

Auteurs : Simon Lehuger, Benoît Gabrielle

Titre : Evaluation environnementale de la substitution, en élevage bovin laitier, du tourteau de soja importé par du tourteau de colza produit localement

L'alimentation animale évolue vers de nouvelles pratiques respectant la qualité des produits, la sécurité sanitaire, la traçabilité de la chaîne alimentaire et l'environnement. Dans le cas de la production laitière, l'alimentation fourragère nécessite d'être complétée avec un concentré protéique. Or, aujourd'hui, en élevage laitier, le tourteau de soja est la principale source protéique utilisée dans la ration et il ne répond plus à ces nouvelles exigences. En effet, il est difficile de remonter sa filière d'approvisionnement.

Dans ce contexte, la mise en place de circuits de production locaux de concentrés protéiques assure une meilleure traçabilité des produits. Les protéagineux (pois, lupin, féverole) et les tourteaux d'oléagineux (colza, tournesol, lin) peuvent ainsi se substituer au tourteau de soja.

Les producteurs laitiers des Pays de la Loire souhaitent développer des filières courtes de ce type afin de remplacer le tourteau de soja dans la composition de leur ration. Ils devront alors assurer eux-mêmes la production d'oléo-protéagineux sur leurs exploitations ou localement. Un projet piloté par le CETIOM (Centre Technique Interprofessionnel des Oléagineux Métropolitains) se propose de répondre à cette attente. Ce projet a pour objectif :

- de mettre au point des méthodes alternatives de préparation de sources protéiques à partir d'oléo-protéagineux domestiques
- d'évaluer les caractéristiques zootechniques de ces tourteaux par rapport à un tourteau de soja
- d'évaluer la faisabilité économique globale de cette filière
- et d'établir un bilan environnemental.

Le projet a démarré en 2003 sous l'égide de l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole) avec la collaboration du CETIOM, de l'Institut de l'Élevage, de l'UNIP (Union Nationale Interprofessionnelle des Plantes riches en Protéines), de l'INRA (Institut National de Recherche Agronomique) et de TECALIMAN (Recherche en nutrition animale).

L'INRA « Environnement et Grandes Cultures » a été chargé de **l'évaluation environnementale de la substitution, en élevage bovin laitier, du tourteau de soja importé par du tourteau de colza produit localement** (Lehuger, 2005).

1- Les outils

1-1 L'analyse de cycle de vie : une méthode d'évaluation environnementale globale

Pour répondre à la question de départ, la méthodologie de l'analyse de cycle de vie a été retenue. L'analyse de cycle de vie est une méthode d'évaluation environnementale qui permet d'évaluer les impacts environnementaux associés à un produit ou à une activité. La

quantification des impacts résulte d'un bilan quantifié des ressources utilisées et des émissions vers l'environnement aux frontières du système d'étude. Ces flux de matière et d'énergie entrants et sortants du système sont ensuite interprétés en impacts sur l'environnement.

La démarche méthodologique de l'ACV est standardisée grâce à une série de normes ISO* 14 040 à 14 043 (ISO, 1997, 1998, 2000a, 2000b). Quatre étapes à suivre sont ainsi définies pour mener une ACV :

- 1- La définition de l'objectif et du champ de l'étude
- 2- L'analyse de l'inventaire
- 3- L'évaluation des impacts
- 4- L'interprétation

1-2 Le calcul des pollutions diffuses à l'échelle de la parcelle agricole

La phase d'inventaire des pollutions diffuses qui ont lieu à l'échelle de la parcelle agricole est particulièrement délicate. La méthode **Ecoinvent** développée par le *Centre suisse des inventaires de cycles de vie* (Nemecek *et al*, 2003) a permis de calculer les émissions polluantes vers l'air et les pertes vers l'eau.

2- La problématique

L'état des connaissances sur les analyses de cycle de vie de produits agricoles montre, d'une part, que l'étape de production agricole est celle qui présente **la part d'impacts environnementaux la plus importante** par rapport aux étapes de production des intrants, de transformation industrielle ou de transport (ADEME, 2002 ; E-U, 2000 ; Bernesson *et al*, 2004 ; Berlin, 2002 ; Hospido *et al*, 2003 ; Hogaas Eide, 2002). D'autre part, dans l'étape de production agricole (production de lait ou de viande), **la production des aliments concentrés présente une contribution majeure aux impacts environnementaux** (Casey *et al*, 2004 ; Cederberg, 1998 ; Cederberg *et* Flysjö, 2004a ; Cederberg *et* Flysjö, 2004b ; Van der Werf *et al*, 2005a ; Van der Werf, 2005b).

« L'évaluation environnementale de la substitution du soja importé par des oléoprotéagineux domestiques » s'insère dans cette problématique et est pertinente d'un point de vue d'objectifs de recherche, c'est ce à quoi nous tenterons de répondre à travers la question suivante :

Quelles pratiques alimentaires au sein des exploitations agricoles laitières contribuent à réduire les impacts sur l'environnement : l'auto-production de protéines végétales à partir du colza ou l'importation de soja ?

* International Organization for Standardization

3- La méthodologie

3-1 La construction des scénarii

Afin de comparer un état initial où le tourteau de soja est majoritairement utilisé dans les rations des vaches laitières à un état alternatif pour lequel du tourteau de colza est utilisé en tant que concentré protéique, des recherches bibliographiques et des entretiens ont permis de construire des scénarii d'étude.

Le scénario de référence « SOJA » a permis de remonter la filière du tourteau de soja jusqu'au Brésil afin de modéliser son cycle de vie.

Le scénario alternatif « COLZA »

Le scénario prospectif de développement de la culture de colza en Pays de la Loire est construit à partir des résultats fournis par les partenaires du projet.

3-2 La démarche globale

La substitution du tourteau de soja par du tourteau de colza dans les rations des vaches laitières a un effet sur **les niveaux d'ingestion des autres ingrédients** et sur **la production laitière**. Il est donc nécessaire de prendre en considération ces deux éléments dans notre analyse. Pour cela, le cycle de vie de chacun des ingrédients des rations doit être analysé puis les ingrédients sont agrégés en une ration journalière en fonction de leur niveau d'ingestion. Ensuite, les impacts environnementaux liés à la production d'une ration journalière sont pondérés par kg de lait standard afin de comparer la production d'une seule et même unité fonctionnelle. La démarche globale se déroule de la manière suivante :

- 1) Analyse d'inventaire pour chacun des ingrédients des rations
- 2) Calcul des émissions qui ont lieu au champ avec la méthode Ecoinvent et intégration à l'analyse d'inventaire des résultats retenus
- 3) Allocation de l'huile co-produite
- 4) Agrégation des ingrédients en une ration en fonction de leur niveau d'ingestion
- 5) Pondération des impacts par kg de lait standard
- 6) Comparaison des différents scénarii.

4- Les résultats

4-1 La définition de l'objectif et du champ de l'étude

4-1-1 L'objectif

L'objectif de l'étude est de comparer les performances environnementales de deux filières d'approvisionnement en concentrés protéiques dans les rations des vaches laitières : du tourteau de soja importé ou du tourteau de colza produit localement. Pour cela, les rations

des essais zootechniques servent de clé d'entrée au problème (Cf. tableau 1) (Brunschwig, 2004).

Tableau 1 : Les ingestions journalières des différentes rations

	Soja (kg MS)	Colza-ACP (kg MS)	Colza-PEP (kg MS)
Ensilage de maïs	16,58	16,44	16,57
Tourteau de soja	2,77		
Tourteau de colza ACP		4,97	
Tourteau de colza PEP			4,97
Tourteau de soja tanné	0,40	0,67	0,54
Urée	0,02		
A.M.V 7/21/5	0,20		
A.M.V 0/28/3		0,18	0,18
Carbonate de calcium	0,12	0,04	0,04
Total	20,10	22,30	22,30

A.M.V. : P (%)/Ca (%)/Mg (%) : Aliments Minéraux Vitaminés

MS : Matière Sèche

(Source : Brunschwig, 2004)

4-1-2 L'unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle retenue est :

« 1 kg de lait standard »

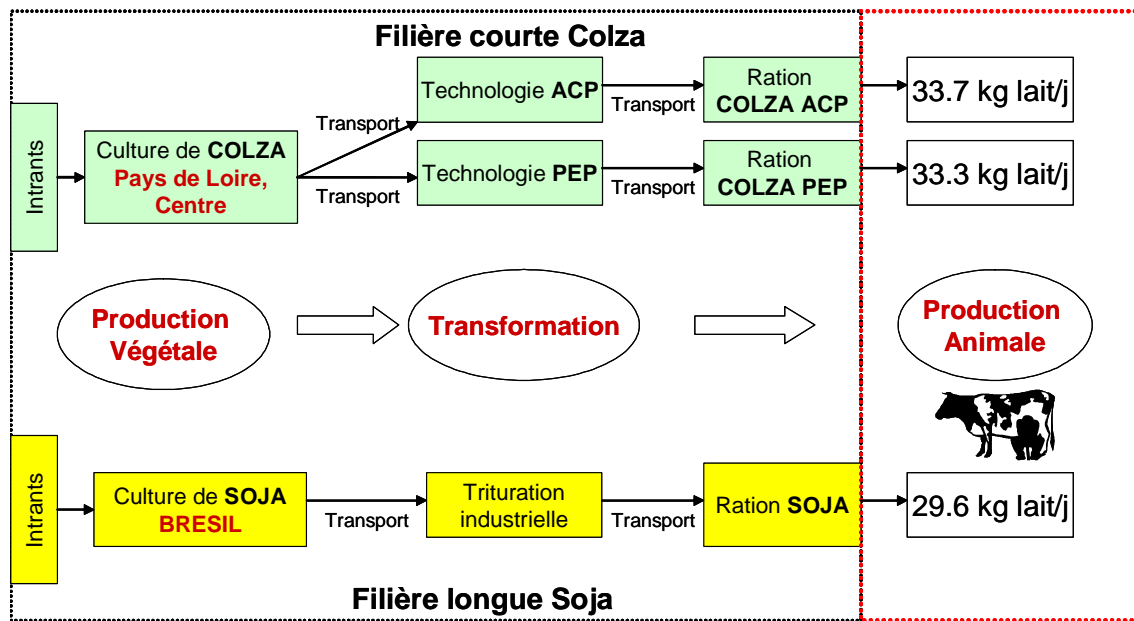
Les rations étudiées donnent chacune des résultats zootechniques différents : **29.6 kg de lait standard** pour la ration SOJA et **33.7 kg de lait standard** pour la ration COLZA. La standardisation du lait est réalisée grâce à la formule de Sjaunja *et al* (1990) :

$$\text{Kg lait standard} = \text{kg lait brut} * ((38.3 * \text{TB (g/kg)} + 24.2 * \text{TP (g/kg)} + 783.2) / 3140)$$

4-1-3 Le champ d'étude

Le champ d'étude comprend la production de chacun des ingrédients de la ration : maïs ensilage, tourteaux et compléments minéraux. Il s'étend de la production des intrants jusqu'à la fabrication de la ration chez l'éleveur. Les phases de transport et de transformation des graines en tourteau sont incluses au champ d'étude (Cf. figure 1).

Figure 1 : Représentation schématique du champ d'étude



L'étape de production animale est exclue du système d'étude car elle n'apparaît pas comme l'objectif prioritaire de cette étude. Les « émissions en cours d'élevage » sont donc supposées identiques quelque soit la ration alimentaire utilisée.

4-2 L'analyse de l'inventaire

4-2-1 L'allocation

Dans le cas du procédé de trituration, l'huile et le tourteau sont les deux co-produits résultant du traitement des graines d'oléo-protéagineux. Un partage des impacts est réalisé entre ces deux co-produits selon une **allocation massique** déterminée par les rendements d'extraction propres à chaque technologie :

- trituration industrielle : 80 kg de tourteau et 17 kg d'huile pour 100 kg de graines,
- trituration artisanale : 37,7 kg d'huile et 56,1 kg de tourteau pour 100 kg de graines.

4-2-2 L'inventaire des entrées et des sorties du système

Les étapes de production des intrants agricoles, de production végétale, de transformation des graines et les transports ont été inventoriées.

- **Les intrants agricoles**

La source de données concernant la production des intrants agricoles provient de la base de données Ecoinvent (Nemecek *et al.*, 2003) et concerne :

- les engrais minéraux et amendements
- les pesticides
- les semences
- et la mécanisation agricole.

- La production végétale

Les cultures nécessaires à la fabrication de la ration sont produites selon des itinéraires techniques spécifiques de la région d'étude (Cf. *tableau 2*).

Le colza est produit en Pays de la Loire selon deux itinéraires techniques :

-Un itinéraire technique « **laitier** » qui a lieu au sein d'une exploitation laitière et dont la fertilisation est assurée en majeure partie par les effluents d'élevage. Les données proviennent de la ferme expérimentale Arvalis de la Jaillière en Loire-Atlantique (44) (Gillet, 2005).

-Un itinéraire technique « **céréaliier** » qui a lieu au sein d'une exploitation céréalière et dont la fertilisation est assurée par des engrais minéraux. Ces données ont été fournies par le CETIOM sur la base d'enquêtes régionales (Charbonnaud et Arjauré, 2005).

Le soja est produit au Brésil en semis sous couvert végétal dans les conditions des cerrados. Les cultures de couverture souvent employées sont soit du millet soit du sorgho. Les données ont été fournies par le CIRAD ou sont issues de la bibliographie (Cederberg *et* Flysjö, 2004a ; Corbeels *et al*, 2004 ; Scopel *et al*, 2004 ; Seguy *et al*, 2001).

Tableau 2 : Le récapitulatif des différents itinéraires techniques

	Colza « laitier »	Colza « céréaliier »	Soja
Rendement	30 qx/ha	30 qx/ha	25 qx/ha
Fertilisation	40 m ³ de lisier + 70 kg N	150 kg N 70 kg P 100 kg K	8 kg N 31 kg P 57 kg K 50 kg chaux
Protection des plantes	2,4 kg de mat. active	2,5 kg de mat. active	1,6 kg de mat. active
Nombre de passages d'engins agricoles	11 passages	13 passages	7 passages

- La transformation

Les procédés de trituration artisanale des graines de colza et de trituration industrielle des graines de soja sont inventoriés. Pour cela, les consommations d'énergie, les intrants, les machines et les émissions sont prises en compte (Carré, 2005).

- Les transports

Le transport des graines et du tourteau ont été pris en compte depuis leur lieu de production jusqu'à leur lieu de consommation. Le soja est acheminé depuis le Brésil par cargo.

4-2-3 Les émissions au champ

Les émissions et les pertes vers l'environnement de matières polluantes doivent être inventoriées pour chaque culture. Les émissions vers l'air concernent les émissions d'oxyde nitreux (N₂O), d'oxydes d'azote (NO_x) et d'ammoniac (NH₃). Les pertes vers l'eau concernent les nitrates (NO₃⁻) et les phosphates (PO₄³⁻). Les valeurs d'émissions issues de la méthode de calcul Ecoinvent sont présentées dans le *tableau 3*.

Tableau 3 : Récapitulatif des émissions qui ont lieu au champ avec la méthode de calcul Ecoinvent

<i>En kg N ou P /ha</i>	Colza « laitier »	Colza « céréaliier »	Soja
NO₃⁻	62,7	60,3	36*
N₂O	1,6	1,8	1,8
NO_x	0,5	0,6	0,5
NH₃	16,3	3,0	0,2
PO₄³⁻	0,04	0,05	1,2*

*Les données concernant les pertes de nitrates et de phosphates pour le soja proviennent de données bibliographiques (Cederberg *et* Flysjö, 2004a)

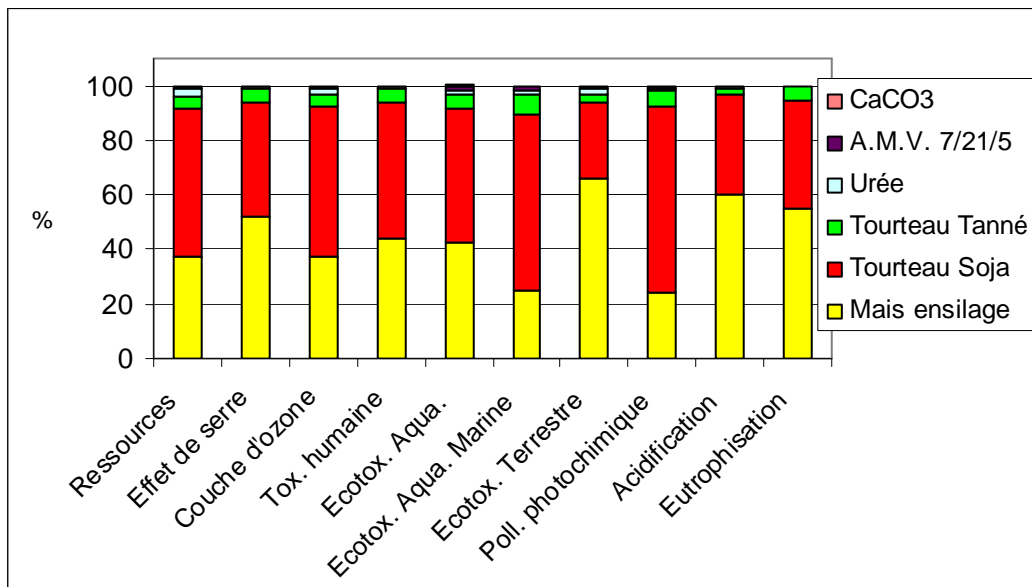
4-3- L'évaluation des impacts

Les données d'inventaire sont agrégées puis interprétées en impacts environnementaux. Les catégories d'impact prises en compte dans cette étude sont : *l'épuisement des ressources abiotiques, le réchauffement climatique, la déplétion de la couche d'ozone, la toxicité humaine, l'écotoxicité aquatique des eaux douces, l'écotoxicité aquatique marine, l'écotoxicité terrestre, la pollution photochimique, l'acidification et l'eutrophisation*. Elles sont calculées avec la méthode d'évaluation d'impacts CML 2000 développée par le centre d'études environnementales de l'université de Leiden (Pays-Bas).

4-3-1 La contribution des ingrédients de la ration aux catégories d'impact

A l'échelle d'une ration, malgré les quantités de tourteaux ingérées bien inférieures à celles du maïs ensilage, les impacts liés aux concentrés sont majoritaires quelque soit la ration. En effet, nous remarquons que pour la ration SOJA, le tourteau de soja contribue largement à chacune des catégories d'impact (excepté pour l'écotoxicité terrestre) (*Cf. figure 2*). De même, pour la ration COLZA, le tourteau de colza est l'ingrédient qui contribue le plus à toutes les catégories d'impact.

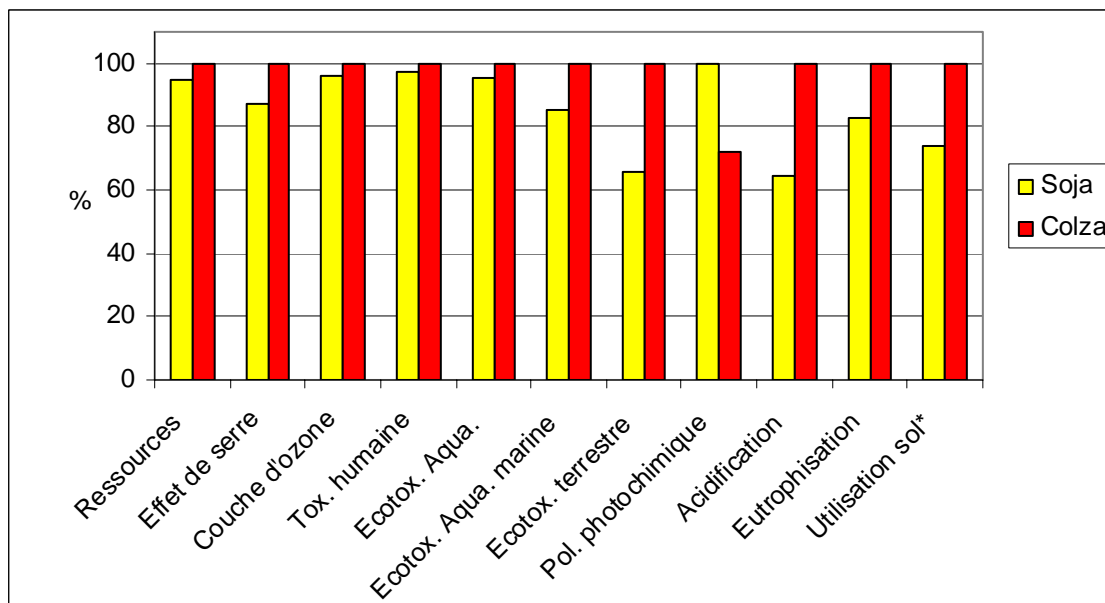
Figure 2 : Contribution des différents ingrédients de la ration SOJA aux catégories d'impact



4-3-2 Les résultats d'impact

Le scénario COLZA présente les valeurs d'impacts les plus élevées pour la plupart des catégories d'impact. Le scénario SOJA est seulement supérieur pour la pollution photochimique (Cf. figure 3).

Figure 3 : Comparaison des différentes catégories d'impact pour les scénarii SOJA et COLZA (normalisées en % par rapport à la valeur la plus élevée)



Malgré une production de lait plus élevée pour le scénario COLZA par rapport au scénario SOJA (33.7 vs 29.6 kg lait standard), les impacts environnementaux du scénario

COLZA sont supérieurs. La production de lait supérieure avec la ration COLZA ne permet pas de « diluer » suffisamment les impacts associés au tourteau de colza.

4-3-3 L'analyse de contribution des étapes et des émissions

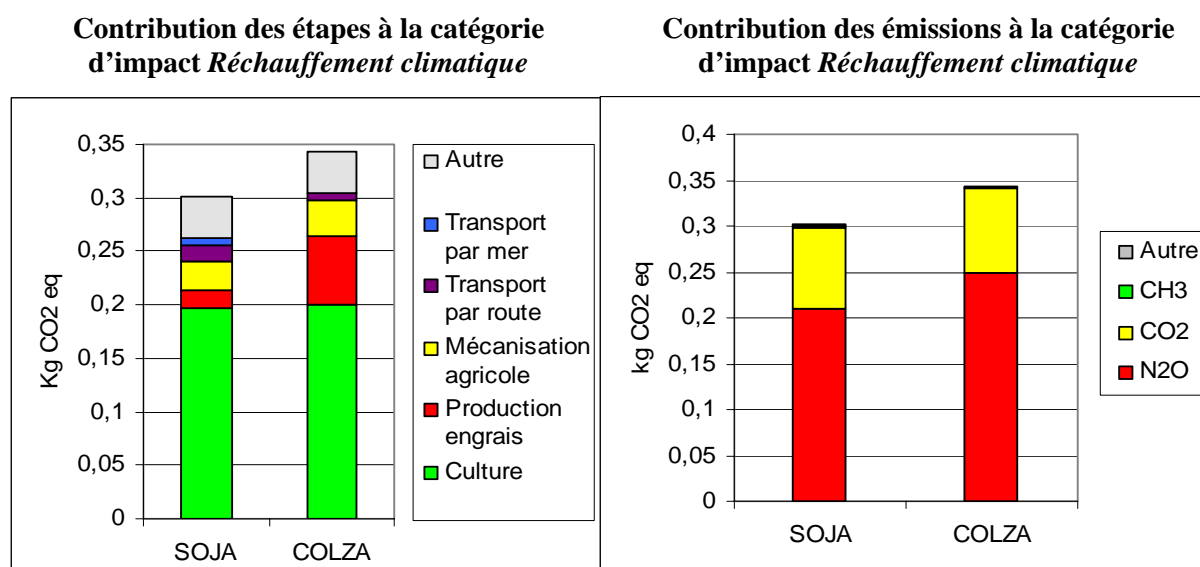
Une analyse de **la contribution des étapes** du cycle de vie et **des émissions** à l'élaboration des catégories d'impact permet de dégager les points critiques.

L'étape de culture contribue majoritairement aux catégories d'impact *réchauffement climatique*, *acidification*, *eutrophisation* et *utilisation du sol*, elles sont examinées plus finement dans les parties suivantes :

- **Le réchauffement climatique**

Dans cette étude, les émissions de N₂O participent de manière importante à la catégorie d'impact *réchauffement climatique*. Leurs émissions proviennent majoritairement de l'étape de culture (Cf. figure 4). Les transports par mer ou par route n'influencent pas les résultats comme on pouvait le penser. La différence entre les scénarii SOJA et COLZA provient des émissions dues à la production des engrais azotés. En effet, l'impact *réchauffement climatique* est supérieur pour le scénario COLZA en raison d'une consommation supérieure d'engrais azoté dans les itinéraires techniques du colza.

Figure 4 : Contribution des étapes et des émissions à la catégorie *Réchauffement climatique*

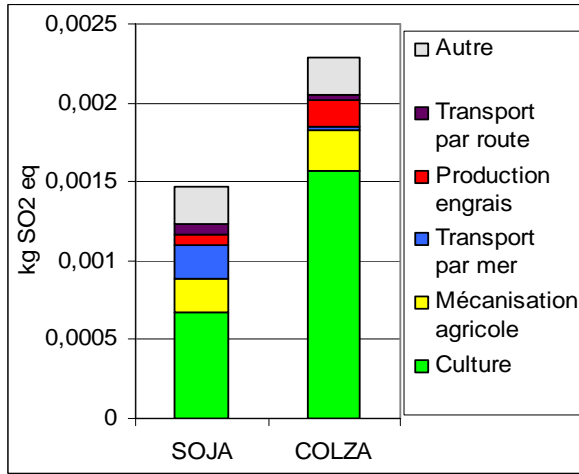


- **L'acidification**

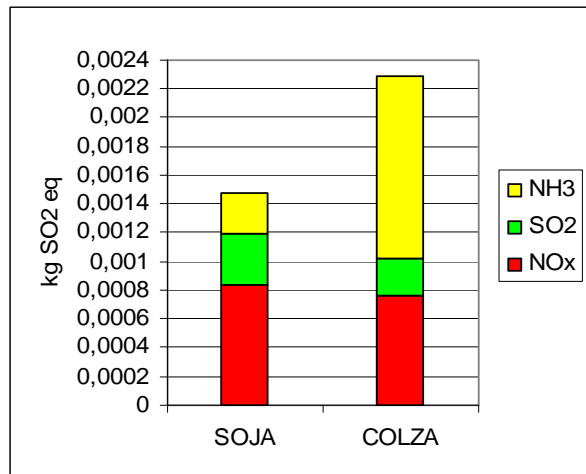
Le potentiel d'acidification est de $1,47 \cdot 10^{-3}$ kg SO₂-eq/UF pour le scénario SOJA et de $2,29 \cdot 10^{-3}$ kg SO₂-eq/UF pour le scénario COLZA. Les émissions plus élevées du scénario COLZA s'expliquent principalement par des émissions d'ammoniac pendant l'étape de culture (Cf. figure 5). Les **émissions d'ammoniac** ont lieu principalement pendant l'épandage de lisier de l'itinéraire technique du colza « laitier ».

Figure 5 : Contribution des étapes et des émissions à la catégorie *Acidification*

Contribution des étapes à la catégorie d'impact Acidification



Contribution des émissions à la catégorie d'impact Acidification

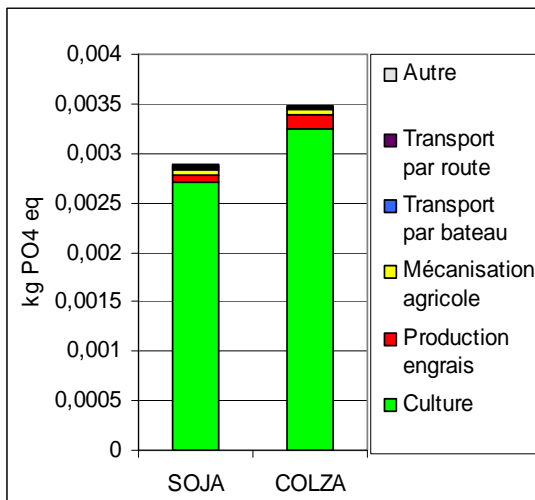


- L'eutrophisation

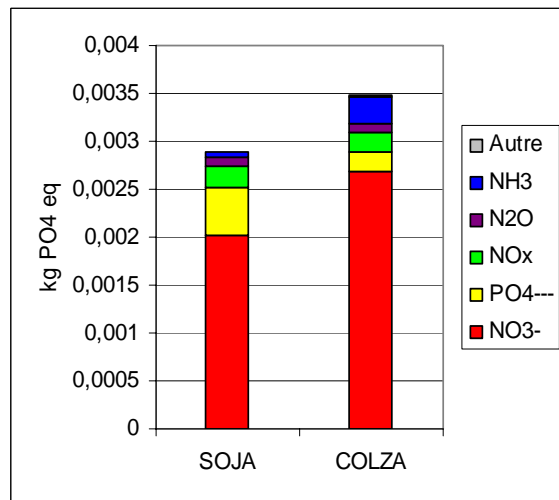
Dans notre étude, le scénario COLZA possède un potentiel d'eutrophisation supérieur à celui du scénario SOJA : $2,9 \cdot 10^{-3}$ kg PO4-eq vs $3,5 \cdot 10^{-3}$ kg PO4-eq. Les émissions qui ont lieu au champ expliquent cette différence (Cf. figure 6). En effet, les émissions de NO₃⁻, de N₂O et de NH₃ par UF sont supérieures pour le scénario COLZA.

Figure 6 : Contribution des étapes et des émissions à la catégorie Eutrophisation

Contribution des étapes à la catégorie d'impact Eutrophisation



Contribution des émissions à la catégorie d'impact Eutrophisation



- L'utilisation du sol

La surface occupée pour produire 1 kg de lait standard dans notre système d'étude est de **0.46 m².an** pour le scénario SOJA et de **0.63 m².an** pour le scénario COLZA. L'occupation du sol par les activités agricoles participe majoritairement à cet impact.

4-3-4 L'analyse de sensibilité

La robustesse des résultats d'impacts peut être testée en faisant varier les données d'entrée du modèle de cycle de vie.

L'analyse de différents itinéraires techniques sur les résultats d'impacts finaux montre que des marges de manœuvre sont possibles pour améliorer les performances environnementales du scénario COLZA. L'itinéraire technique du colza « laitier » présente des impacts inférieurs (excepté pour les catégories *acidification* et *eutrophisation*) à l'itinéraire technique « céréalier » en raison d'une moindre utilisation d'engrais minéraux de synthèse.

Le scénario SOJA présente également des marges de manœuvre importantes pour améliorer son indicateur *réchauffement climatique* en raison de sa capacité à séquestrer du carbone dans les sols agricoles.

4-4 L'interprétation

Le scénario SOJA est plus performant que le scénario COLZA du point de vue environnemental (excepté pour la pollution chimique), dans les limites du système d'étude.

Les catégories d'impact les plus pertinentes pour les ACV de produits agricoles : *Réchauffement climatique*, *Acidification*, *Eutrophisation* et *Utilisation du sol* sont toutes plus élevées pour le scénario COLZA. Des marges de manœuvre devront être adoptées pour améliorer les performances environnementales du colza.

La quantité **de lait produite supérieure dans le scénario COLZA** ne permet pas de « diluer » suffisamment les impacts environnementaux par UF. **L'ingestion plus élevée de tourteau dans le scénario COLZA** et les performances environnementales plus polluantes du colza par kg produit, expliquent ces écarts.

Par ailleurs, les **distances de transport importantes du tourteau de soja** n'induisent pas d'impacts aussi importants comme l'on pouvait s'y attendre.

Le scénario SOJA est donc plus performant que le scénario COLZA en raison :

- d'une ingestion moins élevée de tourteau par jour
- d'un rendement de tourteau supérieur pour un hectare de culture
- d'émissions au champ moins importantes
- d'une consommation moins élevée d'engrais de synthèse et d'intrants
- et d'un nombre d'opérations culturales moindre.

Conclusion

Pour l'alimentation des vaches laitières, l'utilisation de tourteau de soja importé du Brésil est plus « écologique » que l'utilisation de tourteau de colza produit localement. Aussi étonnant soit-il, cette étude le démontre grâce à l'utilisation de la méthodologie de l'analyse de cycle de vie.

Les itinéraires techniques du colza sont lourds en intrants ce qui défavorise leur performance environnementale. Ainsi, l'utilisation, pour l'alimentation animale, de légumineuses fixatrices d'azote et riches en protéines (comme le soja) semble plus pertinente d'un point de vue environnemental. Des recherches coordonnées sur les systèmes de culture à plus bas niveau d'intrants et sur leur maîtrise dans les rations alimentaires permettront d'obtenir des solutions **localement** plus efficaces.

Par ailleurs, la robustesse de ces conclusions pourra être testée en affinant les estimations des émissions polluantes qui ont lieu au champ en utilisant le modèle de culture (CERES-EGC) (Gabrielle *et al*, 1997) développé pour simuler les pollutions diffuses à l'échelle de la parcelle agricole.

Références

-**ADEME, DIREM, Ecobilan**, 2002. Bilan énergétiques et gaz à effet de serre des filières de production de biocarburants. Rapport technique.

-**Berlin J.**, 2002. Environmental life cycle assessment (LCA) of Swedish semi-hard cheese. International Dairy Journal 12 (2002), p 939-953.

-**Bernesson S., Nilsson D., Hansson P.A.**, 2004. A limited LCA comparing large- and small-scale production of rape methyl ester (RME) under Swedish conditions. Biomass and Energy 26 (2004). p 545-559.

-**Brunschwig P.**, 2004. Utilisation de tourteaux de colza domestiques par des vaches laitières. Comité pilotage 25/11/2004.

-**Brunschwig P.**, 2005. Synthèse Réunion de pilotage Juin 2005.

-**Carré P**, 2005. Etude d'avant-projet pour l'implantation d'une unité de trituration de colza utilisant des technologies traditionnelles pour une capacité de 4-8700t. CREOL.

-**Casey J. W., Holden N. M.**, 2004. Analysis of greenhouse gas emissions from the average Irish milk production system. Agricultural systems (2004) in press.

-**Cederberg C.**, 1998. Life Cycle Assessment of milk production, a comparison of conventional and organic milk. SIK report Nr 643. 86 p.

-**Cederberg C., Flysjö A.**, 2004a. Life Cycle Inventory of 23 Dairy Farms in South-Western Sweden. SIK report Nr 728. 63 p.

-**Cederberg C., Flysjö A.**, 2004b. Environmental assessment of future pig farming systems. SIK report Nr 723-2004. 54 p.

-**Charbonnaud et Arjauré**, 2005. Communication personnelle (Avril 2005). CETIOM

-**Corbeels M., Scopel E., Cardoso A., Douzet J-M, Bernoux M.**, 2005. Soil carbon sequestration potential of direct seeding mulch-based cropping systems in the Cerrados of Brazil. En préparation.

-**European Commission**, 2000. Bioenergy for Europe: Which ones fit best? – A Comparative Analysis for the Community. Final report.

-**Gabrielle B., Denoroy P., Gosse G., Justes E., Andersen M.N.**, 1997. Development and evaluation of a CERES-type model for winter oilseed rape. Field Crops Research 57. p 95-111.

-**Gillet J-P.**, 2005. Communication personnelle (Avril 2005).

- Hogaas Eide M.**, 2002. Life cycle assessment (LCA) of industrial milk production. *International Journal of LCA* 7. p 115-126.
- Hospido H., Moreira M.T., Feijoo G.** 2003. Simplified LCA of galician milk production. *International Dairy Journal* 13. p 783-796.
- ISO** International Standard 14 040, 1997. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Principes et cadres. International Organisation for standardisation (ISO), Genève, Suisse.
- ISO** International Standard 14 041, 1998. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Définition de l’objectif et du champ d’étude et analyse de l’inventaire. International Organisation for standardisation (ISO), Genève, Suisse.
- ISO** International Standard 14 042, 2000a. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Evaluation d’impact du cycle de vie. International Organisation for standardisation (ISO), Genève, Suisse.
- ISO** International Standard 14 043, 2000b. Management environnemental – Analyse du cycle de vie – Interprétation. International Organisation for standardisation (ISO), Genève, Suisse.
- Lehuger S.**, 2005. Evaluation environnementale, en élevage bovin laitier, de la substitution du tourteau de soja importé par du tourteau de colza produit localement. Application de l’analyse de cycle de vie. Mémoire de fin d’études d’ingénieur ESA d’Angers réalisé à l’INRA EGC. Grignon. 192 p.
- Nemecek T., Heil A., Huguenin O., Erzinger S., Blaser S., Dux D. and Zimmerman A.**, 2003. Life Cycle Inventories of Production systems. Final report Ecoinvent 2000 No 15. FAL Reckenholz, FAT Tänikon, Swiss Centre For Life Cycle Inventories, Dübendorf, CH, retrieved from www.ecoinvent.ch. 284 p.
- Scopel E., Fernando A.M. Da Silva, Corbeels M., Affholder F., Maraux F.**, 2004. Modelling crop residue effects on water use and production of maize under semi-arid and humid tropical conditions. *Agronomie* 24. p384-395
- Seguy L., Bouzinac S., Maronezzi A.C.**, 2002. Un dossier du semis direct, Systèmes de culture et dynamique de la matière organique. CIRAD-CA/SCV. <http://agroecologie.cirad.fr>.
- Sjaunja L.O., Baevre L., Junkkarinen L., Pedersen J., Setala J.**, 1990. A Nordic proposal for an energy corrected milk (ECM) formula. In: 27th session of the International Commission for Breeding and Productivity of Milk Animals, Paris.
- Van der Werf H. M.G., Petit J., Sanders J.** 2004. The environmental impacts of the production of concentrated feed : the case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems* 83 (2005). p 153–177.
- Van der Werf H. M.G.**, 2005. The evaluation of the environmental impacts of protein sources for concentrated feed. En préparation.