

ECOALIM : une base de données sur les impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale

*Aurélie WILFART (1,2), Sylvie DAUGUET (3), Aurélie TAILLEUR (4), Florence GARCIA-LAUNAY (5,6),
Sarah WILLMANN (4), Marie LAUSTRIAT (3), Morgane MAGNIN (1,2,5), Armelle GAC (7), Sandrine ESPAGNOL (8)*

(1) INRA, UMR1069 SAS, 35042 Rennes, France

(2) Agrocampus Ouest, UMR1069 SAS, 35042 Rennes, France

(3) Terres Inovia, 33600 Pessac, France

(4) ARVALIS-Institut du végétal, 44370 la Chapelle Saint Sauveur, France

(5) INRA, UMR1348 PEGASE, 35590 Saint-Gilles, France

(6) Agrocampus Ouest, UMR1348 PEGASE, 35042 Rennes, France

(7) Institut de l'Elevage, Monvoisin, 35652 Le Rheu Cedex, France

(8) IFIP - Institut du porc, BP 35104, 35651 Le Rheu Cedex, France

aurelie.wilfart@rennes.inra.fr

ECOALIM : une base de données des impacts environnementaux des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale

La réduction des impacts environnementaux des produits animaux est un enjeu important pour les filières animales. Pour raisonner les stratégies de réduction des impacts, il est nécessaire de disposer des références fiables d'impacts environnementaux des matières premières utilisées pour l'alimentation animale. La base de données ECOALIM fournit les inventaires de cycle de vie et les impacts environnementaux des matières premières utilisées pour l'alimentation animale en France. Elle repose sur la méthodologie d'analyse du cycle de vie, et calcule les impacts changement climatique, eutrophisation, acidification, consommation d'énergie non renouvelable, consommation de phosphore et occupation des terres pour différents périmètres : sortie du champ, sortie d'organisme stockeur, sortie du port et sortie d'usine de production. Les données techniques de la période 2008-2012 ont été utilisées. La base de données contient 150 valeurs dont 58 matières premières moyennes, 27 valeurs de déclinaisons et 10 matières premières étrangères. Les impacts des matières premières moyennes sont en cohérence avec l'expertise et reposent sur des modélisations des inventaires plus complètes que celles de la base de données européenne AgriFootprint. Les leviers techniques considérés n'ont pas les mêmes effets sur les impacts des cultures de blé, maïs, colza, orge et tournesol. L'utilisation des leviers techniques doit être donc être raisonnée en accord avec les problématiques environnementales du territoire. La base de données ECOALIM repose sur des données précises et homogènes. Elle fournit pour la première fois l'ensemble des produits à faible taux d'incorporation ou innovants et permet ainsi de réaliser des formules complètes et d'explorer des formules d'aliments innovantes, prenant en compte des critères économiques et environnementaux.

ECOALIM: French database for the environmental impacts of feed ingredients for animal nutrition

Reducing the environmental impact of animal products is a major challenge for animal production chains. To handle strategies of impact mitigation, it is necessary to have accurate references on environmental impact of feed ingredients used in animal nutrition. The ECOALIM database provides life cycle inventories and environmental impact of feed ingredients utilized in France. Based on life cycle assessment methodology, it calculates the impacts on climate change, eutrophication, acidification, non-renewable energy use, phosphorus consumption and land use for different system boundaries: at the field gate, stored agencies gate, harbour gate, and plant gate. Technical data from 2008 to 2012 were utilized. The database contains 150 values including 58 national average feed ingredients, 27 variants and 10 foreign feed ingredients. The impacts of average feed ingredients are consistent with our expert knowledge and international bibliography, and rely on inventories modelling more exhaustive than the European database AgriFootprint. The utilization of technical leverages should be chosen in accordance with the environmental issue at the local level. The ECOALIM database relies on precise and homogenous data. It provides for the first time to our knowledge all the minor components and makes it possible to construct full formulas and to investigate innovative feed formulas accounting for economic and environmental criteria.

INTRODUCTION

Après avoir constaté les impacts des productions animales sur l'environnement (Steinfeld *et al.*, 2006), les travaux de la FAO ont également établi qu'il n'existe pas aujourd'hui d'alternative techniquement ou économiquement viable à la production animale intensive pour nourrir la planète (FAO, 2011). Il est pourtant nécessaire de réduire les émissions liées à l'élevage, et donc d'identifier des leviers d'atténuation (Gerber *et al.*, 2013).

En élevage de monogastriques, il est admis que la production des aliments distribués aux animaux contribue majoritairement (50-80%) aux impacts changement climatique, consommation d'énergie et eutrophisation (Basset-Mens et van der Werf, 2005 ; Espagnol *et al.*, 2012 ; Dourmad *et al.*, 2014). Au regard de son importante contribution, l'alimentation apparaît comme une voie incontournable pour diminuer l'impact de la production porcine et de l'élevage en général. Cela suppose de disposer de données d'impacts fiables pour les matières premières (MP) incorporées dans les aliments.

Différentes initiatives ont été engagées en France et en Europe pour constituer des bases de données d'inventaires de cycles de vie (ICV). La base de données française Agribalyse® (Koch et Salou, 2014) fournit des inventaires de cycle de vie pour les produits agricoles moyens français en vue de l'affichage environnemental. La base de données néerlandaise Agrifootprint (Durlinger *et al.*, 2014) utilisée dans l'outil FeedPrint propose des ICV et des résultats d'impacts pour des matières premières européennes, basés sur des données de la FAO ce qui ne permet pas une bonne représentativité des pratiques agricoles françaises. Agribalyse®, spécifique de la France, ne fournit pas aux utilisateurs la totalité des matières premières utilisées en formulation d'aliment.

Ainsi, la base de données ECOALIM propose de fournir les ICV et les valeurs d'impacts de l'ensemble des matières premières utilisées en France pour l'alimentation animale, en prenant en compte la diversité des itinéraires cultureux et des processus de transformation. Elle est donc conçue spécifiquement pour une utilisation par les fabricants d'aliments souhaitant incorporer un objectif environnemental dans leur processus de formulation.

Cette communication a pour objectif de présenter les principes méthodologiques retenus pour développer la base de données et d'illustrer son contenu par quelques exemples sur les principales cultures françaises.

1. MATERIEL ET METHODES

1.1. Principes généraux de l'analyse de cycle de vie (ACV)

L'ACV suit quatre étapes : la définition des objectifs et du champ de l'étude, la réalisation des inventaires de cycle de vie, la caractérisation et l'interprétation des résultats (ISO, 2006). Plusieurs périmètres (Figure 1) ont été retenus : sortie du champ, sortie d'organisme stockeur (OS), rendu dans un port français pour les matières premières étrangères et sortie d'usine de production (UP) pour les produits transformés. Le périmètre « sortie champ » est adapté aux cultures produites et utilisées pour la fabrication d'aliments à la ferme. Le périmètre « sortie OS » est pertinent pour les céréales utilisées par les fabricants d'aliments et le périmètre « sortie usine de production » pour les coproduits et les produits industriels (e.g. tourteaux, acides aminés). Le périmètre « sortie port » concerne les matières premières importées. L'unité fonctionnelle est le kilogramme de produit ou de matière première. La période temporelle des données s'étend de 2008 à 2012.

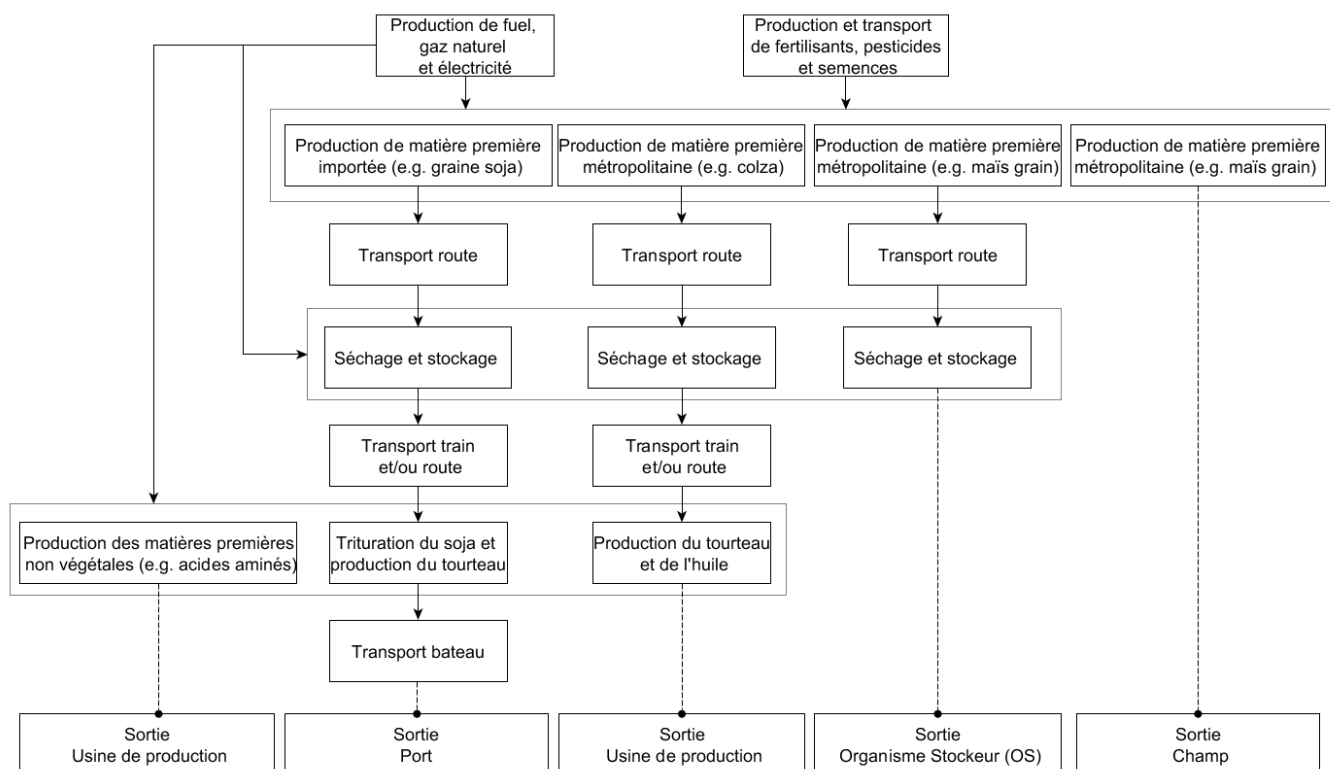


Figure 1 – Périmètres des inventaires selon les différents types de matières premières

1.2. Inventaires de cycle de vie

1.2.1. Cultures françaises

La méthodologie employée se base sur celle développée pour la base de données Agribalyse® avec des mises à jour et ajustements. Le facteur d'émission pour l'ammoniac (NH₃) est issu d'EMEP-CORINAIR (2013). La fertilisation phosphatée et le lessivage d'azote ont été calculés à l'échelle de la rotation et répartis entre les cultures de la rotation, en fonction des exportations et besoins des cultures pour le phosphore et à part égale entre les cultures pour le lessivage. Les itinéraires de production de semences ont été revus et précisés. La plage de données a évolué de 2005-2009 à 2008-2012.

Pour les grandes cultures produites en France, les inventaires moyens ont été obtenus à partir de statistiques agricoles françaises ; les inventaires par itinéraire technique sont basés sur l'agrégation de résultats d'une douzaine de cas types représentatifs de différents systèmes de production et issus de la fermothèque d'Arvalis-Institut du végétal.

1.2.2. Cultures étrangères

Les données d'inventaires concernant les rendements, les itinéraires culturaux et les prix sont issus de la bibliographie pour le soja brésilien (Prudêncio da Silva *et al.*, 2010), le blé anglais (Röder *et al.*, 2014), les sorgho et maïs USA (USDA, 2014), le palmier à huile malésien (Nemecek et Kägi, 2007 ; et Malaysian palm oil board, 2014), la cane à sucre du Pakistan (FAOstat, 2013) et le tournesol ukrainien (statistiques nationales complétées d'une enquête Terres Inovia). Les inventaires des ressources ont été réalisés selon Prudêncio da Silva *et al.* (2010) et Boissy *et al.* (2011). Les émissions ont été calculées avec la méthodologie IPCC (2006) pour les gaz à effet de serre et les résidus de récolte, Nemecek et Kägi (2007) pour le NH₃, les NO_x, les éléments trace métalliques et les phosphates, et Basset-Mens *et al.* (2007) pour les nitrates.

1.2.3. Produits industriels ou transformés

Les données de transformation des produits agricoles (processus de trituration, d'extrusion, de décortilage...)

proviennent de communications personnelles d'industries de transformation, sauf pour les huiles et les tourteaux d'oléagineux français et les matières premières étrangères (Ecoinvent v3.1).

Les inventaires des produits industriels sont issus de Garcia-Launay *et al.* (2014) pour les acides aminés, de données industrielles confidentielles pour les minéraux et de données Ecoinvent (Ecoinvent v3.1) adaptées au contexte français pour les vitamines et de l'ADIV pour les coproduits d'origine animale.

1.3. Analyse des inventaires

Les méthodes de caractérisation retenues dans ECOALIM pour le calcul des indicateurs d'impacts sont celles de l'ILCD (EC-JRC, 2012) (changement climatique (CC), eutrophisation (EU) terrestre, marine, eaux douces et acidification (AC)), CML IA (Pré Consultants, 2015), (occupation des terres (OT), eutrophisation, acidification, changement climatique) et Cumulative Energy Demand 1.8 (énergie totale et non renouvelable, CED). Un indicateur spécifique de consommation totale de phosphore a été inclus dans la liste des méthodes de caractérisation.

Le logiciel Simapro® version 8.0.5.13 a été utilisé pour les calculs d'impacts et la base de données attributionnelle (Ecoinvent v3.1), pour les données d'arrière plan (électricité, transport...).

2. RESULTATS ET DISCUSSION

La base de données ECOALIM comprend 150 valeurs dont 58 matières premières standards moyenne France (sortie champs, OS et usine de production) et 27 valeurs de déclinaisons pour différents itinéraires techniques culturaux (ITK) et différents process de transformation comme par exemple différents niveaux de décortilage. La base comprend également 10 matières premières étrangères transformées dans leur pays d'origine (rendues port France) ou transformées en France (sortie usine de production).

Tableau 1 – Valeurs d'impact pour les principales matières premières cultivées françaises, sortie organisme stockeur (OS), exprimées pour 1 kg de matière première

Matière première sortie OS	Changement climatique	CED non renouvelable,	Eutrophisation,	Acidification,	Occupation des terres,	Consommation de phosphore,
	kg CO ₂ eq. ILCD	MJ	kg PO ₄ ³⁻ eq CML	kg molc H+eq ILCD	m ² .an CML	kg P
Avoine	0,517	3,072	0,0051	0,0126	2,086	0,0036
Blé tendre	0,429	2,850	0,0037	0,0107	1,336	0,0041
Orge	0,391	2,707	0,0037	0,0095	1,483	0,0041
Maïs grain	0,464	4,472	0,0036	0,0134	1,229	0,0035
Sorgho	0,360	2,529	0,0036	0,0048	2,116	0,0052
Triticale	0,498	2,952	0,0053	0,0087	1,843	0,0026
Pois	0,192	2,207	0,0037	0,0025	2,321	0,0029
Féverole	0,189	1,696	0,0032	0,0020	1,989	0,0052
Graine de colza	0,938	5,485	0,0076	0,0210	3,120	0,0073
Graine de lin	0,933	6,269	0,0104	0,0191	5,530	0,0110
Graine de soja	0,300	5,084	0,0060	0,0034	3,811	0,0046
Graine de Tournesol	0,557	4,208	0,0088	0,0108	4,761	0,0066

2.1. Valeurs moyennes françaises

Les valeurs obtenues sont comparées à Agrifootprint, principale base de données actuellement disponible pour les fabricants d'aliments. Les différences constatées peuvent venir d'une part d'écart dans les itinéraires techniques de production des matières premières et, d'autre part, de choix méthodologiques ACV différents (périmètre, modèles).

Il est à noter que les différences de hiérarchies observées entre les deux bases ont forcément des conséquences sur les formules d'aliments optimisées qui prennent en compte des critères environnementaux. Il est donc primordial de mobiliser des données issues d'une même base, et représentatives des pratiques de production du pays.

Le tableau 1 présente les valeurs moyennes d'impact pour les principales céréales et les graines oléoprotéagineuses. L'impact CC des céréales varie entre 0,360 et 0,517 kg CO₂eq/kg. Ces valeurs sont dans les mêmes ordres de grandeur mais un peu plus élevées que celles disponibles dans la base de données européenne Agrifootprint. En effet, la base ECOALIM, contrairement à Agrifootprint, intègre dans ses inventaires les changements d'utilisation des terres en France (retournement de prairie, déforestation...) ainsi que les impacts de la production des engins agricoles et des produits phytosanitaires conformément aux principes de l'ACV. ECOALIM contient par ailleurs des matières premières absentes d'Agrifootprint pour les céréales (avoine et sorgho) et les graines oléoprotéagineuses (lin, féverole et soja français). Les valeurs du pois, du colza et du tournesol d'ECOALIM présentent la même hiérarchie que les valeurs d'Agrifootprint mais sont nettement inférieures, probablement en raison d'une modélisation différente des quantités de carburant consommées pour les pratiques culturales. Dans le cas du pois s'ajoute la quantité d'électricité nécessaire au séchage et l'impact CC associé qui est plus faibles dans ECOALIM.

La même logique de comparaison a été menée sur les autres catégories d'impact. Pour les céréales, la même hiérarchie est

retrouvée entre les deux bases de données pour CED, OT et EU mais pas pour AC. Les valeurs EU d'ECOALIM sont nettement plus faibles que celles d'Agrifootprint. En effet, Agrifootprint considère un apport systématique d'effluents organiques sur les céréales dont les quantités sont nettement supérieures aux pratiques moyennes françaises. De ce fait, l'impact AC du triticale est le plus élevé dans Agrifootprint et le plus faible dans ECOALIM. Pour les graines oléoprotéagineuses, la hiérarchie entre les MP est retrouvée dans les deux bases de données pour EU et OT mais pas pour CED et AC. Globalement pour CED, AC et EU, les valeurs sont nettement plus faibles dans ECOALIM. Les cultures minoritaires (triticale, avoine, sorgho, féverole, lin) ne sont présentes que dans ECOALIM.

Le tableau 2 présente les valeurs moyennes des impacts des co-produits des principales matières premières françaises et étrangères. Pour les co-produits du blé, on peut remarquer que toutes les valeurs d'impact des drêches sont environ 10 fois supérieures à celle du son de blé. En effet, les drêches sont issues des process de production de bioéthanol et le son de blé est issu du process de production de farine de blé. Ces deux process présentent une différence notable de niveau technologique qui explique les différences entre valeurs d'impact. Pour les graines oléoprotéagineuses, les impacts de l'huile de colza sont toujours nettement supérieurs à ceux du tourteau de colza, ce qui est cohérent avec l'allocation économique qui a été appliquée. Les impacts du tourteau de tournesol ukrainien sont toujours supérieurs aux valeurs du tourteau de tournesol français, principalement à cause d'un rendement de culture inférieur d'environ 30% à celui du tournesol français. La base de données Agrifootprint ne contient pas d'inventaire pour les co-produits de céréales et de graines oléo-protéagineuses françaises, ni aucune valeur d'impact pour les drêches. Les comparaisons ont été conduites avec les valeurs néerlandaises présentes dans cette base. L'impact changement climatique des co-produits de céréales ECOALIM varie de 0,077 à 0,879 kg CO₂eq/kg. Ces valeurs sont globalement inférieures aux valeurs néerlandaises d'Agrifootprint et la hiérarchie entre le tourteau de colza et le

Tableau 2 – Valeurs d'impact pour certaines matières premières transformées, sortie usine de production (UP), exprimées pour 1 kg de matière première

Matière première sortie UP ^{1,2}	Changement climatique, kg CO ₂ eq.	CED non renouvelable, MJ	Eutrophisation, kg PO ₄ ³ eq	Acidification, kg molc H+eq	Occupation des terres, m ² .an	Consommation de phosphore, kg P
Son de blé FR	0,0769	0,6816	0,0006	0,0019	0,2311	0,0007
Drêches blé FR	0,6195	9,6653	0,0058	0,0086	0,9832	0,0030
Drêche maïs FR	0,8791	13,0310	0,0068	0,0109	0,8777	0,0025
Drêche maïs US	0,6802	8,5764	0,0020	0,0090	0,7298	0,0029
Huile de colza FR	1,8806	13,3651	0,0140	0,0397	5,7653	0,0139
T. tournesol FR ³	0,2276	2,1728	0,0031	0,0039	1,6675	0,0024
T. tournesol UA	0,5572	4,1580	0,0054	0,0061	3,0122	0,0029
T. colza FR	0,3960	2,8145	0,0030	0,0084	1,2141	0,0029
T. soja BR	1,3930	8,6524	0,0046	0,0087	1,5526	0,0136
T. soja US	0,5084	6,7628	0,0054	0,0097	2,7885	0,0092
T. palmiste MY	2,9789	3,4959	0,0037	0,0089	0,8528	0,0014

¹ Origine : BR : Brésil, FR : France, MY : Malaisie, UA : Ukraine, US : Etats Unis. Abréviation T. : tourteau.

² Les matières premières FR sont « sortie usine de production ». Les matières premières étrangères sont « sortie port français ».

³ Graine de tournesol non décortiquée.

tourteau de tournesol est différente. Pour les autres impacts, la hiérarchie entre les matières premières est identique pour les deux bases de données pour AC et OT mais pas pour CED et EU. Dans tous les cas, ces différences de hiérarchie portent sur le tourteau de tournesol et le tourteau de colza. D'une façon générale, les valeurs d'impact sont plus faibles dans ECOALIM. Concernant les matières premières étrangères, les valeurs fournies dans la base de données ECOALIM sont cohérentes avec les références disponibles à l'international (van Middelaar *et al.*, 2013).

2.2. Prise en compte de la diversité des ITK et des procédés de transformation

Les données moyennes masquent des différences importantes d'ITK de production et de procédés de transformation. Or, la formulation se base sur un choix de matières premières, au détriment d'autres. Il a semblé important de compléter les données moyennes par des itinéraires de production spécifiques susceptibles de réduire les impacts environnementaux liés aux pertes d'azote (émissions de nitrates, d'ammoniac et de gaz à effet de serre) ou aux apports d'engrais azotés minéraux (contribution de leur production à la consommation d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre). Même si ces modes de production ne sont pas à ce stade évidents pour les fabricants d'aliments, ils constituent de véritables leviers agronomiques pour la réduction des impacts environnementaux de l'alimentation animale, au même titre que la substitution de matières premières dans la formulation. La figure 2 présente les valeurs d'impacts selon différents itinéraires culturaux pour le blé, le maïs, l'orge, le colza et le tournesol : introduction d'intercultures, de légumineuses dans la rotation, ou fertilisation organique. Ce sont en particulier des pratiques identifiées par l'expertise INRA (2014) comme pouvant contribuer à l'atténuation des émissions de gaz à effet de serre du secteur agricole. L'introduction de couvert de mélange crucifères et légumineuses a pour vocation de réduire les émissions de nitrate au cours de l'interculture et d'apporter de l'azote à la culture suivante par fixation symbiotique. L'introduction de légumineuses en culture principale permet également de réduire les apports d'engrais azoté minéral sur la

culture suivante. Enfin, l'apport d'engrais organique permet de réduire les quantités d'azote minéral apportées.

Un même levier peut conduire à des effets différents en fonction des cultures (Figure 2). En fonction des cultures et leviers, on a ainsi pu observer une réduction de l'impact CC de 0 à 18 %. L'impact CED a été réduit principalement du fait de la fertilisation organique (de 7 à 33% en fonction des cultures). Pour cet impact, les réductions observées étaient moins fortes que pour les autres leviers. On observe même une augmentation de l'impact CED du tournesol avec la couverture à l'interculture. L'impact EU a été réduit par cette dernière de 11 à 16% en fonction des cultures.

L'intégration de ces leviers a pu conduire à des effets opposés dans ces bilans (Figure 2). Ainsi, si la couverture du sol au cours de l'interculture a pu réduire l'impact EU du fait de la réduction de la lixiviation du nitrate, l'effet de la réduction des apports azotés minéraux sur les indicateurs CC et CED a été masqué par l'augmentation de la consommation carburant pour la gestion de ce couvert. L'effet de la réduction des apports azotés minéraux sur CC dans les scénarios avec fertilisation organique a été compensé par des apports azotés totaux supérieurs à ceux du scénario de base. En effet, la méthode utilisée (GIEC tier 1, (IPCC, 2006)) pour estimer les émissions de gaz à effet de serre au champ liées à la fertilisation prend en compte la quantité d'azote totale mais pas la forme, et ne tient pas compte du stockage de carbone dans les sols. Cela a pu conduire à un impact CC légèrement supérieur pour l'orge et le blé tendre avec le scénario fertilisation organique. L'effet de l'implantation de légumineuses en culture principale a réduit les impacts CC et CED du blé et du maïs uniquement du fait de la position de ces légumineuses dans la rotation. Cette insertion a augmenté faiblement les quantités de nitrate lixiviées de certaines rotations et ainsi conduire à une légère augmentation de l'impact EU de certaines cultures.

Selon les impacts environnementaux considérés, les leviers agronomiques étudiés n'ont pas les mêmes conséquences. Ainsi, les leviers à favoriser dans les formulations et à promouvoir sur le terrain doivent être adaptés aux problématiques environnementales des territoires.

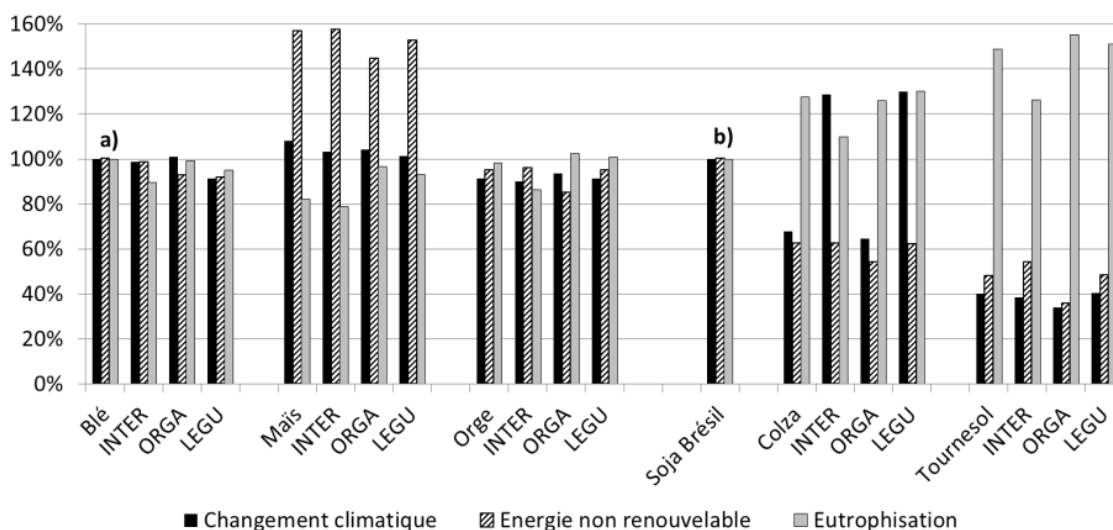


Figure 2 – Variation de certains impacts selon les itinéraires culturaux pour cinq cultures françaises (valeurs moyennes, INTER : couverture au cours de l'interculture, ORGA : fertilisation organique majoritaire, LEGU : introduction de légumineuses dans la rotation) : a) en base 100 par rapport au blé ; b) en base 100 par rapport à la graine de soja brésilienne (avec prise en compte de la déforestation)

CONCLUSION

La base de données ECOALIM fournit des données d'impact ACV qui ont été produites avec une méthodologie et des références harmonisées, en cohérence avec la dynamique française Agribalyse® ce qui permettra leur mobilisation dans un objectif d'affichage environnemental pour les produits animaux. Elle repose sur des données représentatives, récentes et variées en termes d'itinéraires de production. Elle fournit des données homogènes pour lesquelles les risques de double comptage et de non recouvrement des impacts sont minimes. Cette base construite avec les acteurs de la nutrition animale en France et les filières de production des matières premières contient les matières premières permettant de renseigner des rations complètes, avec des matières premières pour lesquelles il n'existait pas de référence disponibles auparavant. L'introduction de matières premières « innovantes » (encore minoritaires en terme de gisement) dans la base permettra de calculer les impacts environnementaux de formules d'aliment innovantes qui réduisent les impacts environnementaux.

L'évaluation de différents ITK de production souligne le travail de filière qui doit se mettre en place, avec des progrès réalisables à chaque étape et *in fine* valorisés au niveau des produits animaux.

Les différents périmètres disponibles sont adaptés à la diversité des utilisations et des approvisionnements existants dans la pratique : fabrication à la ferme, achat national et/ou à l'international, matières premières brutes ou transformées. La base ECOALIM constitue une opportunité pour le secteur de la nutrition animale et les fabricants d'aliments français pour réfléchir à la réduction des impacts environnementaux des aliments. En effet, la base Agrifootprint disponible pour l'Europe constitue une première information intéressante mais son utilisation dans un contexte français peut aboutir à des choix de matières premières erronés d'un point de vue environnemental, parce qu'elle repose sur des données moins précises qu'ECOALIM conduisant potentiellement à une hiérarchisation différente des matières premières.

La pérennité de la base de données ECOALIM, c'est-à-dire sa mise à jour avec des données d'itinéraires culturaux, de rendements et de process de transformation les plus récentes, dépend de l'adhésion et de la participation des professionnels du secteur. Ceci est d'autant plus important dans la perspective d'incorporation des données environnementales dans les Tables de composition et de valeurs nutritives des matières premières destinées aux animaux d'élevage éditées par l'INRA et l'AFZ. Cette future incorporation permettra également à la base ECOALIM de contribuer à l'enseignement supérieur et au développement.

REFERENCES BIBLIOGRAPHIQUES

- Basset-Mens C., van der Werf H., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agr. 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.
- Boissy J., Aubin J., Drissi A., van der Werf H.M.G., Bell G.J., Kaushik S.J., 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture*, 321, 61-70.
- Dourmad J.Y., Ryschawy J., Trousson T., Bonneau M., Gonzalez J., Houwers H., Hviid M., Zimmer C., Nguyen T., Morgensen L., 2014. Evaluating environmental impacts of contrasting pig farming systems with life cycle assessment. *Animal*, 8, 2027-2037.
- Durlinger B., Tyszler M., Scholten J., Broekema R., Blonk H., 2014. Agri-footprint; a life cycle inventory database covering food and feed production and processing. 9th International Conference LCA of Food San Francisco, USA 8-10 October 2014.
- EC-JRC, 2012. Characterisation factors of the ILCD recommended life cycle impact assessment methods. Database and supporting information (first ed.). European Commission, Joint Research Centre, Institute for Environment and Sustainability. 31 p.
- Ecoinvent-center. Ecoinvent Database v3.1 (2014). Swiss Centre for Life Cycle Inventories (2014) <http://www.ecoinvent.org/database/>
- EMEP CORINAIR, 2013. EEA air pollutant emission inventory guidebook. Technical guidance to prepare national emission inventories. 23 pp.
- Espagnol S., Rugani A., Baratte C., Roguet C., Marcon M., Tailleur A., Rigolot C., Dourmad J.Y., 2012. Environmental and socioeconomic references of French conventional pig systems. *Journées Rech. Porcine*, 44, 109-114.
- FAO, 2011. *World livestock 2011-Livestock in food security*. 115 p.
- 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.
- Gerber P.J., Steinfeld H., Henderson B., Mottet A., Opio C., Dijkman J., Faluccci A., Tempio G., 2013. Tackling climate change through livestock: a global assessment of emissions and mitigation opportunities. FAO.
- IPCC, 2006. Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/2006gl/vol4.html>
- ISO, 2006. International Standard ISO 14040: Environmental Management. Life Cycle Assessment. Principles and Framework.
- Koch P., Salou T., 2014. Agribalyse Rapport méthodologique – Version 1.1. Mars 2014. Ed ADEME, Angers, France. 386 pp.
- Nemecek T., Kägi T., 2007. Life cycle inventories of Swiss and European agricultural production systems. Final report Ecoinvent report v2.0, n°15. Agroscope Reckenholz-Taenikon Research station ART. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 308 p.
- Pré Consultants, 2015. *SimaPro Database Manual*. [online] <https://www.pre-sustainability.com/download/DatabaseManualMethods.pdf>.
- 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. Manag.*, 91, 1831-1839.
- Röder M., Thornley P., Campbell G., Bows-Larkin A., 2014. Emissions associated with meeting the future global wheat demand: A case study of UK production under climate change constraints. *Environ. Sci. Policy*, 39, 13-24.
- Steinfeld H., Gerber P., Wassenaar T., Castel V., Rosales M., Haan C.d., 2006. *Livestock's long shadow: environmental issues and options*. FAO Eds, 390 p.
- van Middelaar C.E., Cederberg C., Vellinga T.V., van der Werf H.M.G., de Boer I.J.M., 2013. Exploring variability in methods and data sensitivity in carbon footprints of feed ingredients. *Int. J. Life Cycle Ass.*, 18, 768-782.