



HAL
open science

Quelle est l'importance des transferts d'éléments minéraux de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique ?

Benjamin Nowak, Thomas Nesme, Christophe David, Sylvain S. Pellerin

► To cite this version:

Benjamin Nowak, Thomas Nesme, Christophe David, Sylvain S. Pellerin. Quelle est l'importance des transferts d'éléments minéraux de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique ?. *Innovations Agronomiques*, 2013, 32, pp.175-183. 10.17180/n55j-2v28 . hal-02643900

HAL Id: hal-02643900

<https://hal.inrae.fr/hal-02643900>

Submitted on 28 May 2020

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.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Quelle est l'importance des transferts d'éléments minéraux de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique?

Nowak B.^{1,2}, Nesme T.^{2,1}, David C.³, Pellerin S.^{1,2}

¹ INRA, UMR 1220 TCEM, CS 20032, F-33882 Villenave d'Ornon

² Bordeaux Sciences Agro, UMR 1220 TCEM, CS 40201, F-33175 Gradignan Cedex

³ ISARA Lyon, UP SCAB, F-69364 Lyon

Correspondance : bjn.nowak@gmail.com

Résumé

La gestion des éléments minéraux est un élément clé de la conduite des systèmes de culture biologique. Le cahier des charges européen de l'agriculture biologique interdit strictement l'utilisation des engrais de synthèse. Toutefois, il autorise l'usage de certains produits issus de l'agriculture conventionnelle. Dans cette étude, nous avons quantifié l'intensité des importations d'azote (N), de phosphore (P) et de potassium (K) provenant de l'agriculture conventionnelle pour 63 exploitations biologiques réparties dans trois régions agricoles françaises définies par leurs orientations de productions (productions végétales, productions animales ou mixte). Les entrées en provenance de l'agriculture conventionnelle correspondent respectivement à 23 %, 73 % et 53 % des importations de N, P et K. Ces entrées sont principalement expliquées par les systèmes de production des exploitations et sont positivement corrélées à la demande en fertilisants de ces exploitations.

Mots-clés : Agriculture biologique, agriculture conventionnelle, engrais de synthèse, azote, phosphore, potassium, transferts

Abstract: To what extent does organic farming rely on nutrient inflows from conventional farming?

Nutrient management is a critical factor for organic farming. European organic regulations ban the use of artificial fertilisers. However organic farms may import nutrients coming from conventional farming. In this study we quantified the magnitude of nitrogen (N), phosphorus (P) and potassium (K) inflows from conventional farming to organic farming for 63 organic farms located in three French agricultural districts characterized by their degree of specialisation (crop productions, animal productions or both). Inflows from conventional farming amounted to 23%, 73% and 53% for N, P and K, respectively. These inflows were strongly correlated with farm production systems and positively correlated with the fertiliser demand of the farms.

Keywords: Organic farming, conventional farming, artificial fertiliser, nitrogen, phosphorus, potassium, inflows

Introduction

Les engrais de synthèse, tels que les engrais azotés (N) obtenus grâce au procédé Haber-Bosch et les minerais de phosphore (P) et de potassium (K) permettent l'apport d'éléments minéraux solubles directement assimilables par les cultures. L'utilisation de ces fertilisants a permis une augmentation importante des rendements durant les dernières décennies (Sutton, 2013). Toutefois, une proportion importante des éléments minéraux apportés n'est pas prélevée par les cultures (Gardner et Drinkwater,

2009). Ces surplus sont susceptibles d'être transférés aux écosystèmes naturels, causant d'importants dégâts environnementaux (Galloway *et al.*, 2003). D'autre part, la fabrication de ces engrais a un coût énergétique important (cas du N) ou utilise des ressources non renouvelables en voie d'épuisement (cas du K et surtout du P) (Cordell *et al.*, 2009). Il est donc nécessaire de diminuer la dépendance de l'agriculture aux engrais de synthèse au profit d'un meilleur recyclage des éléments minéraux au sein des systèmes agricoles. L'agriculture biologique (AB) peut alors être considérée comme un prototype d'agriculture durable car elle interdit strictement l'utilisation des engrais de synthèse. Toutefois, le cahier des charges européen de l'agriculture biologique autorise l'utilisation de matières organiques en provenance de l'agriculture conventionnelle¹. Ainsi, certaines exploitations biologiques importent de façon conséquente des fertilisants en provenance de l'agriculture conventionnelle (Nesme *et al.*, 2012). Ces importations peuvent avoir des conséquences cruciales pour le développement de l'agriculture biologique. Notre objectif a donc été de quantifier l'importance relative de ces importations de produits d'origine conventionnelle pour les exploitations biologiques.

Afin d'atteindre cet objectif, nous avons quantifié les transferts de N, P et K issus de l'agriculture conventionnelle pour un jeu de 63 exploitations biologiques situées dans trois régions agricoles qui présentent des chargements animaux et des occupations des sols très contrastés. Nous avons formulé à cet égard trois hypothèses :

- (H1) Les transferts en provenance de l'agriculture conventionnelle sont plus importants pour le P et le K que pour le N qui peut être importé via la fixation symbiotique.
- (H2) Les transferts de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique sont déterminés par la demande en fertilisants des exploitations biologiques. Les importations d'amendements et d'engrais organiques provenant de l'agriculture conventionnelle sont autorisées par le cahier des charges alors que l'alimentation animale doit provenir de l'agriculture biologique.
- (H3) Les transferts de l'agriculture conventionnelle vers l'agriculture biologique sont moins importants dans les régions mixtes où cohabitent des productions biologiques animales et végétales en raison d'échanges locaux potentiels d'amendements entre exploitations biologiques d'élevage et exploitations biologiques sans élevage.

1. Matériels et Méthodes

1.1. Régions d'étude et collecte des données

Trois régions agricoles, présentant des densités d'exploitations AB similaires, ont été sélectionnées (Figure 1).

La Lomagne (limite départementale du Gers et du Tarn-et-Garonne) est une région agricole spécialisée dans les grandes cultures : 79% de la SAU totale (agriculture biologique et agriculture conventionnelle confondues) est occupée par des Céréales, Oléagineux et Protéagineux (COP). Le chargement animal de la région est faible (0.2 UGB.ha⁻¹ de SAU) mais quelques exploitations avicoles sont présentes dans la région.

¹ Pour cette étude, nous nous sommes intéressés aux exploitations certifiées AB selon le règlement (CE) n°834/2007 qui précise l'ensemble des règles à suivre pour la production et la transformation des produits biologiques. Ce règlement autorise l'usage d'effluents d'élevage provenant de l'AC à condition que ceux-ci ne proviennent pas d'élevages industriels (communément définis comme des exploitations hors-sol, sans surface épandable et où les animaux sont gardés en bâtiment de façon permanente). Les engrais organiques composés de co-produits d'industries de la viande (tels que les farines de viande et de plume, poudres d'os) sont autorisés par ailleurs quelle que soit leur origine. Concernant les productions animales en agriculture biologique, les troupeaux doivent être nourris avec des aliments produits selon les principes de l'agriculture biologique mais des dérogations temporaires autorisant l'utilisation d'aliments AC peuvent être concédées lorsque la disponibilité en aliments biologiques est faible (OFIS, 2013). Enfin, pour la litière des troupeaux, les exploitations biologiques sont autorisées à utiliser des pailles provenant de l'agriculture conventionnelle.

Le Pilat (département de la Loire) est une région agricole spécialisée dans l'élevage de bovins laitiers, avec un chargement animal moyen ($1.15 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$). La culture des céréales est limitée par des sols acides, un hiver long et marqué et un relief semi-montagnard. En conséquence, la SAU est principalement constituée de prairies (86% de la SAU).

Le Ribéracois (Dordogne) est une région agricole "mixte", où cohabitent productions végétales (55% de la SAU en COP) et productions animales (chargement animal modéré de $0.63 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$, principalement composé de bovins allaitants pour la production de veaux sous la mère).

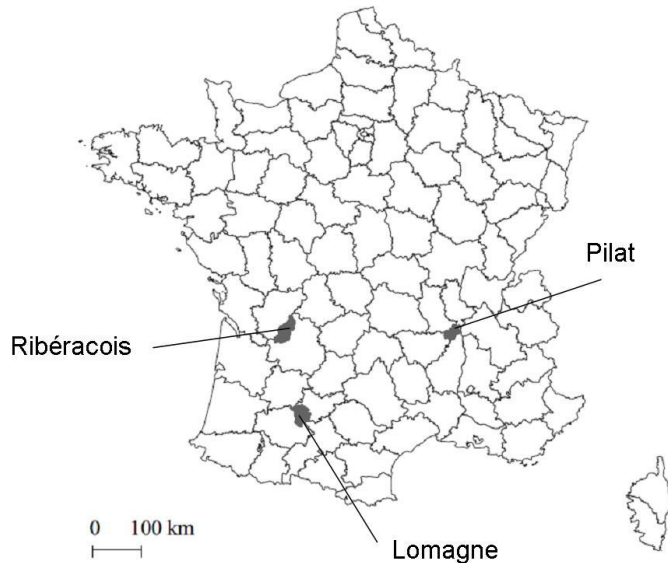


Figure 1 : Localisation des trois régions agricoles étudiées

Dans chacune de ces régions, plus des trois-quarts des exploitations biologiques présentes ont été enquêtées afin de collecter des données quantitatives et qualitatives concernant la gestion des éléments minéraux pour les années 2010 et 2011.

Dans la Lomagne ($n=25$ exploitations enquêtées) et le Pilat ($n=21$), les caractéristiques des exploitations enquêtées sont proches des caractéristiques générales de la région. Par exemple, en Lomagne, les exploitations biologiques sont spécialisées en grandes cultures (88% de la SAU en COP) avec un faible chargement animal ($0.07 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$). Dans le Pilat, les exploitations biologiques sont spécialisées dans l'élevage de bovins laitier, avec un chargement animal élevé pour l'agriculture biologique ($0.93 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$). La SAU est principalement occupée par des prairies (87%), avec une très faible proportion de COP (11%).

En revanche, les exploitations biologiques du Ribéracois ($n=17$) sont plus fortement orientées vers les productions animales que les caractéristiques générales de la région (chargement animal de $0.60 \text{ UGB} \cdot \text{ha}^{-1}$, principalement élevage de bovins allaitants et de petits ruminants laitiers), avec une faible proportion (18%) de COP dans la SAU.

1.2. Entrées d'éléments minéraux

Pour chaque exploitation, les entrées de N, P et K prises en compte sont (i) les entrées de N, P et K via les importations de matières (engrais organiques, effluents d'élevage, aliments, compléments minéraux, pailles et fourrages) et (ii) les apports atmosphériques de N (fixation symbiotique et déposition). Les entrées d'éléments minéraux via les importations de matières ont été estimées par le produit entre le flux de matières et leur concentration en N, P et K (CORPEN, 1999 ; Agabriel, 2007 ; COMIFER, 2009). Les dépôts atmosphériques totaux ont été estimés à partir du réseau de mesure RENECOFOR (ICP

Forests, 2012). La fixation symbiotique a été estimée à partir du modèle proposé par Høgh-Jensen *et al.* (2004), estimant la quantité de N fixé à partir du rendement des légumineuses. Les produits entrant dans les exploitations enquêtées ont été répartis en cinq origines différentes : (1) N issu de l'atmosphère (déposition et fixation) ; (2) N, P et K provenant de l'agriculture biologique (entrant via l'importation de produits biologiques) ; (3) N, P et K provenant de l'agriculture conventionnelle (entrant via l'importation de produits conventionnels) ; (4) P et K provenant de sources minérales (compléments minéraux P et fertilisants minéraux P et K non traités, autorisés en agriculture biologique) ; (5) N, P et K provenant de sources urbaines (tels que les composts végétaux). Les engrais organiques composés de co-produits des industries de la viande pouvaient provenir de l'agriculture biologique ou de l'agriculture conventionnelle : la proportion d'éléments minéraux provenant de l'agriculture biologique a été estimée à partir du ratio entre les effectifs des troupeaux biologiques (AgenceBio, 2013) et le total des effectifs des troupeaux français (Agreste, 2013) en prenant en compte l'importance de chaque espèce animale dans la composition des engrais organiques (SIFCO 2011). Cette proportion a ainsi été estimée à 2 %. Tous les résultats sont présentés comme la moyenne des années 2010 et 2011, l'écart entre les deux années étant faible.

1.3. Classification des exploitations en fonction de leur demande en fertilisants

Les exploitations enquêtées ont été classées selon leur chargement animal (en UGB.ha⁻¹) et la diversité de leurs assolements (en % de la SAU) en trois grands types : "Grandes cultures", "Mixte" et "Elevage", qui représentent respectivement une demande en fertilisants élevée, modérée et faible. Pour chaque exploitation biologique, nous avons quantifié le pourcentage d'éléments minéraux provenant de l'agriculture conventionnelle sur le total des éléments minéraux entrants. Le pourcentage moyen d'éléments minéraux provenant du conventionnel a ensuite été calculé pour chaque type d'exploitations.

2. Résultats

2.1. Importations moyennes d'éléments minéraux

Pour notre échantillon d'exploitations biologiques enquêtées, les importations de N, P et K s'élevaient respectivement à 87, 9 et 17 kg.ha⁻¹.an⁻¹ (Figure 2). Les entrées en provenance de l'agriculture conventionnelle correspondaient respectivement à 23 %, 73 % et 53 % des importations de N, P et K contre 13 %, 20 % et 30% pour les entrées en provenance de l'agriculture biologique. Comme attendu, les entrées en provenance de l'agriculture conventionnelle étaient proportionnellement moins importantes pour le N en raison d'importantes entrées en provenance de sources atmosphériques (64% des entrées de N) (Figure 2). Les entrées en provenance de sources minérales étaient plus importantes pour le K que pour le P avec respectivement 15 % et 3 % des entrées. Les importations en provenance de sources urbaines étaient faibles et représentaient moins de 2 % pour chacun des trois éléments. La majorité des produits conventionnels entrants étaient des amendements et engrais organiques, ainsi que des fourrages et pailles dans une moindre mesure (Figure 3). Par exemple, plus de 80 % des éléments minéraux entrant sous forme d'effluents d'élevage provenaient de l'agriculture conventionnelle. La moitié des pailles et des fourrages provenaient de l'agriculture conventionnelle. En revanche, aucun aliment pour animaux ne provenait de l'agriculture conventionnelle.

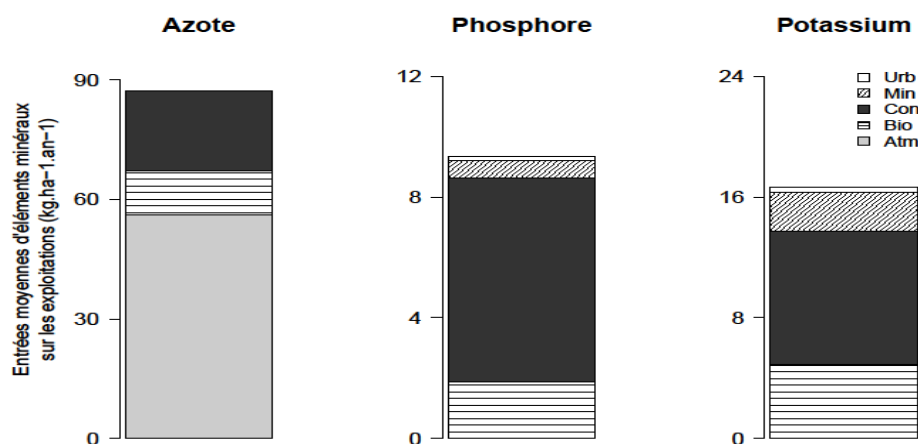


Figure 2 : Origine des éléments minéraux entrant pour les 63 exploitations AB enquêtées et pour la période 2010-2011. A propos de l'origine des éléments, Atm correspond au N provenant de l'atmosphère; Bio correspond aux N, P et K provenant de l'agriculture biologique; Con correspond aux N, P et K provenant de l'agriculture conventionnelle; Min correspond aux P et K provenant de sources minérales; Urb correspond aux N, P et K provenant de sources urbaines.

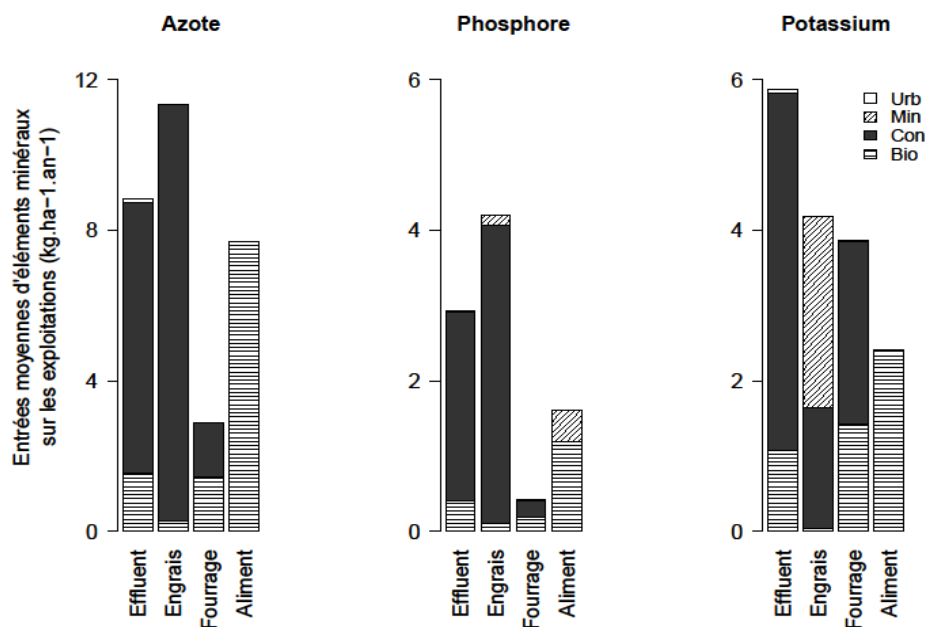


Figure 3 Origine des éléments minéraux entrant, en fonction de la nature des produits importés pour les 63 exploitations AB enquêtées et pour la période 2010-2011. Concernant la nature des produits importés, Effluent correspond aux importations d'effluents d'élevage, Engrais correspond aux importations d'engrais organiques et minéraux, Fourrage correspond aux importations de fourrages et de pailles, Aliment correspond aux importations d'aliments et de compléments minéraux pour les troupeaux. A propos de l'origine des éléments, la légende est similaire à celle de la Figure 2.

2.2. Effet des systèmes de production

Les exploitations enquêtées ont été réparties en trois grands types (Tableau 1). Les exploitations dites de "Grandes cultures" étaient caractérisées par des chargements animaux faibles et d'importantes surfaces occupées par les céréales, oléagineux ou protéagineux : en moyenne, 78% de la SAU est dédiée à ces cultures. Les exploitations "Mixtes" présentaient des chargements animaux relativement modérés (0.45 UGB.ha⁻¹). La SAU de ces exploitations était majoritairement composée de prairies ou de cultures fourragères annuelles mais, en moyenne, un quart de la SAU était dédiée à la production de grains ou d'autres cultures spécialisées (ail, oignon...). Les exploitations "Elevage" étaient caractérisées par des chargements animaux relativement élevés (1.06 UGB.ha⁻¹) et d'importantes surfaces fourragères (90% de la SAU). Pour les trois éléments minéraux considérés, le pourcentage d'éléments minéraux entrants d'origine conventionnelle était lié positivement à la demande en fertilisants (Tableau 2). Par exemple, pour N, les importations en provenance de l'agriculture conventionnelle s'élevaient respectivement à 41%, 10% et 3% pour les exploitations "Grandes cultures", "Cultures/Elevage" et "Elevage". En raison de l'absence d'apports atmosphériques, l'importance relative des importations en provenance de l'agriculture conventionnelle était encore plus élevée pour le P et K, s'élevant respectivement à 85% et 79% pour les exploitations "Grandes cultures".

Tableau 1 : Classement des 63 exploitations AB enquêtées selon les assolements et les chargements animaux de ces exploitations

		Typologie des exploitations		
		Grandes cultures	Mixte	Elevage
Nombre total d'exploitations AB enquêtées		26	17	20
Situation des exploitations :	Lomagne	22	3	0
	Ribéraçois	4	10	3
	Pilat	0	4	17
Chargement animal moyen (UGB.ha ⁻¹ de SAU)		0.08	0.45	1.06
Pourcentage de la SAU occupée par :	Céréales, oléagineux et protéagineux	78%	15%	9%
	Prairies et autres fourrages	20%	75%	90%
	Autres cultures	2%	10%	1%

Tableau 2 : Pourcentage moyen d'éléments minéraux importés provenant de l'agriculture conventionnelle sur le total des éléments minéraux importés par type d'exploitation

		Typologie des exploitations		
		Grandes cultures	Mixte	Elevage
Pourcentage des éléments minéraux entrants provenant de l'agriculture conventionnelle	Azote	41%	10%	3%
	Phosphore	85%	37%	19%
	Potassium	79%	35%	30%

2.3. Effet du contexte agricole local

Afin d'évaluer l'influence du contexte agricole local, nous avons sélectionné des exploitations présentant des caractéristiques similaires c'est à dire les 17 exploitations "Cultures/élevage" (dont 3 exploitations de Lomagne, 10 exploitations du Ribérais et 4 exploitations du Pilat). Le pourcentage d'éléments minéraux entrants d'origine conventionnelle était plus important pour les exploitations de Lomagne comparées à celles du Ribérais et du Pilat (Tableau 3). Cette différence était notamment due au fait que certaines exploitations biologiques du Ribérais et du Pilat importaient des effluents en provenance d'autres exploitations biologiques voisines alors qu'en Lomagne tous les effluents importés provenaient d'exploitations conventionnelles. Les transferts en provenance de l'agriculture conventionnelle étaient similaires (cas du N) ou supérieurs (cas du P et K) pour les exploitations biologiques du Ribérais par rapport aux exploitations biologiques du Pilat.

Tableau 3 : Pourcentage d'éléments minéraux importés provenant de l'agriculture conventionnelle sur le total des éléments minéraux importés pour les exploitations Mixte en fonction de la situation de ces exploitations.

		Situation des exploitations Mixte		
		Lomagne	Ribérais	Pilat
Pourcentage des éléments minéraux entrants provenant de l'agriculture conventionnelle	Azote	32%	5%	7%
	Phosphore	95%	36%	11%
	Potassium	95%	33%	11%

3. Discussion

Ces résultats montrent que les exploitations biologiques utilisent des quantités importantes d'éléments minéraux en provenance de l'agriculture conventionnelle. Ainsi, les entrées en provenance de l'agriculture conventionnelle correspondaient respectivement à 23 %, 73 % et 53 % des importations de N, P et K. Ce ratio était moins important pour le N en raison d'importantes entrées en provenance de sources atmosphériques, ce qui valide notre première hypothèse. La quantification de ce recours de l'agriculture biologique à l'agriculture conventionnelle est très rare dans la littérature scientifique. Si certains auteurs ont déjà mentionné l'existence de flux de matières entre agriculture conventionnelle et agriculture biologique (Kirchmann *et al.* 2008 ; Oelofse *et al.* 2010 ; Nesme *et al.* 2012), en revanche, leur quantification n'a été réalisée que pour le Danemark (Oelofse *et al.* 2013), où les apports d'éléments minéraux via les effluents importés en provenance de l'agriculture conventionnelle représentaient respectivement 27%, 28% et 22% des quantités de N, P et K contenues dans l'ensemble des effluents épandus dans les exploitations biologiques en 2011. Ces chiffres sont inférieurs à nos résultats car ils intègrent les effluents produits sur les exploitations biologiques et épandus directement sur ces mêmes exploitations.

Les entrées d'éléments minéraux en provenance de l'agriculture conventionnelle correspondaient principalement à des importations de matières fertilisantes (effluents d'élevage et engrais organiques). Elles étaient donc fortement déterminées par la demande en fertilisants des exploitations, ce qui valide notre seconde hypothèse. Les exploitations biologiques céréalières sans élevage importaient ainsi d'importantes quantités d'éléments minéraux en provenance de l'agriculture conventionnelle. De telles exploitations ne sont pas rares en Europe et leur nombre augmente avec la tendance à la spécialisation des exploitations biologiques (David, 2009). Par exemple, en 2011, 66% des exploitations biologiques françaises étaient des exploitations sans élevage (AgenceBio, 2013).

Enfin, pour des exploitations présentant des demandes en fertilisants similaires, les transferts en provenance de l'agriculture conventionnelle étaient moins importants dans la région mixte (Ribéracois) et dans la région d'élevage (Pilat) que dans la région céréalière (Lomagne), en raison d'échanges de fumiers entre exploitations biologiques dans ces deux premières régions. Ces échanges peuvent être un moyen d'améliorer l'autonomie de l'agriculture biologique. Ainsi, à la fin des années 1990, les organismes de développement de l'agriculture biologique en Hollande ont essayé d'accompagner ces échanges à travers le concept de "fermes partenaires" (Nauta *et al.*, 1999).

Ces résultats présentent un intérêt pour la construction de scénarios d'extension de l'agriculture biologique. Ils suggèrent que l'important recours de l'agriculture biologique aux éléments minéraux en provenance de l'agriculture conventionnelle démontré ici pourrait limiter le futur développement de l'agriculture biologique, en raison d'une compétition pour les fertilisants issus de l'agriculture conventionnelle. Toutefois, il faut aussi garder à l'esprit que l'augmentation du nombre d'élevages biologiques pourrait aussi augmenter l'offre en fertilisants biologiques. Afin d'améliorer l'autonomie de l'agriculture biologique, différentes pistes peuvent être envisagées. Tout d'abord, des discussions sont en cours au sujet d'un éventuel durcissement du cahier des charges européen de l'agriculture biologique. En effet, celui-ci autorise de façon assez permissive l'usage d'effluents d'élevage conventionnels à la condition qu'ils ne proviennent pas d'exploitations industrielles mais des discussions sont en cours au sein du Comité Permanent de l'Agriculture Biologique afin de clarifier ce point (E. Salomon, comm. pers). De plus, certains pays ont ajouté des contraintes supplémentaires à ce cahier des charges. Ainsi au Danemark, les importations en provenance de l'agriculture conventionnelle sont limitées à 70 kgN.ha⁻¹.an⁻¹ et les autorités ont même prévu de bannir complètement ces importations d'ici 2022 (Oelofse *et al.*, 2013). Une autre piste pourrait être d'assouplir la réglementation AB en autorisant les importations en provenance de sources urbaines (telles que les boues d'épuration), aujourd'hui non autorisées (Figure 2) ce qui pourrait être un moyen de diminuer les transferts en provenance de l'agriculture conventionnelle. Enfin, nos résultats montrent qu'une plus grande diversité des productions biologiques à l'échelle locale favorise les échanges d'effluents entre exploitations biologiques, rendant ainsi les exploitations biologiques moins dépendantes de l'agriculture conventionnelle. De tels résultats s'inscrivent dans la tendance générale à reconnaître que la diversité des systèmes de production au niveau des territoires est une des conditions de leur plus grande durabilité.

Références bibliographiques

- Agabriel J., 2007. Alimentation des bovins, ovins et caprins: besoins des animaux, valeurs des aliments: tables Inra 2007. Editions Quae, Versailles Cedex
- AgenceBio, 2013. Agence Bio. <http://www.agencebio.org>. Accessed 22 April 2013
- Agreste 2013. DISAR. Disponible en ligne : <http://acces.agriculture.gouv.fr/disar/faces/report/mondrianTableau.jsp>. Accessed 22 April 2013
- COMIFER , 2009. Teneurs en phosphore, potassium et magnésium des organes végétaux récoltés. <http://www.comifer.asso.fr/index.php/groupes-de-travail/pk-et-mg.html>. Accessed 7 September 2012
- Cordell D., Drangert J.-O., White S., 2009. The story of phosphorus: Global food security and food for thought. *Global Environmental Change* 19, 292–305
- CORPEN , 1999. Estimation des flux d'azote, de phosphore et de potassium associés aux vaches laitières et à leur système fourrager. http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/DGALN_1999_11_flux_laitiere_fourrager.pdf. Accessed 12 April 2013
- David C., 2009. Grandes cultures biologiques, des systèmes en équilibre instable. In: Bellon S, Lamine C (eds.) *Transitions Vers L'agriculture Biologique*, Sciences En Partage. Quae, Versailles Cedex

- Galloway J.N., Aber J.D., Erisman J.W., Seitzinger S.P., Howarth R.W., Cowling E.B., Cosby B.J., 2003. The nitrogen cascade. *Bioscience* 53, 341–356
- Gardner J.B., Drinkwater L.E., 2009. The fate of nitrogen in grain cropping systems: a meta-analysis of 15N field experiments. *Ecol Appl* 19, 2167–2184
- Høgh-Jensen H., Loges R., Jørgensen F.V., Vinther F.P., Jensen E.S., 2004. An empirical model for quantification of symbiotic nitrogen fixation in grass-clover mixtures. *Agric Syst* 82, 181–194
- ICP Forests , 2012. ICP Forests Technical Report. <http://icp-forests.net/page/icp-forests-technical-report>. Accessed 3 May 2013
- Kirchmann H., Kätterer T., Bergström L., 2008. Nutrient Supply in Organic Agriculture – Plant Availability, Sources and Recycling. In: Kirchmann H, Bergström L (eds.) *Organic Crop Production – Ambitions and Limitations*. Springer Netherlands, Dordrecht, pp. 89–116
- Nauta W.J., Van der Burgt G.J., Baars T., 1999. Partner farms: a participatory approach to collaboration between specialised organic farms. Danish Research Centre for Organic Farming (DARCOF), Tjele, Denmark
- Nesme T., Toublant M., Mollier A., Morel C., Pellerin S., 2012. Assessing phosphorus management among organic farming systems: a farm input, output and budget analysis in southwestern France. *Nutr Cycl Agroecosyst* 92, 225–236
- Oelofse M., Høgh-Jensen H., Abreu L., Almeida G., El-Araby A., Hui Q., De Neergaard A., 2010. A comparative study of farm nutrient budgets and nutrient flows of certified organic and non-organic farms in China, Brazil and Egypt. *Nutr Cycl Agroecosyst* 87, 455–470
- Oelofse M., Jensen L.S., Magid J., 2013. The implications of phasing out conventional nutrient supply in organic agriculture: Denmark as a case. *Organic Agriculture* 3, 41–55
- OFIS, 2013. Organic Farming Information System - Ingredient Authorisations. http://ec.europa.eu/agriculture/ofis_public/r7/ctrl_r7.cfm?targetUrl=home&lang=en. Accessed 6 May 2013
- SIFCO, 2011. Rapport d'activité 2011. <http://www.sifco.fr/rapport-d-activites/rapport/31/rapport.pdf>. Accessed 4 June 2013
- Sutton M.A., 2013. Centre for Ecology and Hydrology (Great Britain). Our nutrient world: the challenge to produce more food and energy with less pollution