

Evaluation de la durabilité des productions porcines en Wallonie : développement d'un outil de modélisation

Pascale PICRON (1), Christelle BOUDRY (1), Denis DOCHAIN (2), Séverine LAGNEAUX (3), André THÉWIS (1), Jérôme BINDELLE (1)

(1) GxABT, Université de Liège, UZT. Passage des Déportés 2, 5030 Gembloux, Belgique

(2) CESAME, UCL, 4-6 av. G. Lemaître, 1348 Louvain-La-Neuve, Belgique

*(3) LAAP, UCL, Ruelle de la Lanterne magique 14 bte L2.03.02, 1348 Louvain-La-Neuve, Belgique
pascale.picron@ulg.ac.be*

Evaluation de la durabilité des productions porcines en Wallonie : développement d'un outil de modélisation

Garantir la durabilité d'une filière de production implique d'évaluer son impact sur les trois dimensions du développement durable : (1) maîtrise des impacts sur l'environnement, (2) viabilité économique, (3) attentes sociétales des éleveurs, des citoyens et des consommateurs. Cette recherche s'inscrit dans le cadre de la révision, par les autorités publiques de Wallonie (Belgique), des critères minimaux permettant la reconnaissance de la qualité différenciée axés sur les 3 piliers de la durabilité. Elle consiste à développer un outil informatique de modélisation mathématique du fonctionnement technico-environnemental de la production porcine et de ses impacts socio-économiques. Le programme est développé dans Matlab. Le modèle s'articule autour des différentes composantes des systèmes de production selon le paradigme orienté-objet. Les nouveaux critères de différenciation qui définiront de nouveaux labels axés sur des attributs de durabilité en constituent les variables motrices : taille de l'exploitation, origine des aliments et des matières premières, logement, indépendance énergétique, effluents, etc. Les impacts sont relevés à chaque étape de production jusqu'à la sortie du porc sur pied de la ferme selon la norme « Analyse de Cycle de Vie » (ACV). L'évaluation environnementale utilise des modèles mécanistiques de flux de composés chimiques, convertis en indicateurs ACV. L'analyse de la dimension sociale s'appuie sur une base de données intégrée, comprenant le temps de travail. Enfin, un modèle économique attestera du dernier volet. L'outil finalisé permettra de prédire les conséquences de choix opérationnels liés aux critères de qualité différenciée au niveau d'une exploitation.

Assessing the sustainability of pig production in Wallonia: development of a simulation tool

Assessing the sustainability of a production system relies on the evaluation of its impacts on the three pillars of sustainability: (1) mitigation of environmental impact, (2) economic viability, (3) response to society, consumer and farmer concerns. This research project takes place in the context of revision by public authorities of the definition of more sustainable alternative management options for pork production. It aims to develop a simulation tool, modeling technical and environmental systems and their associated socio-economic effects. The tool is implemented in Matlab. The model describes all the components of the production system. New management options are driving variables of the model: farm size, feed origin, bedding, energy independence, manure management practices... Impacts are determined at each stage of the production chain, according to normalized Life Cycle Assessment methodology. The environmental assessment summarized relevant emissions to calculate LCA impact indicators. Social dimension will be assessed through the representation of time spent by the farmer for each task of the production chain. Economic assessment is based on monetary flows. This tool should make it possible to predict the consequences of operational choices linked to alternative management options at the farm level.

INTRODUCTION

A l'heure actuelle, l'évolution des exploitations porcines européennes semble atteindre ses limites opérationnelles en termes de taille et de spécialisation (Roguet et Rieu, 2011). Le secteur se heurte désormais à des préoccupations environnementales et sociétales. Les consommateurs semblent montrer un réel intérêt envers les aliments produits de manière durable. Ce développement sociétal offre des opportunités à l'innovation et la démarcation dans le secteur des productions animales.

En Belgique, le secteur de la production porcine et ses tendances évolutives sont similaires à ses voisins (Bretagne, Pays-Bas, Danemark). Toutefois, des disparités structurelles subsistent entre le Nord (Flandre) et le Sud (Wallonie) de la Belgique. La grande majorité (87 %) des exploitations est localisée en Flandre. En 2010, elles étaient 750 en Wallonie (www.statbel.fgov.be). Le nombre moyen d'animaux par exploitation est deux fois plus élevé en Flandre qu'en Wallonie avec 1000 et 500 porcs par ferme, respectivement. La Wallonie présente des atouts indéniables pour adapter son mode de production aux principes de durabilité : bonne liaison au sol, possibilités d'approvisionnement local en céréales, caractère familial de l'activité.

Grâce à une volonté politique forte de soutenir cette adaptation, un arrêté ministériel du 2 février 2004 (en cours de révision) définit les critères minimaux permettant la reconnaissance de la qualité différenciée dans le secteur de la production porcine (cahier des charges minimal). Ces critères minimaux sont axés sur les 3 piliers (principes) de la durabilité, à savoir : (i) la maîtrise de l'impact de l'activité sur l'environnement ; (ii) l'assurance de la viabilité économique des exploitations et la compétitivité des filières ; et (iii) une réponse aux attentes sociétales adressées par les éleveurs, les citoyens et les consommateurs.

Au-delà du caractère familial, du respect de critères de taille et la garantie d'une plus-value financière pour l'agriculteur, la portée générale des critères minimaux se définit autour d'un nombre limité de mesures spécifiques telles que reprises dans le tableau 1.

Tableau 1 – Critères minimaux représentatifs (liste non exhaustive)

Éléments positifs de différenciation
Réduction des émissions atmosphériques.
Présence d'une litière pour les animaux.
Bilan énergétique positif au niveau des bâtiments.
Amélioration de la gestion des effluents et des nuisances.
Engraissement de ses propres porcelets (circuit fermé) ou approvisionnement à hauteur de 100 % en porcelets de Qualité Différenciée.
Utilisation de la lumière naturelle dans les bâtiments.
Minimum 70 % de céréales et de leurs issues dans l'alimentation.
Approvisionnement de proximité pour certaines matières premières dans l'alimentation des animaux.
Mise en place d'une stratégie de lutte contre les pathogènes au niveau de la filière.
Amélioration du bien-être animal.
Renforcement de la traçabilité au sein de la filière.
Obtention de qualités nutritionnelle et organoleptique particulières au niveau du produit fini.

Garantir la durabilité d'une filière de production implique d'évaluer simultanément son impact sur les trois dimensions du développement durable : environnementale, économique et sociale/sociétale. L'analyse du cycle de vie (ACV) est particulièrement intéressante dans la perspective de durabilité puisqu'elle couvre l'ensemble du cycle de vie d'un produit et permet d'éviter que les améliorations environnementales locales ne soient la résultante d'un simple déplacement des charges polluantes (Jolliet *et al.*, 2010). Constituée de flux élémentaires de consommation de ressources et d'émissions, l'ACV implique des liens de causalité entre un processus de production et ses impacts environnementaux, à chaque étape de la vie d'un produit. C'est un outil d'analyse environnementale holistique, systémique et rigoureux standardisé au travers des normes ISO 14040 et 14044 (UNEP, 2011). En associant à cette trame méthodologique des bilans fondés sur des facteurs économiques et sociaux, on aboutit à la définition conceptuelle de l'Analyse de la Durabilité dans le Cycle de Vie (ADCV). La mise au point d'un outil complet d'ADCV est actuellement au centre de nombreuses recherches. L'enjeu consiste à l'intégration conceptuelle et procédurale des différents outils typiques de l'ACV. Schématiquement, l'ADCV peut être considérée comme la superposition ou l'alignement d'une Analyse Environnementale du Cycle de Vie (ACV), d'une Analyse des Coûts du Cycle de Vie (ACCV) et enfin d'une Analyse Sociale du Cycle de Vie (ASCV) (UNEP, 2011). L'ACCV évalue tous les coûts monétaires réels associés au cycle de vie physique d'un produit et attribués à un ou plusieurs acteurs de la chaîne de production. Les externalités sont considérées uniquement lorsqu'elles sont susceptibles d'être internalisées à court terme (Hunkeler *et al.*, 2008). L'ASCV est encore en cours d'ébauche. A l'heure actuelle, il n'y a pas de consensus sur une liste d'indicateurs standardisés, ni sur les catégories d'impacts ou encore leurs méthodes d'évaluation (Ramirez et Petti, 2011). La nature qualitative, quantitative ou semi-quantitative des indicateurs est au cœur de considérations méthodologiques importantes. Des indicateurs qualitatifs permettent d'adopter une démarche exploratoire en ce qui concerne l'appréhension d'une information alors que des indicateurs quantitatifs sont plus restrictifs pour décrire une information mais avec l'avantage majeur qu'ils en simplifient l'évaluation (Jørgensen *et al.*, 2008). Certains auteurs se sont concentrés sur le développement d'indicateurs quantitatifs et notamment Hunkeler (2006) qui lie les impacts sociétaux à l'unité fonctionnelle au moyen du temps de travail requis pour produire chaque fraction d'un produit final (Kloepffer, 2008).

L'objectif de cette étude est de comparer l'impact environnemental, social et économique de nouveaux critères de qualité différenciée (Tableau 1) qui définissent des labels de durabilité tels qu'appliqués en Wallonie (Belgique méridionale) comparativement aux filières conventionnelles. L'approche méthodologique retenue est la modélisation du cycle de vie de la production porcine et des bilans économiques et sociaux. Autrement dit, il s'agit de modéliser les flux d'énergie, de matériaux et d'émissions environnementales ainsi que les flux monétaires et horaires de l'éleveur tout au long de la chaîne de production en fonction des paramètres de différenciation. D'un point de vue opérationnel, il s'agit de développer un outil de simulation qui réponde spécifiquement aux choix posés en matière de différenciation par un opérateur afin de pouvoir tester différents scénarios relatifs à l'application des critères de qualité différenciée. Les résultats de ces simulations pourront être analysés de manière comparative.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Considérations générales

L'approche méthodologique adoptée s'apparente à la réalisation d'une ADCV. Afin d'être cohérent, il est important que les limites du système coïncident pour l'analyse de chaque pilier de la durabilité. Les différents outils ACV suivent les mêmes lignes directrices (ISO 14040), à savoir : (i) définition du champ de l'étude et des limites du système ; (ii) analyse de l'inventaire ; (iii) évaluation des impacts ; et (iv) interprétation des résultats. L'ACV est modélisée selon une approche attributionnelle. Les aspects propres aux ACCV et ASCV seront mis en évidence dans chaque section. Le modèle est implémenté dans l'environnement de programmation MATLAB R2011a (MathWorks, Natick, MA, USA) et s'articule autour des différentes composantes des systèmes de production selon le paradigme orienté-objet.

1.2. Définition du système

1.2.1. Limites physiques et temporelles du système en Wallonie

Au regard des critères minimaux de qualité différenciée et de leur portée d'application, les limites du système incluent

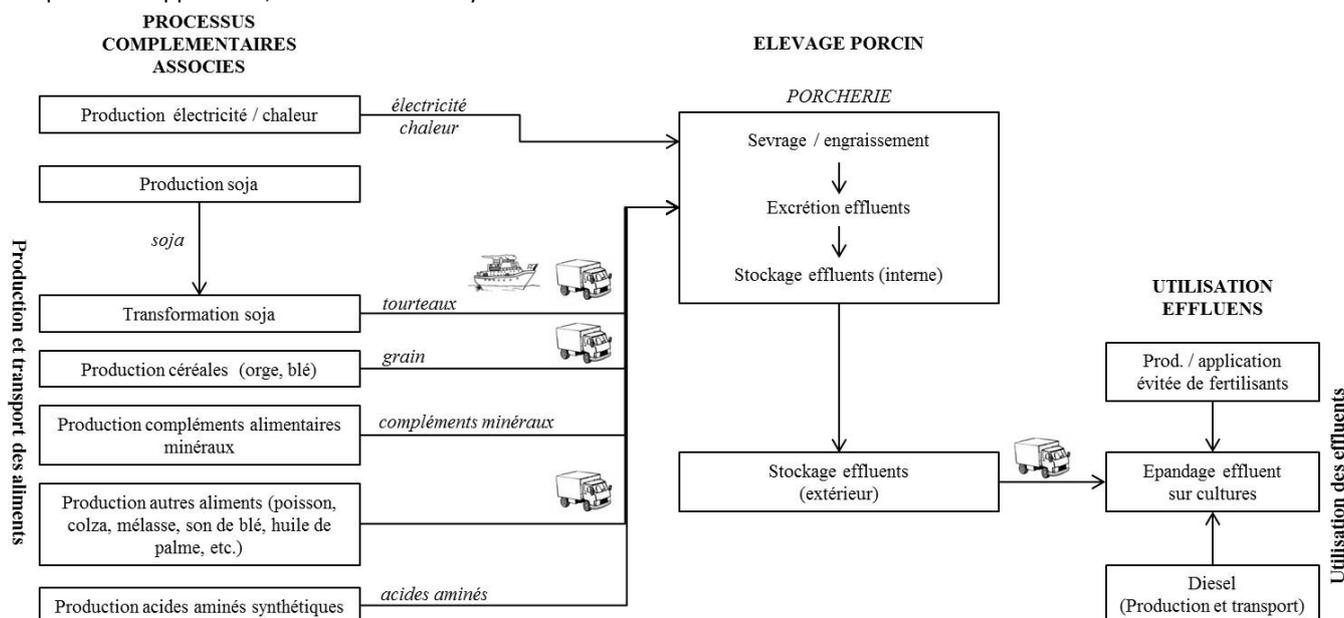


Figure 1 – Limites du système de production de porc (adapté de Ngyen *et al.*, 2011).

Les émissions relatives à la construction des infrastructures et des épanduses ne sont pas prises en compte dans cette étude (Sandars *et al.*, 2003). Les intrants sanitaires pour les animaux ne sont pas comptabilisés, la couverture sanitaire étant considérée semblable pour tous les systèmes au vu du cadre sanitaire minimum strict imposé à chaque élevage de porcs, toute filière confondue.

Pour l'analyse économique, aucune externalité n'est prise en compte, puisque, à ce jour, les exploitations porcines sont contraintes à des mesures environnementales strictes afin de maîtriser leurs impacts, qui constituent les paramètres du modèle. Les externalités se traduisent donc en amendes uniquement en cas de non-respect de ces normes. Les amortissements relatifs aux infrastructures sont comptabilisés dans ce travail. Les différences en termes d'investissements peuvent en effet s'avérer importantes selon les choix en matière de bâtiments et de système d'élevage. La limite temporelle du système est équivalente à une année calendaire

uniquement le périmètre de l'atelier naissance et finition des porcs. Les exploitations sont considérées « hors sol », impliquant l'hypothèse que l'exploitation importe ses aliments et autres ressources (Ngyen *et al.*, 2011). Cette hypothèse n'est en rien contradictoire avec les critères minimaux qui s'attachent à la proximité de l'approvisionnement.

Toutefois, dans le cas contraire, notamment en ce qui concerne les céréales et la paille, un coût d'opportunité leur sera attribué pour l'inventaire économique et social.

D'un point de vue environnemental, la distinction s'opèrera à travers le kilométrage attribué au transport. La totalité des impacts (émissions et consommation de ressources) relatifs à la gestion des effluents d'élevage au cours de la collecte, du stockage extérieur et de l'épandage sont alloués à la production porcine dont sont néanmoins déduits les impacts environnementaux associés à la production évitée d'éléments fertilisants (Ngyen *et al.*, 2011). Ils sont considérés comme engrais de ferme et destinés à être épandus à l'extérieur. Leur transport est considéré étant donné qu'en cas de « contrats de fumure », les distances à parcourir peuvent être importantes.

La Figure 1 illustre les limites du système de production porcine considéré en Wallonie.

afin de tenir compte des variations saisonnières d'émissions.

1.2.2. Catégorie des parties prenantes

Chaque phase du cycle de vie peut être associée à des lieux géographiques propres. A chacun de ces endroits, les impacts sociaux et socio-économiques touchent différemment les différents acteurs et parties prenantes de la chaîne de production. Au regard des limites du système et du rôle central que joue l'éleveur dans l'application des critères de différenciation, il constitue la seule partie prenante considérée à ce jour dans le modèle.

Les acteurs citoyens, riverains, consommateurs et la question du bien-être animal seront considérés lors d'une phase ultérieure de la recherche.

1.2.3. Fonctions et unités fonctionnelles

La fonction de production principale d'une exploitation porcine étant de produire des porcs engraisés, deux unités fonctionnelles (UF) ont été choisies : (i) le porc sur pied

(production), (ii) le kg de porc sur pied (productivité des facteurs de production).

2. ANALYSE DE L'INVENTAIRE

Le calcul de l'inventaire de l'ACV environnementale s'effectue selon l'approche processus. Les émissions totales sont calculées en sommant les flux élémentaires directs (modélisés) et les émissions indirectes liées aux intrants (base de données (BD) d'inventaire processus). Les calculs de l'inventaire socio-économique s'effectuent selon une approche input-output (I/O). Il s'agit de multiplier une matrice socio-économique, caractérisant le coût ou le travail horaire relatif à une étape de production, à une matrice environnementale (inventaire de production [unité/UF]) pour chaque étape de production.

2.1. Modélisation des émissions environnementales

2.1.1. Emissions directes

Les émissions directes de NH_3 , N_2O , NO_3^- , N_2 , CH_4 et de P sont estimées au moyen de différents modèles mathématiques, empiriques ou semi-mécanistiques, les modèles mécanistiques n'apportant pas de plus-value dans le cadre de ce travail en raison de leur complexité.

Processus 1 : Production animale

Le processus simulant les émissions relatives à la composante animale répond aux paramètres suivants fixés par l'utilisateur du modèle : objectifs de croissance, composition de la ration, prolificité des truies, organisation de l'élevage (nombre de bande, nombre d'animaux), densité animale. Le nombre et la distribution des animaux selon le stade physiologique peut-être calculée sur base d'un algorithme simple à partir du nombre de bandes de production et du nombre de truies (ITP, 2000). L'analyse de l'inventaire débute par la modélisation de l'ingestion et de l'excrétion des animaux. Pour les animaux en croissance, l'ingestion varie au cours du temps. La croissance est estimée à partir de la dérivée première en fonction du temps de la courbe théorique (équation de Gompertz) proposée par Aubry *et al.* (2004). Les besoins quotidiens en énergie digestible sont estimés sur base des équations du NRC (1998) en fonction du statut physiologique des animaux (troupe reproductrice, porcelet, porc à l'engrais) et de leur poids. L'ingestion est fonction de la densité énergétique de la ration composée par l'utilisateur du modèle. Il choisit les ingrédients en proportion et origine diverses en fonction des contraintes liées aux critères de différenciation qui s'applique à la filière qu'il modélise. La caractérisation nutritionnelle de la ration s'appuie sur une base de données (BD Ingrédients) compilée dans le cadre de cette étude. Elle comprend les caractéristiques nutritionnelles des ingrédients, leur origine, un kilométrage-type associé et une valeur ACV ou environnementale issues de bases de données d'inventaire. Les émissions de CO_2 et de CH_4 des animaux durant la phase d'élevage ainsi que les caractéristiques des effluents sont calculées sur base du modèle de Rigolot *et al.* (2010a). Les sorties se composent du volume et de la composition de l'effluent et d'émissions gazeuses.

Processus 2 : Gestion des effluents

Le processus de gestion des effluents répond aux choix suivants définis par l'utilisateur du modèle : le type de logement, la température du bâtiment, la ventilation, l'eau de nettoyage, les caractéristiques du système de collecte et de stockage des effluents, la fréquence de nettoyage et/ou de

pompage, les conditions environnementales, les modalités d'épandage, la région agricole d'épandage et sa distance par rapport à la ferme, la fréquence et le moment de l'épandage et finalement la culture. Ces informations sont stockées dans les BD Bâtiments et Modalité de gestion. Les émissions qui se déroulent à l'intérieur du bâtiment lors de la collecte et lors du stockage sont estimées sur base du modèle empirique proposé par Rigolot *et al.* (2010b).

Les émissions sont calculées sur la base de facteurs d'émission (FE), pondérés par différents facteurs de variation (FV) selon les modalités de gestion et les conditions environnementales. Le modèle distingue les effluents liquides (lisiers) des effluents solides (fumier). La composition de l'effluent à chaque étape de stockage est calculée sur base d'un bilan massique. Les effluents sont très rarement traités en Wallonie. Les fréquences d'épandage sont calculées par défaut sur base de la réglementation wallonne en ce qui concerne les périodes autorisées et les durées minimales et maximales de stockage (Nitrawal, 2004). Les pertes par volatilisation liées à l'épandage varient selon les modalités d'application. Les émissions azotées liées à l'épandage de lisier sont simulées selon le modèle empirique proposé par Langevin *et al.* (2010). Les émissions azotées liées à l'épandage de fumier sont issues des résultats de Webb *et al.* (2012). Les émissions de méthane sont estimées à partir des FE proposés par Gac *et al.* (2007) et les FV sur base des travaux de Flessa et Beese (2000). Les FV liés aux conditions climatiques sont tirés de Basset-Menset *et al.* (2007). Les émissions de nitrates dans l'eau (lessivage) sont calculées sur la base de coefficients d'efficacité azotée moyens pour la Wallonie modélisés sur la base du bilan AZOBIL (INRA, Laon, France) (Nitrawal, 2004 ; Godden *et al.*, 2011). Le taux de substitution pour le phosphore des effluents est estimé à 100 % comme cela peut être considéré dans la plupart des cas (Sommer *et al.*, 2008).

2.1.2. Emissions indirectes

Les inventaires pour les consommations d'énergie, d'intrants (aliment conditionné, paille) et le transport sont basés sur des bases de données d'inventaire processus existantes dans SimaPro (Ecoinvent data v2.0, Frischknecht *et al.*, 2007) et d'autres sources bibliographiques pour les productions agricoles (LCA foodatabase, Nielsen *et al.*, 2003; agri-BALYSE, Koch *et al.*, 2012).

2.2. Inventaire socio-économique

Pour quantifier l'utilisation des facteurs de production et le coût en ressources de chacun des processus unitaires du système, différentes matrices techniques sont élaborées. Une matrice économique est en cours d'élaboration à partir de données récoltées auprès d'acteurs de terrain. Cette matrice contient les informations relatives aux coûts des intrants matériels pour chaque processus unitaire de la chaîne de production (aliments, paille, porcelet, énergie, ...) de même que les frais d'amortissement liés aux infrastructures. Similairement, une matrice sociale est élaborée par enquête et revue de la bibliographie. Elle combine les informations relatives au temps de travail pour chaque processus unitaire de la chaîne de production à un calendrier technique afin de distinguer le travail d'astreinte (TA) du travail de saison conformément à la définition adoptée dans la méthode Bilan-Travail et évaluer le temps disponible calculé pour l'éleveur (Bishoff *et al.*, 2008).

2.3. Architecture du modèle

Le modèle programmé sous MATLAB s'articule autour des modules « production animale » et « gestion des effluents » et s'appuie sur des bases de données ou matrices techniques construites dans le cadre de ce projet. Chaque module constitue une entité propre, avec ses caractéristiques, ses méthodes et ses capacités à interagir avec son environnement. L'architecture du modèle est illustrée à la figure 2.

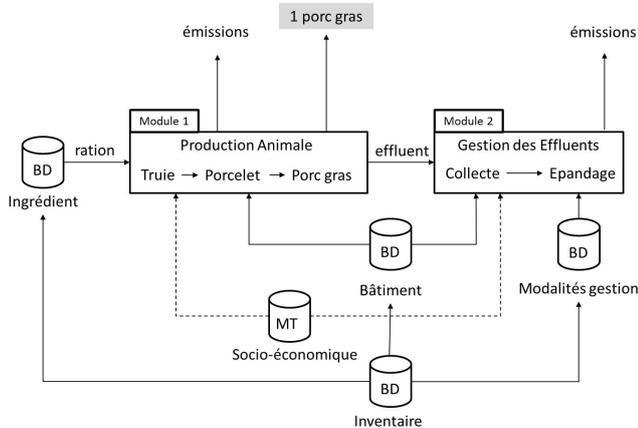


Figure 2 - Architecture du modèle : 2 modules s'appuyant sur des BD et MT.

BD : Base de données, MT : Matrice Technique.

3. EVALUATION DES IMPACTS

Trois catégories d'impact sont présentées comme prépondérantes en production porcine et seront évaluées dans le cadre de ce travail : (i) l'eutrophisation aquatique (en kg PO₄-eq : NH₃:0,35 ; NO₃:0,1 ; NO_x:0,13 ; PO₄:1) ; (ii) l'acidification (en kg SO₂-eq : NH₃:1,6 ; NO_x:0,5 ; SO₂:1,2) et les changements climatiques (en kg CO₂-eq : N₂O:310 ; CH₄:21 ; CO₂:1) d'après les facteurs de caractérisation génériques proposés par Guinée *et al.* (2002), Basset-Mens *et al.* (2007) et Langevin *et al.* (2010). L'indicateur économique se décline en EUR par unité fonctionnelle. Il n'existe pas de catégorie d'impact pour l'Analyse des Coûts du Cycle de Vie. L'indicateur

social se décline en heures de travail d'astreinte (TA) par unité fonctionnelle, c'est-à-dire le bilan du nombre d'heures de travail journalier dédiées aux activités d'élevage. La partie prenante est le producteur.

La sous-catégorie d'impact concernée est le temps de travail que Van Stappen *et al.* (2012) incluent dans la catégorie d'impact « Milieu du travail » intégrant également le temps travail saisonnier et le temps libre non considérés à ce stade.

CONCLUSION

Les choix méthodologiques et opérationnels posés contribuent au développement d'un outil d'évaluation de la durabilité des productions porcine en Wallonie. Ils s'apparentent à la réalisation d'une ADCV, outil prometteur en cours d'ébauche. Dans le respect des procédures standardisées des ACV, l'outil estime simultanément différents indicateurs portant sur les trois piliers du développement durable: les indicateurs environnementaux d'acidification, d'eutrophisation et de réchauffement climatique ainsi que socio-économiques à l'attention des producteurs (bilan économique et horaire par unité fonctionnelle). Implémenté sous Matlab, le programme s'articule autour des deux processus principaux du système «production animale» et «gestion des effluents» en s'appuyant sur des BD d'inventaire et des matrices techniques élaborées pour le projet. Les simulations répondent à la paramétrisation de l'utilisateur concernant le choix de critères de production. Les modèles sous-tendus ont en effet été sélectionnés pour leur sensibilité à ces critères. Le programme est en cours d'implémentation et les phases de validation devraient intervenir pour la fin de l'année. Son utilisation permettra de réaliser des analyses comparatives entre différentes orientations de production et non de dresser un inventaire quantitatif précis des différents indicateurs considérés.

REMERCIEMENTS

Nous remercions la Direction Générale de l'Agriculture, des Ressources Naturelles et de l'Environnement (DGO3, Direction de la Recherche) pour leur financement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Aubry A., Quiniou N., Le Clozer Y., Querné M., 2004. Modélisation de la croissance et de la consommation d'aliment des porcs de la naissance à l'abattage : actualisation des coefficients appliqués aux critères standardisés de performances en Gestion Technico-Economique. Journées Rech. Porcine, 36, 409-422.
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., Robin P., Morvan Th., Hassouna M., Paillat J.M., Vertès F., 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. J. Clean. Prod., 15, 1395-1405.
- Bishoff O., Balard J., Pin A., Chauvat S., Dumonthier P., Serviere G., Dedieu B., 2008. L'organisation du travail en élevage. Enseigner la méthode Bilan-Travail. Educagri, Paris, 154 p.
- Flessa H., Beese F., 2000. Laboratory estimates of trace gas emissions following surface application or injection of cattle slurry. J. Environ. Qual., 29, 262-268.
- Frischknecht R., Jungbluth N., Althaus H., Doka G., Dones R., Heck T., Hellweg S., Hischier R., Nemecek T., Rebitzer G., Spielmann M., Wernet G., 2007. Ecoinvent 2.0: Overview and Methodology. Swiss Centre for Life-Cycle Inventories, Dübendorf, Switzerland.
- Gac A., Béline F., Bioteau T., Maguet K., 2007. A French inventory of gaseous emissions (CH₄, N₂O, NH₃) from livestock manure management using a mass-flow approach. Livest. Sci., 112, 252-260.
- Godden B., Luxen P., Oger R., Martin E., Destain J.P., 2011. VALOR* un logiciel pour l'optimisation des engrais de ferme à l'échelle de l'exploitation et de la parcelle. Proc. Conférence « 9^{ème} Livre Blanc Céréales », Gembloux, Belgium, pp. 19-28.
- Guinée J.B., Gorée M., Heijungs R., Huppes G., Kleijn R., de Koning A., van Oers L., Wegener Sleeswijk A., Suh S., Udo de Haes H. A., de Bruijn H., van Duin R., Huijbregts M.A.J., 2002. Handbook on life cycle assessment. Operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 692 p.
- Hunkeler D., 2006. Societal LCA methodology and case study. Int. J. LCA, 11, 371-382.
- Hunkeler D., Lichtenvort K., Rebitzer G. (eds), 2008. Environmental life cycle costing. SETAC, Taylor and Francis, USA, 191 p.
- ITP, 2000. Memento de l'éleveur de Porc. Institut Technique du Porc, Paris, 374 p.

- Jolliet O., Saadé M., Crettaz P., Shaked S., 2010. Analyse du cycle de vie. Comprendre et réaliser un écobilan. 2ème édition, Presses polytechniques et universitaires romandes, Italie, 302p.
- Jørgensen A., Le Bock A., Nazardikana L., Hauschild M., 2008. Methodologies for Social Life Cycle Assessment. *Int. J. LCA*, 13, 96-103.
- Kloepffer W., 2008. Life Cycle Sustainability Assessment of Products. State-of-the-Art. *Int. J. LCA*, 13, 89-95.
- Koch P., Gaillard G., Salou T., Paillier A., 2012. LCI-Dataset gap bridging strategies in the program Agri-Balyse. Proc. Conference "8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012)", Saint Malo, France, pp. 484-485.
- Langevin B., Basset-Mens C., Lardon L., 2010. Inclusion of the variability of diffuse pollution in LCA for agriculture: the case of slurry application techniques. *J. Clean. Prod.*, 18, 747-755.
- Nguyen T.L.T., Hermansen J.E., Mogensen L., 2011. Environmental Assessment of Danish Pork. Report no103. Aarhus Univ., Aarhus, Denmark, 33 p.
- Nielsen PH, Nielsen AM, Weidema BP, Dalgaard R, Halberg N, 2003. LCA food data base. www.lcafood.dk.
- Nitrawal, 2004. Eau - Nitrate - Informations et conseils techniques pour la gestion durable de l'azote. 124p.
- NRC, 1998. Nutrient Requirements of Swine. 10th ED. Natl. Acad. Press. Washington, DC, 189 p.
- Ramirez P.K.S., Petti L., 2011. Social Life Cycle Assessment: Methodological and implementation issues. *Ann. Stefan cel Mare Univ. Suceava*, 11, 11-17.
- Rigolot C., Espagnol S., Pomar C., Dourmad J.Y., 2010a. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O and CH₄ emissions. Part I: animal excretion and enteric CH₄, effect of feeding and performance. *Animal*, 4, 1401-1412.
- Rigolot C., Espagnol S., Roin P., Hossouna M., Béline F., Paillat J.M., Dourmad J-Y., 2010b. Modelling of manure production by pigs and NH₃, N₂O, and CH₄ emissions. Part II: effect of animal housing, manure storage and treatment practices. *Animal*, 4, 1413-1424.
- Roguet C., Rieu M., 2011. Evolution des modèles d'élevages de porcs dans les principaux pays producteurs de l'UE : enjeux et perspectives. Proc. Conference « 11^{ème} Journée Professionnelle des Productions Porcines et Avicoles », Gembloux, Belgium, pp.50-58.
- Sandars D.L., Audsley E., Cañete C., Cumby T.R., Scoford I.M., Williams A.G., 2003. Environmental benefits of livestock manure management practices and technology by life cycle assessment. *Biosyst. Eng.*, 84, 267-281.
- Sommer S.G., Maahn M., Poulsen H.D, Hjorth M., Sehested J., 2008. Interactions between phosphorus feeding strategies for pigs and dairy cows and separation efficiency of slurry. *Environ. Technol.*, 29, 75-80.
- UNEP/SETAC Life Cycle Initiative, 2011. Towards a Life Cycle Sustainability Assessment – Making informed choices on products. UNEP SETAC Life Cycle Initiative. 62 p.
- Van Stappen F., Delcour A., Gheysen S., Decruyenaere V., Stilmant D., Burny P., Rabier F., Goffart J.P., 2012. Assessment of existing and potential cereal food and non food uses by combining E-LCA and S-LCA. Proc. Conference "8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012)", Saint Malo, France, pp. 68-73.
- Webb J., Sommer S.G., Kupper T., Groenestein K., Hutchings N.J., Eurich-Menden B., Rodhe L., Misselbrook T.H., Amon B., 2012. Emissions of ammonia, nitrous oxide and methane during the management of solid manures, in: Lichtfouse E. (ED.), *Agroecology and Strategies for Climate Change*, 67-107. Sustainable Agriculture Reviews, 8, Springer, Netherlands.