



**HAL**  
open science

## Simulation de leviers d'action permettant de réduire les émissions liées à la fertilisation

A. Gueudet, H. Bossuat, Marilys Pradel, A. Lellahi, A. Tailleur

### ► To cite this version:

A. Gueudet, H. Bossuat, Marilys Pradel, A. Lellahi, A. Tailleur. Simulation de leviers d'action permettant de réduire les émissions liées à la fertilisation. Ecotechs'2012, Oct 2012, Montoldre, France. 10 p. hal-00781955

**HAL Id: hal-00781955**

**<https://hal.science/hal-00781955>**

Submitted on 28 Jan 2013

**HAL** is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

## **SIMULATION DE LEVIERS D'ACTION PERMETTANT DE REDUIRE LES EMISSIONS LIEES A LA FERTILISATION**

Alice Gueudet<sup>1\*</sup>, Hervé Bossuat<sup>1</sup>, Marilys Pradel<sup>2</sup>, Afsaneh Lellahi<sup>3</sup>, Aurélie Tailleur<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ACTA, 149 rue de Bercy – Paris, F-75595, France

<sup>2</sup> Irstea, UR TSCF Technologies et systèmes d'information pour les agrosystèmes, Domaine des Palaquins – Montoldre, F-03150, France

<sup>3</sup> ARVALIS-Institut du végétal, Service Agronomie Economie Environnement, Boigneville, F-91720, France

\* Auteur correspondant : alice.gueudet@acta.asso.fr

### **Résumé**

Deux leviers d'action permettant de réduire les impacts environnementaux liés à la fertilisation des cultures ont été étudiés sur une rotation type de Champagne Crayeuse en utilisant la méthodologie ACV. L'objectif de l'étude est de quantifier, à l'échelle de la succession culturale, les effets de ces leviers sur quatre impacts choisis (réchauffement climatique, consommation d'énergie primaire, acidification, eutrophisation). Le premier levier simulé est l'introduction d'une culture intermédiaire piège à nitrates (CIPAN), seule ou en mélange avec une légumineuse, diminuant significativement le potentiel d'eutrophisation de la succession culturale de 10 à 14% par rapport à une situation de référence sans culture intermédiaire. Une augmentation de 7% de la consommation primaire a également été observée en présence de la CIPAN seule. Le second levier a permis de constater les variations d'impacts liées au passage d'une fertilisation 100% minérale à organo-minérale pour plusieurs produits organiques étudiés (lisiers, fumier, compost). Globalement, les potentiels d'acidification et d'eutrophisation ont tendance à augmenter (de 9 à 36% pour le premier impact, 8 et 17% pour le second) en fonction de l'effluent considéré. La consommation d'énergie primaire diminue dans le cas de l'utilisation des lisiers, de l'ordre de 7%. L'étude d'autres leviers, tels que l'enfouissement ou la localisation de l'apport, et impacts, tels que toxicité et qualité du sol, pourra, à terme, contribuer à élargir et éclairer les choix en termes de pratiques de fertilisation.

### **1. Introduction**

Dans le secteur agricole, plusieurs études ACV (communication personnelle, ARVALIS) montrent que le poste fertilisation contribue fortement à l'impact environnemental des cultures annuelles (céréales, oléoprotéagineux). Dans le cadre d'une action CASDAR menée conjointement entre l'ACTA, ARVALIS – Institut du végétal et Irstea, deux leviers d'action permettant de réduire les émissions liées à la fertilisation ont été identifiés et étudiés via des simulations utilisant des jeux de données. Le premier levier évalue l'effet de l'implantation d'une culture intermédiaire piège à nitrates, seule ou en mélange avec une légumineuse. Le second étudie l'effet d'un changement de forme d'engrais, dans le cadre d'un passage d'une fertilisation 100% minérale à organo-minérale pour le cas étudié. Les simulations reposent sur un cas-type construit à partir de données de la base des fermes-types ARVALIS, de références bibliographiques et d'experts.

L'objectif de cet article est de quantifier à l'échelle de la succession culturale les effets de ces leviers sur quatre impacts choisis : réchauffement climatique, consommation d'énergie primaire, acidification et eutrophisation.

A terme, les résultats de cette étude pourront être utilisés pour appuyer ou orienter des décisions en matière de pratiques de fertilisation.



La figure ci-dessous présente le scénario de référence (CC\_REF) avec les types de produits fertilisants et les quantités apportés. Les autres informations de l'itinéraire technique (travail du sol, protection des plantes etc.) ne seront pas détaillées et resteront constantes quel que soit le scénario étudié.

Scénario de référence (CC_REF)													
type d'apport		TSP et K2O	SA			SA	SA	AN		SA SA			
unités N-P2O5-K2O/ha		0-26-135	120-0-0			40-0-0	120-0-0	50-0-0		50-0-0 100-0-0			
		sol nu		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		sol nu		Orge de printemps	

**Figure 2 : Informations sur l'itinéraire technique de la rotation du cas-type Champagne Crayeuse relatives à la fertilisation des cultures pour le scénario de référence**

### 2.3.1 Levier « introduction d'une culture intermédiaire »

Le levier « introduction d'une culture intermédiaire » (ou levier CI) a été choisi compte tenu des effets d'espèces telles que les crucifères, nommées pièges à nitrates (ou CIPAN), sur les émissions de  $\text{NO}_3^-$  décrits dans des références bibliographiques (Collectif ARVALIS, 2011).

Les scénarios relatifs à ce levier simulent dans un premier temps l'effet de l'implantation d'une CIPAN de type crucifère (moutarde) et, dans un second temps, l'effet de l'implantation en mélange d'une crucifère et d'une légumineuse (moutarde et féverole).

La figure ci-dessous représente, pour les scénarios du levier CI, les types d'apport et quantités apportées ainsi que les espèces introduites pendant les périodes d'interculture précédant la betterave et l'orge de printemps dans le cas de l'introduction d'une CIPAN moutarde (CC\_CI\_cruci) et dans le cas d'un mélange moutarde et féverole (CC\_CI\_cruleg).

Scénarios levier CI												
CI moutarde (CC_CI_cruci)												
type d'apport		TSP et K2O	SA			SA	SA	AN		SA SA		
unités N-P2O5-K2O/ha		0-26-135	120-0-0			40-0-0	120-0-0	50-0-0		50-0-0 100-0-0		
		Moutarde		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		Moutarde	Orge de printemps	
CI mélange (CC_CI_cruleg)												
type d'apport		TSP et K2O	SA			SA	SA	AN		SA SA		
unités N-P2O5-K2O/ha		0-26-135	100-0-0			40-0-0	120-0-0	50-0-0		50-0-0 70-0-0		
		Moutarde+Fév		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		Mout+Fév	Orge de printemps	

**Figure 3 : Informations sur l'itinéraire technique de la rotation du cas-type Champagne Crayeuse relatives à la fertilisation des cultures et l'implantation des CI pour les deux scénarios du levier CI**

Pour le scénario avec CI moutarde, les quantités d'engrais sont identiques à celles apportées pour le scénario de référence car il a été considéré que la moutarde n'avait pas d'effet sur la nutrition azotée de la culture principale suivante mais plutôt sur les quantités d'azote lessivées au champ, informations qui ne sont pas détaillées sur la figure.

Les hypothèses formulées sur la réduction des apports azotés de fertilisant par rapport au scénario de référence ont été validées par un expert.

### 2.3.2 Levier « changement de la forme d'engrais »

Les scénarios relatifs au levier « changement de la forme d'engrais » (ou Levier engrais) étudient les conséquences d'un changement de forme d'engrais, ici 100% minérale à organo-minérale avec différents types de produits organiques.

Plusieurs modèles évaluant les émissions liées à la fertilisation des cultures ( $\text{NH}_3$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{NO}_3^-$ ) proposent des facteurs d'émissions différents en fonction de la forme d'engrais appliquée (EMEP/EEA, IPCC et DEAC).

Il est alors intéressant d'étudier ce levier d'action pour connaître les impacts de la fertilisation organique par rapport à la fertilisation tout minérale à l'heure où l'on souhaite valoriser de plus en plus le potentiel agronomique des effluents.

<b>Scénarios levier engrais</b>									
Engrais orga+min lisier de bovin (CC_eng_lisbovP)									
type d'apport		lisier bovin SA				SA SA AN		SA SA	
unités N-P2O5-K2O/ha		38-26-82 82-0-0				40-0-0 120-0-0 50-0-0		50-0-0 100-0-0	
sol nu		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		sol nu Orge de printemps	
Engrais orga+min lisier de porc (CC_eng_lisporcP)									
type d'apport		lisier porc SA				SA SA AN		SA SA	
unités N-P2O5-K2O/ha		31-26-31 89-0-0				40-0-0 120-0-0 50-0-0		50-0-0 100-0-0	
sol nu		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		sol nu Orge de printemps	
Engrais orga+min fumier de bovin (CC_eng_fumbovP)									
type d'apport		fumier bovin SA				SA SA AN		SA SA	
unités N-P2O5-K2O/ha		7-26-109 113-0-0				40-0-0 120-0-0 50-0-0		50-0-0 100-0-0	
sol nu		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		sol nu Orge de printemps	
Engrais orga+min compost de fumier de bovin (CC_eng_compfbovP)									
type d'apport		compost fumier bovin SA				SA SA AN		SA SA	
unités N-P2O5-K2O/ha		2-26-73 118-0-0				40-0-0 120-0-0 50-0-0		50-0-0 100-0-0	
sol nu		Betterave		sol nu		Blé tendre d'hiver		sol nu Orge de printemps	

**Figure 4 : Informations sur l'itinéraire technique de la rotation du cas-type Champagne Crayeuse relatives à la fertilisation des cultures et l'implantation des CI pour les scénarios du levier engrais**

Quatre produits organiques ont été traités, le lisier de bovin (CC\_eng\_lisierbovP), le lisier de porc (CC\_eng\_lisierporcP), le fumier de bovin (CC\_eng\_fumbovP) et le compost de fumier de bovin (CC\_eng\_compfbovP). Les données qui ont permis de mettre en place les scénarios sont les compositions en NPK des produits (Levasseur 2005, Quideau et al., 2010).

## 2.4 Choix méthodologiques

### 2.4.1 Hypothèses simplificatrices

Plusieurs hypothèses simplificatrices ont été utilisées. L'une d'entre elles concerne le rendement des cultures. Quel que soit le scénario étudié, le rendement des cultures ne varie pas par rapport au scénario de référence et est ainsi égal à la valeur fournie dans la base de données des fermes-types ARVALIS.

Il a également été considéré qu'en présence d'une culture intermédiaire de type crucifère-légumineuse, les quantités lessivées seraient obtenues en faisant la moyenne des quantités d'azote lessivées en situation de sol nu et en présence d'une crucifère seule.

De plus, un apport d'azote provenant de l'effet fertilisant de la légumineuse à la culture principale suivante a été pris en compte engendrant ainsi des impacts évités.

Concernant le levier engrais, le raisonnement de la fertilisation organique s'est fait sur l'élément limitant phosphore avec apport minéral pour compléter les besoins en azote d'après les préconisations courantes en agriculture (Bodet et al., 2001).

### 2.4.2 Allocations

Les résultats sont présentés à la rotation afin de s'affranchir des problèmes d'allocation rencontrés à l'échelle de la culture.

Concernant l'allocation entre atelier animal et atelier végétal dans le cas d'un échange de service entre ces deux ateliers, aucune allocation ou extension du système n'a été effectuée. La partie amont correspondant à la fabrication et au transport jusqu'au lieu de stockage de l'engrais organique n'a ainsi pas été prise en compte.

### 2.4.3 Choix des modèles d'émission

Les modèles estimant les émissions de polluants vers l'environnement lors de l'application au champ des produits fertilisants ont été choisis en fonction de la disponibilité des données et de la pertinence des modèles. Ils sont récapitulés dans le tableau ci-dessous.

Emissions	Modèles
N <sub>2</sub> O	IPCC 2006 (IPCC et al., 2006)
NH <sub>3</sub> de la fertilisation minérale	EMEP/EEA 2006 Tier 1 (EMEP/EEA 2006)
NH <sub>3</sub> de la fertilisation organique	EMEP/EEA 2009 Tier 2 (EMEP/EEA 2009)
NO de la fertilisation minérale	IFA-FAO (IFA-FAO, 2003)
NO de la fertilisation organique	IFA-FAO (IFA-FAO, 2003)
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	DEAC (Communication personnelle GILLET J.-P. 2011)
P	SALCA-P (Nemecek et al., 2007)

**Tableau 1 : Tableau récapitulatif des modèles d'émission utilisés pour calculer les émissions directes liées à la fertilisation des cultures et indicateurs d'impacts auxquelles ces émissions contribuent**

### 2.4.4 Choix des modèles de caractérisation et calcul des indicateurs d'impact

Quatre indicateurs d'impact ont été choisis pour l'étude : réchauffement climatique, consommation d'énergie primaire, acidification et eutrophisation. Bien que les émissions de particules et d'éléments traces métalliques issues de l'apport de produits fertilisants contribuent de manière importante à des indicateurs tels que « toxicité » et « écotoxicité », il a été décidé de ne pas les étudier. En effet, il a été considéré que les modèles de caractérisation pour ces catégories d'indicateur n'étaient pas encore assez robustes d'une part, et que les leviers d'action étudiés n'avaient pas d'action sur les quantités d'éléments traces métalliques contenues dans les effluents d'autre part.

Indicateur	Méthode de calcul ou facteurs et modèles de caractérisation utilisés	Emissions contribuant à l'impact	Unité
Gaz à effet de serre/Réchauffement climatique	avec le pouvoir de réchauffement global à 100 ans de chaque gaz du modèle IPCC 2006	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O	kg CO <sub>2</sub> éq./UF
Energie primaire	somme des MJ nécessaires à chaque étape du cycle de vie	-	MJ/UF
Acidification	avec les facteurs de caractérisation du modèle CML (Guinée et al., 2001)	NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	kg SO <sub>2</sub> éq./UF
Eutrophisation	avec les facteurs de caractérisation du modèle CML (Guinée et al., 2001)	NH <sub>3</sub> , NO <sub>x</sub> , N, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , P	kg PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> éq./UF

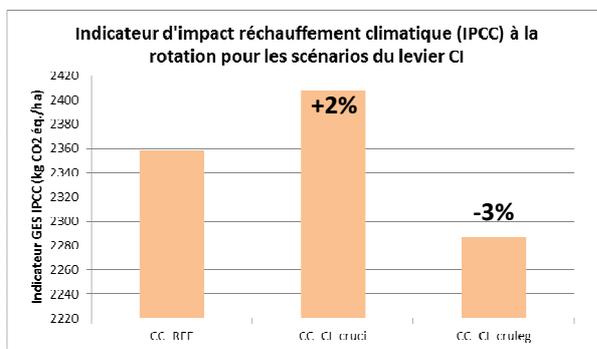
**Tableau 2 : Tableau récapitulatif des modèles de caractérisation choisis et des émissions prises en compte pour calculer les indicateurs d'impact étudiés**

Afin de calculer les valeurs des indicateurs d'impact, une calculatrice Excel destinée à l'usage interne d'ARVALIS - Institut du végétal a été utilisée. Elle permet de calculer les impacts GES et la consommation d'énergie primaire de cultures à partir des données de l'itinéraire technique. Cette calculatrice est construite à partir de différentes sources de données, notamment des données sur la production des engrais minéraux actualisée en 2007 à la suite du projet GES'tim (Gac et al., 2010), des données actualisées du parc matériel et de données de références bibliographiques (Nemecek et al., 2007 notamment). La calculatrice Excel a été étendue au calcul des impacts acidification et eutrophisation à l'aide de données provenant principalement de la référence Nemecek et al., 2007 dans l'attente de la mise à disposition de données actualisées pour ces catégories d'indicateurs.

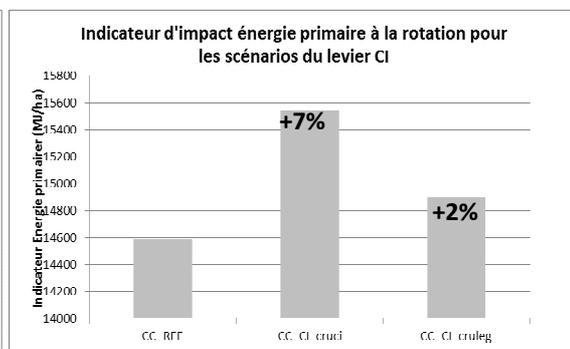
### 3 Résultats et discussion

Les résultats sont présentés à l'échelle de la rotation. Ils ont été obtenus en faisant la moyenne des valeurs des indicateurs d'impact des cultures de la rotation. Les pourcentages sur les graphiques représentent la variation de l'indicateur considéré par rapport à l'indicateur de référence.

#### 3.1 Pour le levier « introduction d'une culture intermédiaire »



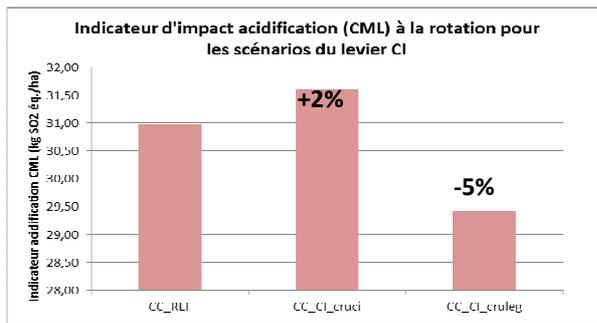
**Figure 5** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact réchauffement climatique (Lever CI)



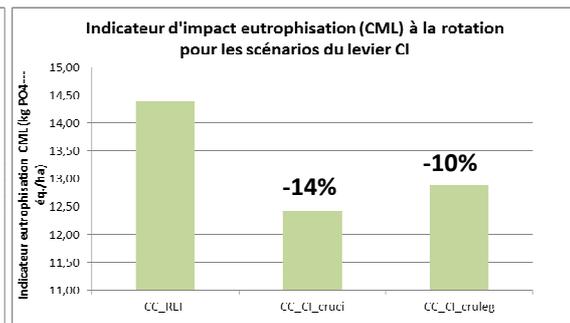
**Figure 6** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact consommation d'énergie primaire (Lever CI)

Les variations ne sont pas significatives quel que soit le scénario considéré pour l'indicateur d'impact réchauffement climatique (figure 5). L'économie d'engrais minéral liée à la prise en compte d'un apport d'azote par la légumineuse n'est pas assez important pour générer une réduction d'impact significative.

Concernant l'indicateur de consommation d'énergie primaire (figure 6), les variations sont significatives mais faibles uniquement pour le scénario crucifère. Ce constat est à mettre en lien avec l'énergie supplémentaire nécessaire à l'implantation et la destruction de la moutarde. Concernant le scénario mélange, une compensation entre l'énergie nécessaire à la mise en place des espèces et l'énergie évitée liée à la diminution de l'apport azoté minéral compensé par l'effet fertilisant de la féverole explique cette faible variation.



**Figure 7** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact réchauffement climatique (Levier CI)

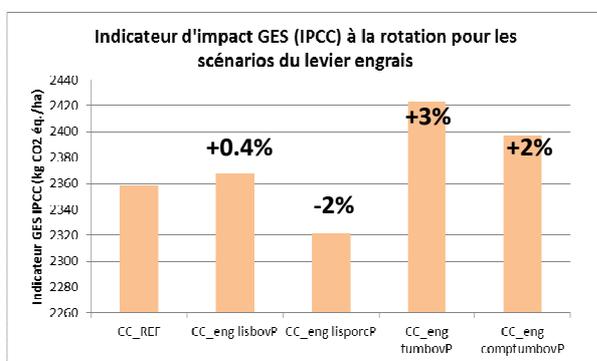


**Figure 8** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact réchauffement climatique (Levier CI)

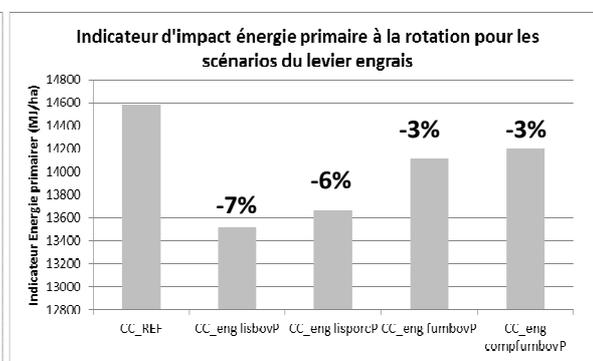
Seul le scénario mélange de l'indicateur d'impact acidification (figure 7) présente une variation significative par rapport au scénario de référence. Celle-ci est faible et s'explique par des émissions de NH3 et NO au champ moindres dus à l'économie d'engrais minéral dans le scénario mélange par rapport au scénario de référence.

L'indicateur d'impact eutrophisation (figure 8) est celui qui présente les variations les plus importantes avec 14% de réduction d'impact pour le scénario crucifère seule et -10% pour le scénario mélange par rapport au scénario de référence. Ces résultats sont à associer à l'effet piège à nitrate des crucifères durant les intercultures précédant la betterave et l'orge de printemps. La réduction de l'impact eutrophisation pour le scénario en mélange est plus faible que dans le cas d'une implantation de crucifère pure car l'azote lessivé en présence d'une légumineuse associée à une crucifère piège à nitrates correspond à une situation intermédiaire entre un lessivage en situation de sol nu et un lessivage en présence d'une crucifère seule, d'après l'hypothèse faite (cf. 2.4.1).

### 3.2 Pour le levier « changement de la forme d'engrais »



**Figure 9** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact réchauffement climatique (Levier engrais)

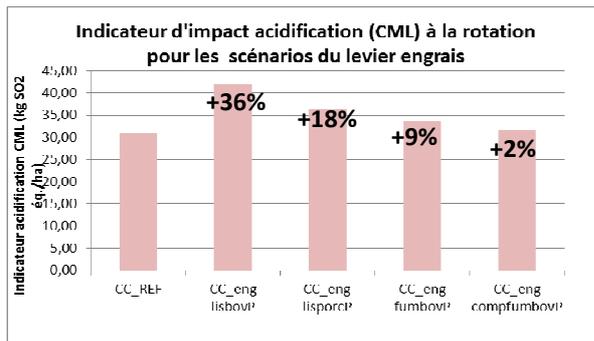


**Figure 10** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact consommation d'énergie primaire (Levier engrais)

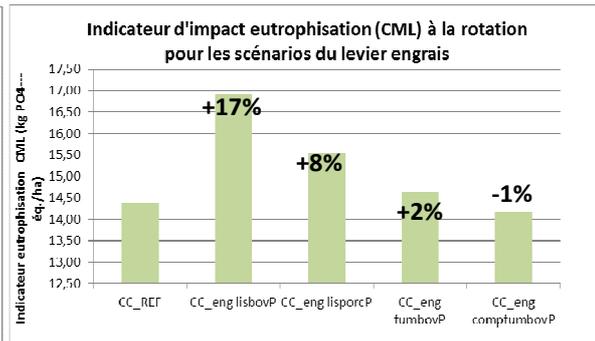
Pour ce levier également, les variations ne sont pas significatives quel que soit le scénario considéré pour l'impact réchauffement climatique (figure 9). On observe un effet compensatoire entre la diminution des émissions de gaz à effet de serre liées à la production évitée de l'engrais minéral et l'augmentation des émissions liées au phénomène de dénitrification.

Concernant l'impact de la consommation d'énergie primaire (figure 10), les variations sont faibles mais significatives en passant d'une fertilisation 100% minérale à organo-minérale avec épandage de lisier (lisier de bovin et lisier de porc). Dans ces deux cas, l'économie d'engrais a permis de diminuer significativement la consommation d'énergie primaire du système.

Cependant il est important de nuancer ces observations car la non prise en compte de la fabrication de l'engrais organique, contrairement aux engrais minéraux, rend difficile la comparaison.



**Figure 11** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact acidification (Levier engrais)



**Figure 12** : Résultats et variations concernant l'indicateur d'impact eutrophication (Levier engrais)

L'indicateur d'impact acidification (figure 11) présente des variations significatives sauf dans le cas de l'épandage de compost de fumier de bovin. L'utilisation de lisier de bovin augmente l'impact de 36% par rapport au scénario de référence sans apport organique. Cette augmentation est plus faible en considérant un apport de lisier de porc (+18%) et encore moindre en considérant un apport de fumier de bovin (+9%). Ces différences sont à mettre en relation avec le contenu en azote ammoniacal (ou TAN) des produits qui correspond à la fraction d'azote directement disponible par la culture et qui est beaucoup plus élevé pour les lisiers générant ainsi d'importantes émissions d'ammoniac (selon le modèle EMEP/EEA dont les émissions sont proportionnelles à la dose d'azote apportées).

Concernant l'indicateur d'impact eutrophication (figure 12), les variations sont significatives pour le scénario avec apport de lisier de bovin (+17%) et le lisier de porc (+8%). Ces augmentations s'expliquent également par les TAN des lisiers simulés qui génèrent des émissions d'ammoniac très importantes, ces dernières entrant dans le calcul de l'indicateur d'impact eutrophication CML.

De plus, le raisonnement de la fertilisation ayant été effectué sur l'élément phosphore, les volumes calculés de fumiers et de composts étaient relativement faibles par rapport aux volumes de lisiers épandus. Il a donc fallu compenser le manque d'azote par des quantités d'engrais minéral assez élevées ce qui n'a pas permis de différencier les scénarios avec apport de compost de fumier de bovin et le scénario de référence en particulier.

Les résultats du levier engrais sont calculés à partir des résultats des trois cultures de la rotation pour un changement de forme d'engrais effectué uniquement sur une culture de la rotation, la betterave. Pour certains indicateurs d'impact, les variations seraient plus marquées en considérant le système betterave seul.

De plus, d'autres leviers existants n'ont pu être simulé tel que l'enfouissement des produits après épandage, connu pour diminuer les émissions d'ammoniac au champ.

Il est important d'insister sur le fait que, pour aucun scénario et aucun levier, l'indicateur d'impact réchauffement climatique n'a montré de variations significatives par rapport au scénario de référence. Le modèle IPCC utilisé pour le calcul de cet indicateur ne prend en compte que les apports d'engrais minéral et organiques, en se basant sur le contenu total en azote et non l'azote disponible pour ce dernier.

## 4 Conclusion

Deux leviers d'action permettant de réduire les émissions liées à la fertilisation ont été étudiés en se basant sur un cas-type situé en Champagne Crayeuse pour une rotation de type betterave, blé tendre d'hiver, orge de printemps. Pour chacun de ces leviers, différents scénarios ont été simulés. Les résultats ont été présentés à l'échelle de la rotation afin de s'affranchir des problèmes d'allocation rencontrés à l'échelle de la culture.

Le premier levier « introduction d'une culture intermédiaire » simule deux types d'implantation permettant de quantifier l'effet d'une CIPAN pure ou mélangée avec une légumineuse sur les quatre indicateurs d'impact étudiés. Les résultats comparés entre les indicateurs obtenus pour les deux scénarios par rapport au scénario de référence montrent que ce levier diminue significativement le potentiel d'eutrophisation sur la rotation de l'ordre de 10 à 14%. Cette diminution est à mettre en lien avec des quantités d'azote lessivées moindre sous l'action piège à nitrates de la crucifère. Les variations sont cependant faibles et très souvent non significatives pour les autres indicateurs d'impact. Il est toutefois intéressant de noter que l'implantation d'une crucifère pure augmente significativement la consommation d'énergie primaire (+7%) du fait d'interventions mécanisées plus nombreuses. Cet aspect est compensé dans le second scénario par l'azote apporté suite à la destruction de la légumineuse en mélange avec la crucifère.

Concernant le levier « changement de la forme de l'engrais », soit, dans ce cas, le passage d'une fertilisation 100% minérale à organo-minérale, différents produits organiques ont été étudiés en considérant un raisonnement de la fertilisation sur l'élément phosphore (limitant). Les résultats des valeurs des indicateurs d'impact des scénarios simulés comparés à ceux du scénario de référence montrent des variations significatives pour plusieurs scénarios et plusieurs indicateurs d'impact. En effet, l'impact acidification augmente très fortement lors de l'épandage de lisier (+18% avec le lisier de porc et +36% avec le lisier de bovin). L'utilisation de fumier de bovin augmente également l'impact de 9%. Concernant les indicateurs d'impact consommation d'énergie primaire et eutrophisation, les variations sont significatives uniquement pour les scénarios utilisant les lisiers comme engrais. Pour le premier, les variations sont négatives, ainsi l'apport de lisier remplaçant partiellement l'engrais minéral diminue de 6 à 7 % la consommation d'énergie primaire sur la rotation. En revanche, l'impact eutrophisation augmente fortement pour ces deux scénarios, de 17% avec apport de lisier de bovin et de 8% avec apport de lisier de porc.

Dans le cadre des deux leviers d'action, l'indicateur d'impact réchauffement climatique n'a montré aucune variation significative des scénarios simulés par rapport au scénario de référence. Le modèle IPCC permettant de calculer l'indicateur ne prenant en compte que les quantités totales d'engrais apportés, les scénarios n'ont pas été différenciés à ce niveau.

Il est finalement important de noter qu'il existe d'autres leviers à considérer (effets d'interventions permettant l'enfouissement de l'apport ou sa localisation, plus difficiles à évaluer) et d'autres impacts à prendre en compte (toxicité/écotoxicité pour la prise en compte des émissions d'éléments traces métalliques, qualité du sol pour la prise en compte d'autres caractéristiques des produits organiques que leurs compositions en NPK) pour élargir les critères de choix et appuyer des voies d'amélioration en termes de pratiques de fertilisation.

## Références bibliographiques

Collectif ARVALIS et al., 2011. Cultures intermédiaires : impacts et conduite. Editions ARVALIS 2011. 236 p.

BODET J.-M. et al., 2001. Fertiliser avec les engrais de ferme. Brochure de l'Institut de l'élevage, ITCF, ITAVI, ITP, AGPM, CETIOM et ITB. 101 p.

GAC A. et al, 2010. GES'TIM Guide méthodologique pour l'estimation des impacts des activités agricoles sur l'effet de serre, Version 1.2.

Gillet J.-P. 2011, communications personnelles, Mode d'emploi de DEAC et Principes de DEAC

Guinée et al., 2001. Life cycle assessment – An operational guide to the ISO Standards. Final Report May 2001, part 2b. 276p.

EMEP / EEA 2009, Air pollutant emission inventory guidebook, Animal husbandry and manure management, Chap. 4B & Crop production and agricultural soil Chap. 4D

EMEP / EEA 2006, Air pollutant emission inventory guidebook, Culture with fertilizers (fertilized agricultural land) & Manure management regarding nitrogen compounds.

IPCC et al. 2006, Lignes directrices 2006 du GIEC pour les inventaires nationaux de gaz à effet de serre, Emissions de N<sub>2</sub>O des sols gérés et émissions de CO<sub>2</sub> dues au chaulage et à l'application d'urée, chapitre 11.

IFA-FAO, 2003. Estimations des émissions gazeuses de NH<sub>3</sub>, NO et N<sub>2</sub>O par les terres agricoles à l'échelle mondiale, Association internationale de l'industrie des engrais et Organisation des Nations Unies pour l'alimentation et l'agriculture, 2003. 121p.

Levasseur 2005, Composition des effluents porcins et de leurs coproduits de traitement. Quantités produites. ITP, 68p.

Nemecek et al, 2007. Life cycle inventories of agricultural production systems, final report Ecolnvent v.2.0

Quideau et al., 2010. Les effluents d'élevage, les coproduits de traitement et leurs incidences environnementales. Dans : Espagnol S., Leterme P. (Eds), Elevage et environnement. Educagri Editions/Editions Quae