et des coûts d'alimentation

Compte-tenu de la faible réduction supplémentaire des impacts environnementaux avec les scénarios AA-MinCP par rapport aux scénarios AA-Min€, il apparaît que la formulation des aliments à moindre coût avec incorporation d'AA (sans contrainte de formulation sur la teneur en protéines) représente un bon compromis car elle permet à la fois de diminuer nettement le coût d'alimentation par kg de porc produit par rapport aux pratiques actuelles (proches de AA-CORP-Min€) et de réduire sensiblement les impacts CC, AC et EU. Le scénario MP-AA-Min€ permet à la fois de minimiser le coût alimentaire et d'obtenir une réduction des impacts importante, que ce soit en élevage

LIS ou FUM avec alimentation SOJ ou SOJCP. La diminution du coût alimentaire dans les scénarios AA-Min€ résulte de la diminution de l'incorporation du tourteau de soja.

## CONCLUSION

L'incorporation d'acides aminés dans les aliments pour porc formulés à moindre coût permet de réduire de façon conséquente les impacts de la production porcine sur le changement climatique, l'acidification et l'eutrophisation. Cette réduction d'impact est d'autant plus importante que

l'incorporation des acides aminés est associée à une alimentation multiphase des porcs charcutiers.

La cohérence des résultats obtenus avec ceux de la littérature met en évidence la robustesse de la méthode ACV dans l'évaluation des impacts environnementaux de la production de porcs.

La productivité des truies, les indices de consommation et la proportion du soja brésilien associée à une déforestation récente influencent fortement les impacts de la production porcine. Cette étude devra donc être complétée par une analyse de sensibilité des impacts à ces facteurs.

## 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. Go to essentials, Information N°37, 39 p. Téléchargeable sur <http://ajinomoto-eurolysine.fr/telechargement-bulletins-techniques.html>
- AGRESTE, 2006. Enquête pratiques culturales. Téléchargé le 18 mai 2010, sur <http://agreste.maapar.lbn.fr/ReportFolders/ReportFolders.aspx>
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agric., Ecosyst. Environ.*, 105, 127-144.
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., Robin P., Morvan T., Hassouna M., Paillat J.M., Vertes F., 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. *J. Cleaner Prod.* 15:1395-1405.
- Bourdon D., Dourmad J.Y., Henry H., 1995. Réduction des rejets azotés chez le porc en croissance par la mise en oeuvre de l'alimentation multiphase, associée à l'abaissement du taux azoté. *Journées Rech. Porcine Fr.*, 27, 269-278.
- de Vries M., de Boer I.J.M., 2010. Comparing environmental impacts for livestock products: A review of life cycle assessments. *Livest. Sci.*, 128, 1-11.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzalez J., Houwers H.W.J., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T.L.T., Morgensen L., 2012. Evaluation of the environmental sustainability of different European pig production systems using life cycle assessment, 8<sup>th</sup> Int. Conference on LCA in the Agri-Food Sector, 1-4 Octobre 2012, Saint-Malo, France, pp 98.
- IFIP, 2010-2011. Note de conjuncture aliment. Téléchargée sur le site <http://www.ifip.asso.fr>.
- 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](http://www.rennes.inra.fr/inraporc)
- IPCC, 2006. Emissions from livestock and manure management, In: Eggleston, H.S., Buendia, L., Miwa, K., Ngara, T., Tanabe, K. (Eds.), Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. IGES, Japan, 87 p.
- 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.
- Jungbluth N., Chudacoff M., Dauriat A., Dinkel F., Doka G., Faist Emmenegger M., Gnansounou E., Kljun N., Schleiss K., Spielmann M., Stettler C., Sutter J., 2007. Life cycle inventories of bioenergy. Ecoinvent report, Swiss Centre for the Life Cycle inventories, Dübendorf, Switzerland, 727 p.
- La Dépêche, 2010-2011. Marchés Mondiaux : Protéagineux, Huiles [Prix des matières premières]. *La Dépêche/Le petit Meunier*, 72-73.
- Mason A.J., Dunning I., 2010. OpenSolver: Open source optimisation for excel. In: Proc. of the Annual Conference of the Operations Research Society of New Zealand, University of Auckland, Auckland, New Zealand, 181-190.
- Mosnier E., van der Werf H.M.G., Boissy J., Dourmad J.Y., 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal*, 5(12), 1972-1983.
- Nemecek T., Kägi T., 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final report Ecoinvent report v2.0, Agroscope Reckenholz-Taenikon Research Station ART. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, Zurich and Dübendorf, Switzerland, 308 p.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E., Morgensen L., 2011. Environmental assessment of Danish pork. Internal report, Faculty of Agricultural Sciences, Aarhus University, 31 p.
- Osada T., Takada R., Shinzato I., 2011. Potential reduction of greenhouse gas emission from swine manure by using a low-protein diet supplemented with synthetic amino acids. *Anim. Feed Sci. Technol.*, 166-67, 562-574.
- PAS 2050, 2011. Specification for the assessment of the life cycle greenhouse gas emissions of goods and services. British Standard, Department for Environment Food and Rural Affairs and Carbon Trust. British Standards Institute, London, 45 p.
- Payraudeau S., van der Werf H.M.G., Vertès F., 2007. Analysis of the uncertainty associated with the estimation of nitrogen losses from farming systems. *Agric. Syst.*, 94, 416-430.
- Pelletier N., Lammers P., Stender D., Pirog R., 2010. Life cycle assessment of high- and low-profitability commodity and deep-bedded niche swine production systems in the Upper Midwestern United States. *Agric. Syst.*, 103, 599-608.
- Portejoie S., Dourmad J.Y., Martinez J., Lebreton Y., 2004. Effect of lowering dietary crude protein on nitrogen excretion, manure composition and ammonia emission from fattening pigs. *Livest. Prod. Sci.*, 91, 45-55.
- Prudêncio da Silva V., van der Werf H.M.G., Spies A., Soares S.R., 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *J. Environ. Manage.*, 91, 1831-1839.
- Quiniou N., Primot Y., Peyronnet C., Quinsac A., 2011. Interest of using synthetic amino acids, including L-Valine, for formulating low crude protein pig diets based on rapeseed meal. In : Proc of the 62<sup>nd</sup> Annual Meeting of the European Association of Animal Production, Stavanger, Norvège, 17.
- Rigolot C., Meda B., Espagnol S., Trochet T., Dourmad J.Y., 2009. Analyses de cycle de vie (ACV) de 5 systèmes porcins avec différentes hypothèses de comptabilisation des impacts., *Journées Rech. Porcine*, 41, 281-282.
- Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part I: animal excretion and enteric CH<sub>4</sub>, effect of feeding and performance. *Animal*, 4, 1401-1412.
- Rigolot C., Espagnol S., Robin P., Hassouna M., Beline F., Paillat J.M., Dourmad J.Y., 2010b. Modelling of manure production by pigs and NH<sub>3</sub>, N<sub>2</sub>O and CH<sub>4</sub> emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413-1424.