

Empreinte carbone et potentiel de réchauffement planétaire de l'agriculture biologique

Derek Lynch¹, Ph. D., Rod MacRae², Ph. D., Ralph C. Martin¹, Ph. D.

¹ Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC), Collège d'agriculture de la Nouvelle-Écosse, Truro (Nouvelle-Écosse)

² Faculté des études environnementales, Université York (Ontario)

**Rapport présenté au
Groupe de travail sur le développement des marchés
TRCVPB, juin 2010**

Table des matières

Résumé.....	3
Introduction.....	6
Éléments nécessaires à la promotion d'une image de marque de l'agriculture biologique fondée sur les émissions carbone des exploitations agricoles	9
Analyses sectorielles.....	13
Questions de portées générales	37
Considérations liées à la consommation.....	43
Conclusions.....	46

Résumé

La présente étude vise à déterminer s'il existe suffisamment de preuves justifiant le développement d'une image de marque des produits biologiques qui serait fondée sur les avantages des pratiques agricoles biologiques pour l'environnement. L'analyse compare le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) de divers systèmes de production agricole en se focalisant sur leurs émissions de gaz à effet de serre (GES), c'est-à-dire CO₂, CH₄ et N₂O, et leur utilisation d'énergie à la ferme qui sont converties en une empreinte carbone nette exprimée en équivalent-CO₂ (éq. CO₂). L'étude vise également à recenser les domaines de la recherche actuelle sur l'empreinte carbone qui manquent de données et qui mériteraient d'être étudiés davantage dans le cadre du projet « Gestion environnementale et image de marque des produits » proposée par la Grappe scientifique biologique. La Grappe est coordonnée par le Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC) et regroupe des chercheurs de partout au Canada.

Nous faisons la synthèse des publications qui comparent l'utilisation d'énergie et le potentiel de réchauffement de la planète (PRP) de divers systèmes de production en agriculture biologique et conventionnelle (~120 études analysées). En plus de l'examen de métacomparaisons, nous faisons une analyse sectorielle des productions suivantes : grandes cultures et productions bovine, laitière, porcine, avicole, légumière, fruitière et serricole. Dans chaque analyse sectorielle, nous passons en revue la littérature publiée au Canada, puis aux États-Unis, en Europe et dans les autres pays. Nous traitons aussi de questions de portées générales comme le travail du sol, le compostage, la séquestration de carbone dans les sols et les compensations carbone. Enfin, nous resituons ces données comparatives dans l'ensemble du système alimentaire; pour ce faire, nous faisons d'abord une brève revue de la littérature qui traite de l'utilisation de l'énergie et du PRP du système alimentaire. Dans notre mise en contexte, en l'absence d'analyses canadiennes, nous nous sommes surtout servis de données américaines pour faire notre analyse.

Nous nous sommes heurtés aux difficultés suivantes : le manque de données dans certains secteurs; la portée différente des études (des analyses examinent uniquement l'utilisation d'énergie ou le PRP, d'autres un seul champ ou l'ensemble de l'exploitation agricole, d'autres encore font des analyses des intrants et extrants, des analyses du cycle de vie (ACV) ou des analyses d'énergie); des méthodologies différentes (certains utilisent d'anciens coefficients du GIEC, d'autres incluent les crédits carbone dans le sol, certains ne tiennent compte que de l'utilisation d'énergie non renouvelable alors que d'autres examinent l'utilisation totale d'énergie, dont celle associée au travail humain); des unités de mesure différentes (par ha, par produit).

Dans notre évaluation du potentiel de développement d'une image de marque des produits biologiques, nous avons posé les critères suivants à respecter :

1. Les différences doivent être marquées et constantes; il faut un seuil minimum de différence de 20 % entre la production biologique et conventionnelle;
2. L'approche doit être cohérente dans la présentation des données et des unités;
3. L'approche doit être cohérente par rapport aux émissions de N₂O;

4. La méthodologie doit être acceptable;
5. Les différences doivent invariablement se répéter;
6. Les différences doivent être significatives par rapport aux autres stratégies de réduction des émissions au sein du système alimentaire;
7. Une certaine vérification doit être possible.

Nous concluons qu'il est possible de développer une image de marque pour la production biologique qui serait fondée sur l'utilisation d'énergie et l'efficacité énergétique, à la fois par hectare et par unité de produit. Pour tous les secteurs, à l'exception des productions avicole et fruitière, on a observé qu'un seuil de différence de 20 % a été dépassé dans la plupart des études. En production avicole, les données sont particulièrement limitées, et la majorité d'entre elles favorisent la production conventionnelle en raison de différences significatives de rendements entre les deux systèmes de production. En production fruitière, où la recherche est plus abondante qu'en production avicole (quoique limitée par rapport aux autres secteurs), le constat le plus fréquent est que les différences entre les systèmes de production sont minimales.

Cependant, de fonder la promotion de l'image de marque de la production biologique sur le PRP, à la fois par hectare et par unité de produit, ne serait possible que dans quelques secteurs, et les résultats observés qui sont exprimés par hectare favorisent plus souvent la production biologique que ceux exprimés par unité de produit. À condition de poursuivre les recherches en Amérique du Nord, où les écarts de rendements entre le biologique et le conventionnel sont moins extrêmes qu'en Europe, la promotion de l'image de marque fondée sur le PRP pourrait être envisageable à moyen terme.

Au chapitre des questions de portées générales, nous avons constaté que le travail du sol plus conventionnel, par rapport au travail réduit du sol, était invariablement un participant négligeable à l'utilisation d'énergie à la ferme (ne comptant souvent que pour ~5 % de l'énergie totale utilisée), et que tout travail additionnel du sol en agriculture biologique, par rapport au semis direct ou au travail réduit du sol, n'épuisait pas significativement le carbone dans le sol. En fait, les études démontrent souvent l'inverse; les engrais verts et les fourrages des pratiques biologiques accroissent le carbone dans le sol, malgré le travail additionnel du sol qui en découle. En ce qui concerne les questions de compensations carbone, les cultures énergétiques et les résidus de culture des pratiques biologiques jouent un rôle beaucoup plus limité qu'en production conventionnelle pour les deux raisons suivantes : premièrement, l'agriculture biologique doit utiliser la matière organique pour assurer la fertilité et la régénération du sol; deuxièmement, elle concentre surtout ses efforts à répondre à la forte demande de produits biologiques en alimentation humaine. De même, la production de biogaz en agriculture biologique jouera probablement un rôle encore plus limité, compte tenu des faibles quantités de fumier pouvant généralement être dirigées vers la production de biogaz à la ferme, et du fait que les normes biologiques n'encouragent pas la digestion anaérobie.

Si nous posons l'hypothèse que l'utilisation d'énergie en agriculture représente une moyenne brute de 35 % de l'utilisation totale d'énergie de la filière alimentaire (Canning et al., 2010) et que cette proportion continue de s'accroître, des pratiques agricoles biologiques qui permettraient d'améliorer l'efficacité énergétique de 20 % ou plus en agriculture représenterait une réduction de 7 % ou plus de l'utilisation d'énergie de la filière alimentaire. En pratique, comme le ratio de l'utilisation d'énergie en agriculture sur celui de l'ensemble de la filière

alimentaire varie considérablement selon le secteur, les avantages conférés par la production biologique pourraient même être supérieurs dans certains secteurs. Dans la chaîne d’approvisionnement alimentaire en aval de l’agriculture, les étapes de la vente en gros et au détail (dont la réfrigération et l’emballage) et de la transformation sont également des facteurs très importants dans l’ensemble de la chaîne d’approvisionnement alimentaire, responsables souvent de 30 % ou plus des coûts totaux de l’utilisation d’énergie du système alimentaire. Ainsi, il est possible d’améliorer l’utilisation d’énergie du système alimentaire en misant sur la limitation de transformation, les aliments entiers et la réduction des déchets alimentaires. Les protocoles de transformation des produits biologiques, qui visent à réduire au minimum les additifs et à limiter le nombre d’ingrédients ainsi que les procédés de transformation qui altèrent les aliments, peuvent déjà s’avérer efficaces, alors cet aspect mérite d’être étudié davantage. Enfin, la réduction du transport présente un potentiel additionnel, quoique plus petit, de gain énergétique et de réduction des émissions de GES. De nombreux travaux ont déjà comparé l’efficacité de divers moyens de transport au niveau de la consommation énergétique et des émissions de GES. Enfin, il est important que le secteur biologique sache que des gains d’efficacité obtenus en agriculture peuvent être annulés en aval de la chaîne d’approvisionnement alimentaire par les inefficacités d’autres étapes, notamment au cours de la transformation, du transport et de la vente en gros et au détail.

Voici des pistes de recherches qui méritent d’être explorées :

- Les stratégies d’efficacité de la transformation des produits biologiques;
- Il faut développer une compréhension élémentaire du transport dans les chaînes d’approvisionnement alimentaire, obtenir des données sur ses efficacités et des coefficients;
- Il manque de données canadiennes sur les productions horticole, avicole, porcine, laitière et bovine;
- Les mesures directes des émissions de GES dans différents agroécosystèmes;
- L’utilisation d’énergie du système alimentaire canadien.

Introduction

Objet de l'étude

À sa réunion de janvier 2009 à Guelph, la Table ronde sur la chaîne de valeur des produits biologiques (TRCVPB), lors de discussions sur l'architecture de la promotion de l'image de marque des produits biologiques et les stratégies promotionnelles, a demandé au Groupe de travail sur le développement des marchés (GTDM) d'évaluer si une étude sur les émissions de gaz à effet de serre (GES) en production biologique pourrait servir à justifier des allégations de différenciation de produits. L'étude vise à déterminer s'il existe suffisamment de preuves justifiant le développement et la promotion d'une image de marque des produits biologiques qui serait basée sur les avantages des pratiques agricoles biologiques pour l'environnement. Cet exercice prendrait en compte toutes les émissions de gaz à effet de serre (CO₂, CH₄ et N₂O) et l'utilisation d'énergie en agriculture qui seraient converties en une empreinte carbone nette exprimée en équivalent-CO₂.

Le Centre d'agriculture biologique du Canada (CABC) recensera aussi les domaines de la recherche actuelle sur l'empreinte carbone qui sont inadéquats et qui mériteraient d'être étudiés davantage dans le cadre du projet « Gestion environnementale et image de marque des produits » proposé par la Grappe scientifique biologique.

Méthode

Aux fins de la présente analyse, nous avons passé en revue les études en agriculture biologique et avons adapté les interprétations pertinentes de la recherche en agriculture conventionnelle qui portait sur l'efficacité énergétique. Nous avons scruté la littérature et les principaux rapports sommaires publiés par les ONG et les gouvernements d'Europe et d'Amérique du Nord. Nous avons exclu de notre étude les productions qui ne peuvent être cultivées au Canada. Nous avons tenté de regrouper les études par régions et par méthodes d'analyse. Lorsque les travaux comprenaient des méta-analyses, nous nous sommes efforcés d'éviter le double comptage d'études.

Vue d'ensemble des questions

La philosophie et les normes de la production biologique (Office des normes générales du Canada, 2006) imposent aux exploitations agricoles une série particulière de réalités qui influe sur leur efficacité énergétique et leurs émissions de GES; ces réalités diffèrent de celles de la plupart des exploitations conventionnelles. Or, les contrastes entre les exploitations biologiques et conventionnelles posent des difficultés d'analyses, car il est souvent difficile de trouver des exploitations comparables, notamment dans les systèmes d'élevage. Les exploitations biologiques, tout en respectant les normes, peuvent avoir des approches de gestion extrêmement variées. Toutefois, par rapport aux exploitations conventionnelles, les exploitations biologiques ont généralement des rotations de cultures plus diversifiées, une charge de bétail inférieure et des besoins en superficie différents, tous des facteurs qui influent sur l'utilisation d'énergie. Par conséquent, il est souvent plus pertinent de comparer des systèmes de production agricole plutôt

que des productions particulières au sein de ces systèmes, même si la plupart des études réalisées jusqu'à maintenant sont basées sur des comparaisons de productions particulières.

D'une perspective systémique, l'agriculture biologique entraîne habituellement une réduction de l'utilisation d'énergie et des émissions de GES et permet aussi d'intégrer les quatre piliers de la stratégie de lutte contre le réchauffement climatique, que sont la réduction des émissions de GES, la séquestration de carbone, les compensations carbone par la production de biomasse et l'adaptation. Par rapport aux pratiques agricoles plus conventionnelles, les pratiques biologiques réduisent l'érosion du sol, séquestrent plus de carbone, n'emploient pas d'azote ni de pesticides de synthèse (et les émissions qui y sont associées), éliminent les émissions de N₂O de sources non biologiques, découragent la digestion anaérobie des fumiers (et les émissions de méthane qui y sont associées)ⁱ, ont souvent des charges de bétail inférieures, ce qui contribue généralement à la réduction des émissions de méthane, consomment dans l'ensemble moins d'énergie et d'eau, et consacrent plus de superficies agricoles aux cultures vivaces (dont les pâturages) et aux brise-vent (MacRae et al., 2004; Lynch, 2009).

De l'énergie est utilisée tout au long de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, notamment pour les productions végétales et animales, la fabrication et l'application d'intrants agricoles, la transformation, l'emballage, la distribution et l'entreposage réfrigéré, la préparation et le service, ainsi que l'élimination des déchets. Selon de récentes études sur le système alimentaire américain (Canning et al., 2010; Weber et Matthews, 2008), la majeure partie de l'empreinte carbone (de 50 à 70 %) associée à la consommation alimentaire des ménages moyens est attribuable à la production agricole et à la transformation subséquente, alors que le transport ne compte que pour 11 % en moyenne, et ce, pour tous les secteurs et produits alimentaires. Une étude britannique récente intitulée Food 2030 (HMGovernment(UK).pdf) présente des résultats semblables, où le transport ne compte que pour 9 % des émissions de GES associées à la filière alimentaire. En revanche, d'après un rapport de la USDA (Canning et al., 2010), les coûts énergétiques associés à la production varient considérablement d'un secteur à l'autre. De plus, comme les activités de préparation d'aliments des ménages et de la restauration continuent de diminuer et d'être confiées à des transformateurs alimentaires aux États-Unis, l'utilisation d'énergie de la transformation alimentaire et de la production agricole devrait s'accroître respectivement encore de 27 % et de 7 %, même si l'énergie incorporée dans les intrants achetés est exclue des calculs. Ces études semblent indiquer qu'il serait très pertinent de se concentrer sur l'utilisation d'énergie des exploitations agricoles, car celle-ci est influencée par les pratiques de gestion agricoles.

La présente étude vient aussi à point nommé, puisque des tentatives de promotion d'images de marque fondées sur les émissions de GES ont déjà commencé. Aux pays-bas, Eosta B.V., grand importateur et distributeur de fruits et de légumes frais biologiques, a tenté d'intégrer des mesures d'émissions de GES dans ses standards destinés aux producteurs afin d'instaurer un système d'étiquetage et de traçage intitulé « Nature and More » permettant aux consommateurs de se renseigner sur les émissions de GES associées à divers produits. Il propose actuellement des orangesⁱⁱ, des tomatesⁱⁱⁱ et d'autres fruits et légumes qui sont accompagnés d'une allégation « neutre en carbone ». La certification relative à la réduction des émissions de GES est effectuée par TÜV^{iv}, organisme certificateur de produits qui est agréé par un organe de l'ONU. L'initiative suédoise « Climate Labelling for Food » (2009), commanditée par le certificateur biologique KRAV (un label suédois) et plusieurs grandes compagnies alimentaires, a permis de développer des normes et des systèmes de vérification préliminaires qui couvrent différents systèmes de

production agricole^v (voir aussi Sonesson et al., 2009a-e). Son objectif est de « diminuer les incidences sur le climat par l'élaboration d'un système d'étiquetage des aliments qui permet aux consommateurs de faire des choix éclairés en fonction des impacts climatiques et aux entreprises d'accroître leur compétitivité ». Les entreprises qui se qualifient pourraient utiliser un label certifiant que la production est sans risque pour le climat. Les deux approches semblent indiquer qu'il est possible de faire la promotion d'une image de marque de l'agriculture biologique par produit, mais il reste encore à explorer le potentiel de promotion d'une image de marque de la production biologique qui serait fondée sur l'ensemble du secteur. Le présent rapport se penche sur la question.

Organisation du rapport

D'abord, nous passons en revue les éléments nécessaires à une approche sectorielle de la promotion d'une image de marque de l'agriculture biologique, puis nous faisons un survol des plus importantes méta-analyses qui ont tenté de tirer des conclusions pour l'ensemble du secteur. Nous dressons ensuite un bilan des données existantes sur les principaux produits, et ce ne sont pas tous les produits qui ont été également étudiés dans la littérature. Nous traitons aussi de questions de portées générales qui s'appliquent à tous les produits, notamment le travail du sol, le compostage et la séquestration de carbone. Enfin, nous examinons les données sur les exploitations agricoles par rapport à certains des plus grands thèmes du système alimentaire afin de resituer la question dans son contexte.

Éléments nécessaires à la promotion d'une image de marque de l'agriculture biologique fondée sur les émissions carbone des exploitations agricoles

La promotion d'une image de marque en lien avec l'environnement est généralement une question de différenciation. Même s'il reste à déterminer la nature exacte de l'approche à adopter pour promouvoir l'image de marque de l'agriculture biologique, le message clé pourrait être que la consommation de produits biologiques est une consommation intelligente; une consommation qui est avantageuse pour l'environnement. Dans son sommaire sur la promotion de l'image de marque des produits biologiques canadiens, Matt Holmes indique que « la valeur de la marque de la production biologique canadienne est définie comme suit : intégrité, durabilité, saine, canadienne, passionnée. Ces cinq éléments sont investis dans nos piliers de la marque – **attentionnée, crédible et engagée** – sur lesquels la production biologique canadienne repose »^{vi}. Le secteur doit clairement communiquer « son respect de normes strictes, les avantages quantifiables et empiriques de l'agriculture biologique, la transparence et la traçabilité en plus de toujours tenir la promesse véhiculée par l'image de marque »^{vii}. Une des forces d'une telle approche est qu'elle suscite l'adhésion du secteur à ses propres valeurs et qu'elle écarte la possibilité que la production biologique soit perçue comme une initiative d'écoblanchiment.

La présente étude se concentre sur les éléments de preuve actuels qui appuient les avantages de l'agriculture biologique canadienne à l'échelle de l'exploitation agricole^{viii}. Si le sommaire précédent se rapporte généralement au secteur, alors nous croyons que les éléments de preuve devraient avoir les qualités suivantes pour justifier une telle image de marque.

1. Il doit y avoir des différences marquées et significatives de la performance des exploitations biologiques et conventionnelles en matière d'utilisation d'énergie et d'émissions de GES. Aucun seuil commun de différences entre les systèmes de production agricoles n'est actuellement reconnu, mais compte tenu de la diversité des systèmes de production, nous posons l'hypothèse qu'il faut obtenir des améliorations moyennes d'au moins 20 % pour chaque type de mesure dans tous les secteurs de production afin de pouvoir justifier des allégations de différences entre le biologique et le conventionnel. Sous ce seuil, les critiques auraient des raisons valables de croire que la variabilité des systèmes n'est attribuable qu'à des corrélations artéfactuelles.
2. L'approche doit être cohérente dans la manière de présenter les émissions, que celles-ci soient exprimées par unité de surface ou par unité de produit. Cette dernière façon, correspondant à « l'intensité des émissions » (c.-à-d. par unité de produit), sert aussi à indiquer des mesures indirectes d'atténuation des émissions (dont l'augmentation des rendements). Selon Bertilsson et al. (2008), même si l'utilisation d'énergie sur le rendement unitaire exprime l'efficacité énergétique du système (qui est souvent inférieure en production biologique), cette mesure est insuffisante pour la comparaison des caractéristiques énergétiques des systèmes de production agricole, en particulier lorsque les rendements sont rapportés par production plutôt qu'en terme de productivité de

l'ensemble de la rotation culturale. Ils recommandent de présenter la production nette d'énergie par unité de surface, car il s'agit d'une mesure plus équitable. Un argument à l'opposé de cette approche est que même si la production biologique nécessite généralement de plus grandes superficies pour produire un rendement global équivalent, elle contribue à la conservation du sol, de l'eau et de la biodiversité aérienne et souterraine, en plus de maintenir et de restaurer des paysages multifonctionnels (Gomiero et al., 2008; Lynch, 2009; Scialabba et Müller-Lindenlauf, 2010), avantages clés non négligeables pour l'environnement. De plus, comme la production conventionnelle est associée à la dégradation de centaines de millions d'hectares de terre sur la planète selon la FAO, et que de nombreuses superficies agricoles sont mal réparties, affectées à des cultures non vivrières, il y a lieu de croire que la disponibilité des terres n'est pas une contrainte aussi importante que le prétendent les détracteurs de l'agriculture biologique.

3. L'approche doit être cohérente quant à savoir si les estimations incluent ou non un crédit pour la séquestration de carbone (C) dans le sol. Nous discuterons de la séquestration de carbone plus loin.
4. Il est essentiel d'adopter une approche cohérente à l'égard des émissions d'oxyde de diazote (N_2O) qui découlent de la fixation biologique d'azote par les légumineuses dans les estimations des émissions de GES de l'exploitation agricole globale et des systèmes culturaux (Lynch, 2009). Les émissions de N_2O du sol sont liées (i) au cycle de l'azote dans le sol et aux pertes découlant des processus de nitrification et de dénitrification, (ii) aux pertes d'azote qui proviennent de la décomposition des résidus de culture. Jusqu'à tout récemment, on croyait que le N_2O était aussi directement émis par les cultures de légumineuses sur pied qui fixent biologiquement le N_2 de l'atmosphère. Les systèmes de production biologique sont grandement tributaires de la fixation de N_2 par les légumineuses (Roberts et al., 2008; Lynch et al., 2008). Comme les émissions de N_2O ne semblent pas provenir directement de la fixation de N_2 par les légumineuses contrairement aux suppositions précédentes du Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat (GIEC, 1997), Rochette et Janzen (2005) ainsi que Janzen et al. (2006) sont d'avis qu'il faut réviser le coefficient du GIEC pour tenir compte des nouvelles données relatives à la fixation du N_2 par les légumineuses, car ce concept est appliqué et reconnu, en particulier dans les études les plus récentes.
5. Il faut des mesures reconnues pour la détermination des différences. Gomiero et al. (2008) présentent les principaux problèmes des études comparatives des systèmes de production biologique et conventionnelle :
 - Le degré d'utilisation à long terme d'une analyse holistique pour l'étude de systèmes de production agricole raisonnée^{ix}, et le problème connexe de comparabilité de systèmes dont les combinaisons de cultures et la charge de bétail peuvent varier considérablement;
 - La variabilité des mesures de comptabilisation de l'énergie; de nombreuses études n'adoptent pas une approche « de la ferme à la table » ou d'analyse du cycle de vie (ACV)^x;
 - La mesure à laquelle l'étude se préoccupe de l'internalisation des coûts externalisés.

Idéalement, des conditions seraient déjà définies pour la réalisation d'une méta-analyse^{xi} d'études; or comme ce n'est pas le cas dans les comparaisons de systèmes de production biologique et conventionnelle, selon Mondalaers et al. (2009), il faut adopter des approches moins rigoureuses pour le moment. À tout le moins, on doit s'entendre sur les éléments et les mesures de comparaison pour s'assurer d'un certain consensus dans l'interprétation des données. Dans de nombreux cas, les émissions de référence des exploitations conventionnelles mesurées varient aussi, ce qui complique la comparaison des productions biologiques et conventionnelles (voir Sonesson et al., 2009a au sujet de la production porcine). Ces écarts peuvent être causés par des différences de méthodologie ou de fonctionnement. D'autres secteurs disposent de tels outils, comme le protocole sur les GES du World Resources Institute (WRI) (www.ghgprotocol.org). À l'heure actuelle, aucune méthodologie normalisée particulière n'est utilisée pour la comparaison de systèmes de production biologique et conventionnelle, quoique bon nombre peuvent suivre les normes du WRI associées au changement d'utilisation des terres, <http://www.ghgprotocol.org/files/lulucf-final.pdf>. Les lignes directrices du GIEC (2007) et celles sur les bilans environnementaux (ISO 14040 et 14044) sont également utilisées.

6. En général, on s'entend pour dire que ces différences se répètent invariablement; autrement dit, qu'elles ne varient pas assez dans le temps et l'espace pour qu'aucun modèle cohérent ne s'en dégage.
7. Les changements représentent une amélioration permanente. L'hypothèse sous-jacente à de telles comparaisons est que l'écart entre la production biologique et conventionnelle vis-à-vis de ces mesures demeure constant.
8. Les différences sont réellement significatives dans le contexte de l'atténuation des émissions de GES et de l'efficacité énergétique du système alimentaire dans son ensemble. Par exemple, est-il plus sensé qu'un plus grand nombre d'agriculteurs se convertissent à la production biologique ou que 50 % des exploitations conventionnelles réduisent considérablement leur utilisation d'engrais azotés? Vaut-il mieux encourager la conversion à l'agriculture biologique ou la réduction marquée de la charge de bétail et de la consommation? Ou est-ce que le soutien des exploitations agricoles biologiques bien gérées, par la démonstration de la viabilité pratique et économique de ces deux options de production, soit la réduction de la charge de bétail et de l'utilisation d'engrais azotés en privilégiant des solutions de rechange, contribue largement à l'atténuation globale des émissions de GES et à l'efficacité énergétique?
9. Qu'il soit possible d'effectuer certaines mesures de vérification à l'échelle du secteur ou de l'exploitation agricole, selon la nature de l'image de marque. Cette étude ne vise pas à examiner les systèmes de vérification en soi, mais plutôt à déterminer si l'état actuel des données permet une vérification.

Par rapport aux exploitations agricoles conventionnelles, les exploitations biologiques ont généralement des rotations culturales plus diversifiées, des charges de bétail plus petites et des besoins en superficie différents, tous des éléments qui influent sur l'utilisation d'énergie. Ainsi, en général, il est plus pertinent de comparer des systèmes de production agricole plutôt que des exploitations particulières au sein de ces systèmes, même si la plupart des études réalisées jusqu'à maintenant se sont basées sur des comparaisons de productions particulières. Les

modèles sont de puissants outils servant à suivre les flux de carbone, d'azote, et d'énergie au sein de systèmes complexes comme les exploitations agricoles entières et à déterminer l'effet net sur les émissions de GES (Janzen et al., 2006). La plupart des pratiques agricoles (dont l'assolement, les taux de fertilisation, le nombre d'animaux, les régimes alimentaires des animaux, les pratiques d'alimentation, les pratiques de travail du sol, l'irrigation, l'entreposage des fumiers) peuvent avoir de multiples effets interactifs sur les émissions d'une ferme, dont l'émission de N_2O et CH_4 et la séquestration de carbone dans le sol. Janzen et al. (2006) ont décrit une approche de modèle pour la détermination des pratiques agricoles les plus efficaces à réduire les émissions totales nettes des exploitations agricoles canadiennes. Mais, à la différence des études européennes (Dalgaard et al., 2001; Olesen et al., 2006; Bos et al., 2007; Halberg et al., 2008; Kustermann et al., 2008), aucune étude nord-américaine n'a tenté jusqu'à maintenant de modéliser et de comparer les émissions de GES des exploitations agricoles entières en regard des pratiques biologiques. De telles études sont extrêmement utiles, car elles servent à intégrer tous les aspects de la gestion agricole, y compris dans certains cas, l'utilisation d'énergie. Au Danemark, par exemple, Dalgaard et al. (2001) ont observé que l'agriculture biologique utilisait moins d'énergie à la fois par hectare et par unité de produit végétal ou animal.

Plus récemment, Agriculture et Agroalimentaire Canada (AAC) a développé Holos, un nouveau logiciel de modélisation agricole intégré. Le logiciel permet d'estimer les émissions nettes de GES d'une exploitation agricole individuelle et de cerner les pratiques qui peuvent atténuer les émissions dans diverses productions. Les algorithmes sont généralement basés sur des méthodes du GIEC, mais ils ont été adaptés aux conditions canadiennes, et le degré de précision est fonction de la quantité de données scientifiques détenues (Little et al., 2008). À la section des analyses sectorielles, nous discuterons des grandes limites de la version courante de Holos (version 1.1x) pour la modélisation de certains secteurs de la production biologique. Comme il en sera question plus loin à la section sur la production laitière, Holos est utilisé pour la modélisation de fermes laitières biologiques commerciales dans le cadre d'un nouveau projet du programme de recherche de la Grappe scientifique biologique. La version actuelle de Holos tient compte des catégories d'émissions suivantes : (i) émissions directes de N_2O – sol ; (ii) C – sol; (iii) CH_4 – fermentation entérique; (iv) émissions directes de N_2O – fumier; (v) émissions indirectes de N_2O – sol et fumier; (vi) CH_4 – fumier; (vii) C – plantations d'arbres en rangée; (viii) CO_2 – consommation d'énergie.

Analyses sectorielles

Dans les analyses sectorielles suivantes, nous parlerons des études dans l'ordre suivant : les études canadiennes, américaines, puis européennes.

Dans leur récente méta-analyse d'une grande variété de comparaisons de systèmes globaux de production biologique et conventionnelle, Gomiero et al. (2008) ont trouvé...

« que la production biologique avait une plus faible utilisation d'énergie à la fois par unité de surface (GJ/ha), de 10 à 70 %, et par unité de rendement (GJ/t), de 15 à 45 %. Voici les principales raisons expliquant l'efficacité supérieure de la production biologique : (1) l'absence d'engrais azotés de synthèse (intrant qui peut représenter 50 % et plus de l'énergie totale incorporée, et dont la production et le transport nécessitent une plus grande quantité d'énergie) (2) une utilisation moindre des autres engrais minéraux (p. ex. P, K), une plus faible consommation de produits alimentaires dont l'énergie incorporée est très élevée (concentrés) et (3) l'interdiction d'utiliser des pesticides et des herbicides chimiques ».

Toutes les études par production démontrent que la production biologique utilise moins d'énergie par unité de surface, quoique certaines études font état d'une utilisation d'énergie plus élevée par unité de rendement, notamment dans les cultures de pomme de terre et de pomme. Dans ces productions, étant donné que les connaissances biologiques ne sont pas aussi poussées qu'en grandes cultures et qu'en production laitière, bon nombre des exploitations biologiques enregistrent des rendements significativement inférieurs aux exploitations conventionnelles, écart qui tend à s'amenuiser avec le temps. Dans ces exemples, en dépit d'une utilisation d'énergie brute inférieure, l'utilisation d'énergie exprimée en fonction du rendement désavantage la production biologique.

Comme dans leur examen d'études sur l'efficacité énergétique, Gomiero et al. (2008) ont trouvé que les émissions de CO₂ des systèmes de production biologique étaient constamment et significativement inférieures à celles des systèmes de production conventionnelle comparables, lorsqu'exprimées par unité de surface, mais que dans certains systèmes, cet avantage disparaissait lorsqu'exprimées par tonne de produits, selon les différences de rendement. La majorité des études examinées avaient été réalisées en Europe, où le caractère intensif de la production conventionnelle se traduit par des différences de rendement plus marquées qu'en Amérique du Nord (MacRae et al., 2007). Leur analyse ne comportait aucune donnée canadienne.

Mondalaers et al. (2009), dont la méta-analyse comporte certaines études non traitées par Gomiero et al. (2008), ont aussi conclu que les émissions de la production biologique exprimées par unité de surface étaient significativement plus faibles et équivalentes lorsqu'exprimées par unité de produit. Les résultats positifs des émissions par unité de surface sont attribuables à une plus faible consommation de concentrés, à une charge de bétail inférieure et à l'absence d'engrais azotés de synthèse.

Kustermann et Hulsbergen (2009), dans leur revue de 33 exploitations agricoles commerciales biologiques et conventionnelles en Allemagne, en examinant les intrants énergétiques directs et

indirects, les flux de GES et la séquestration de carbone, ont trouvé que les exploitations biologiques utilisaient beaucoup moins d'énergie par hectare que les exploitations conventionnelles (2,75 fois moins par unité de surface), mais que même si la moyenne était significativement plus faible (72 % de la production conventionnelle), la plus grande variabilité des émissions de GES/ha des exploitations biologiques signifiait que les écarts supérieurs des émissions des exploitations biologiques étaient comparables à celles des exploitations conventionnelles, quoique les écarts inférieurs étaient significativement plus faibles (28 GES/ha en biologique contre 51 en conventionnel). Les émissions de N₂O et de CO₂ des exploitations biologiques étaient nettement inférieures, et la séquestration de carbone beaucoup plus élevée que celles des exploitations conventionnelles.

Compte tenu de la documentation actuellement disponible, nous examinerons pour chaque secteur, les données sur l'utilisation d'énergie et l'émission des trois principaux GES (CO₂, CH₄, N₂O) ainsi que les études comparatives de productions intensives et extensives, en vue d'interpréter les résultats européens d'une perspective nord-américaine.

Grandes cultures

Snyder et Spaner (2010) se sont récemment penchés sur le caractère durable des productions céréalières biologiques des Prairies canadiennes. Nous discuterons plus en détail de bon nombre de ces études canadiennes examinées ci-dessous. Les auteurs concluent que la qualité des pratiques agricoles biologiques et conventionnelles est primordiale et que les systèmes conventionnels bien gérés peuvent donner de meilleurs résultats que les systèmes biologiques, c'est-à-dire que l'adoption de certaines pratiques biologiques en agriculture conventionnelle pour la production de grandes cultures pourrait améliorer le coût en carbone généralement plus élevé de ces systèmes.

Nelson et al. (2010), dans une récente enquête réalisée auprès de 250 céréaliculteurs biologiques et conventionnels des Prairies, présentent d'autres données qui prouvent les différences de pratiques agricoles de ces systèmes de production, notamment le recours aux jachères labourées, au compost et aux engrais verts. Nous discuterons plus en détail à la section sur le travail du sol des incidences nettes du travail accru du sol (dont la jachère) et de l'ajout fréquent d'intrants de carbone (résidus de cultures et amendements) sur la séquestration de carbone dans le sol dans les exploitations biologiques qui produisent des céréales.

Selon les conclusions d'une étude au Manitoba où on a comparé deux régimes de production (biologique et conventionnel) au niveau de l'utilisation d'énergie, des extrants énergétiques et de l'efficacité énergétique, pendant 12 ans, le temps de deux rotations à base de plantes fourragères et de céréales, le régime biologique a utilisé 50 % moins d'énergie que celui conventionnel (Hoepfner et al., 2006). Les rotations biologiques et intégrées (c.-à-d. celles comprenant des fourrages) avaient la meilleure efficacité énergétique (extrants/intrants énergétiques). Le travail du sol variait selon le régime de production, surtout sur le retour de luzernière; en conventionnel des herbicides étaient utilisés, tandis qu'en biologique, un cultivateur à dent était passé deux à trois fois. La lutte contre les mauvaises herbes se faisait au moyen d'herbicides en conventionnel et au moyen de légers hersages sporadiques en biologique. En plus du rendement des cultures, les données recueillies portaient sur tous les intrants de production (semences, engrais, pesticides), le carburant et la machinerie nécessaire à tous les travaux au champ. Ces informations ont ensuite été converties en valeurs énergétiques (MJ/ha). L'absence d'engrais

azotés de synthèse est le principal facteur expliquant la réduction des intrants énergétiques et le gain d'efficacité. Certains pourraient faire valoir que le recours relativement limité aux moyens de lutte mécaniques contre les mauvaises herbes de l'étude de Hoepfner et al. (2006) est peu représentatif de bon nombre des systèmes actuels de production biologique commerciale. Des informations du genre « Situation de l'industrie », comme celles présentées dans la récente étude de Nelson et al. (2010), qui font un portrait de la situation et qui fournissent des données sur les pratiques de travail du sol de la production céréalière biologique, pourraient servir de base à l'évaluation des incidences des pratiques de travail du sol sur les émissions nettes de GES en agriculture. Au début, l'évaluation pourrait être faite au moyen de systèmes virtuels de modèles agricoles et du logiciel Holos ou d'un autre modèle approprié. Toutefois, comme il est mentionné plus loin dans l'étude de Khakbazan et al. (2009), et à la section sur le travail du sol, et aussi dans les conclusions de Zentner et al. (2004), l'intensité et le type du travail du sol ont généralement un effet global mineur sur l'utilisation totale d'énergie à la ferme.

Khakbazan et al. (2009) ont comparé, au Manitoba, 16 différentes pratiques culturales alternatives pour une rotation à base de blé et de pois et en ont analysé le revenu d'exploitation, l'efficacité de l'utilisation d'énergie non renouvelable et les émissions de GES. Même si cette étude ne comprenait aucun système de production strictement biologique, elle est tout de même informative, car elle a évalué l'incidence de traitements à « faibles intrants » sur des cultures de blé à des taux d'application d'engrais azotés de 20, 40, 60 et 80 kg N/ha et à des doses réduites d'herbicides par rapport à celles recommandées. Les essais sur les deux cultures comparaient aussi deux options d'ensemencement, une avec une perturbation élevée du sol (PES) et l'autre avec une faible perturbation du sol (FPS). Les 16 systèmes de production ont été évalués sur quatre ans, soit deux cycles de rotation, au moyen de données provenant d'essais au champ qui ont été effectués sur deux types de sols (loam argileux et loam). À l'aide de coefficients surtout tirés de l'étude de Nagy (2000), les émissions directes de CO₂ des intrants (dont le diesel, les lubrifiants et l'électricité) et les émissions de CO₂ associées à tous les aspects liés de la fabrication d'engrais dont les intrants, la production et le transport, ont été estimées. Les émissions indirectes de CO₂ ont été estimées pour la machinerie et les pesticides. Les pertes de méthane (CH₄) provenaient principalement des carburants. Les émissions de N₂O, comme d'ailleurs dans tous les systèmes culturaux, sont liées (i) au cycle de l'azote dans le sol et aux pertes de N₂O qui découlent des processus de nitrification et de dénitrification, (ii) aux pertes d'azote qui émanent de la décomposition des résidus culturaux où le processus du cycle de l'azote intervient aussi ici, comme en (i). À noter que dans cette étude, on a supposé qu'aucune émission de N₂O n'était produite par les légumineuses. Les extrants énergétiques sont obtenus en soustrayant de la teneur en énergie brute des grains récoltés les besoins énergétiques de la semence. Les efficacités énergétiques (ou intensités énergétiques) (les extrants énergétiques moins les intrants énergétiques, ou exprimées sous forme de rapport des extrants sur les intrants ou encore de la quantité de grains produits par unité d'intrant énergétique) ont été exprimées sur une base par hectare pour les rotations dans leur ensemble et pour chaque culture des rotations. L'utilisation d'énergie des engrais, en particulier l'azote, était le plus grand intrant énergétique, comptant pour 52 % de l'énergie totale utilisée, suivi des carburants et lubrifiants à 34 %, des herbicides à 8 % et de la fabrication et réparation des machineries à 6 %. Dans l'ensemble, la hausse des émissions de GES associée à l'augmentation des doses d'engrais azotés n'a pas été compensée par un accroissement des rendements (et du carbone retenu), et l'augmentation des doses d'engrais azotés de 20 à 80 kg N/ha a entraîné une hausse des besoins énergétiques totaux

de la ferme de 40 %. Il a été observé que les teneurs en azote disponible dans le sol, qui étaient de modérées à élevées, réduisaient la réponse à la fertilisation azotée. Or, on peut s'attendre à de pareils résultats après l'incorporation d'engrais verts avant de cultiver du blé, pratique courante en production biologique. Ainsi, l'efficacité énergétique était supérieure aux doses les plus faibles d'application d'engrais azotés dans les deux systèmes de travail du sol, et l'efficacité des extrants céréaliers (kg par GJ d'intrant énergétique) diminuait d'environ 800 à 650 en moyenne tandis que le rapport extrants sur intrants énergétiques diminuait d'environ 13 à 7 en moyenne à mesure que l'intrant d'engrais azoté augmentait. Dans le semis avec faible perturbation du sol, il y a eu effectivement une augmentation de la séquestration de carbone dans le sol comparativement au semis avec forte perturbation du sol, mais l'effet global du mode de travail du sol a été négligeable par rapport à l'utilisation totale d'énergie à la ferme. À noter que les émissions totales des légumineuses (pois) étaient beaucoup plus faibles que celles du blé, car les légumineuses ont reçu moins d'engrais azotés.

Selon les conclusions d'un exercice de modélisation, au moyen d'une ACV, de la conversion au biologique des productions conventionnelles de canola, de blé, de soya et de maïs à la grandeur du Canada, les cultures biologiques consommeraient 39 % autant d'énergie et généreraient 77 % des émissions associées au PRP, 17 % des émissions associées à l'appauvrissement de la couche d'ozone et 96 % des émissions acidifiantes (dioxyde de soufre) associées à la production nationale actuelle de ces cultures. Les différences les plus grandes étaient dans le canola, et les plus petites, dans le soya, cultures dont les besoins en azote sont respectivement les plus élevés et les plus faibles (Pelletier et al., 2008). En général, le remplacement des engrais azotés de synthèse par de l'azote biologique et les réductions nettes associées aux émissions des champs sont les facteurs ayant le plus contribué à la meilleure performance des productions biologiques. Selon les auteurs, il faudrait que les rendements biologiques soient extrêmement inférieurs à ceux des cultures conventionnelles pour que les réductions d'émissions de GES s'annulent, mais leurs hypothèses de rendements biologiques à 90-95 % de ceux des cultures conventionnelles (taux fréquemment utilisés dans les études américaines) peuvent ne pas être représentatives des rendements de tous les territoires canadiens (MacRae et al., 2007).

En se servant de données recueillies dans des essais portant sur des systèmes culturaux à long terme, réalisés entre 1996 et 2007, à Scott (Saskatchewan), Zentner et al. (2009) ont étudié : (i) les intrants d'énergie non renouvelable et l'efficacité énergétique; (ii) l'intérêt économique de neuf systèmes culturaux soumis à trois différents types de gestion des intrants et à trois intensités de diversification des cultures. Voici les différents modes de gestion des intrants évalués : (i) intrants élevés (IE) avec travail du sol conventionnel et application des doses recommandées d'engrais et de pesticides, au besoin; (ii) intrants réduits (IR) avec travail de conservation du sol et gestion raisonnée de la lutte contre les mauvaises herbes et de la fertilisation; (iii) intrants biologiques (IB) avec travail du sol, lutte antiparasitaire non chimique et cultures de légumineuses pour la restitution des éléments nutritifs du sol. Voici les différentes intensités de diversification des cultures : (i) rotation faiblement diversifiée avec jachère (RFD); (ii) rotation diversifiée avec céréales, oléagineuses et légumineuses à grains (RDGA); (iii) rotation diversifiée avec céréales annuelles et plantes fourragères vivaces (RDAV). Tous les essais ont duré six ans. Les intrants énergétiques totaux étaient les plus élevés dans les traitements IE et IR (3 855 MJ/ha), tandis que ceux du traitement IB étaient de 51 % inférieurs. Les économies d'énergie observées dans le traitement IB sont surtout attribuables à l'absence d'engrais et de pesticides inorganiques. De plus, l'utilisation totale d'énergie était supérieure dans le traitement

RDGA (3 609 MJ/ha), et semblable, mais d'environ 17 % inférieure dans les traitements RDAV et RFD. Ainsi, les besoins énergétiques les plus élevés (4 465 MJ/ha) étaient associés aux traitements IE/RDGA et IR/RDGA, et les plus faibles aux traitements IB/RDAV (1 806 MJ/ha). Les extrants énergétiques étaient généralement les plus élevés dans le traitement IE (26 543 MJ/ha) (et d'environ 4 % plus bas dans les traitements IR), et de 37 % plus bas dans le traitement IB, en raison de rendements plus faibles. L'efficacité énergétique, exprimée par le rendement en céréales et en fourrages par unité d'intrant énergétique ou par le ratio extrant sur intrant énergétique, était supérieure dans le traitement IB (501 kg de produits récoltés/GJ ou un ratio de 8,85), et plus basse, mais semblable dans les traitements IE et IR (377 kg de produits récoltés/GJ ou un ratio de 6,79). Les auteurs ont conclu que la combinaison du régime biologique et de la rotation diversifiée avec fourrages vivaces (RDAV) était le système cultural qui était le plus efficace sur le plan énergétique, et que les traitements IR/RFD et IR/RDGA étaient généralement les moins efficaces.

Dans la plupart des systèmes de production biologique de grandes cultures, les apports d'intrants azotés totaux au sol et le potentiel d'émissions de N₂O sont réduits par rapport aux systèmes conventionnels. Néanmoins, il y a un risque accru d'émissions de N₂O chez les exploitations biologiques après le lessivage rapide de l'azote minéralisé dans le sol suite à l'incorporation d'engrais verts à base de légumineuses ou de résidus de cultures. Or, comme l'ont noté Scialabba et Müller-Lindenlauf (2010), lorsque les émissions de N₂O sont mesurées sur l'ensemble de la rotation culturale, elles sont généralement inférieures dans les systèmes de production biologique de grandes cultures. Les auteurs citent une étude allemande où les émissions, après avoir plafonné à 9 kg de N₂O/ha suite à l'incorporation de légumineuses, étaient en moyenne de 4 kg de N₂O/ha dans le système biologique contre 5 kg de N₂O/ha dans le système conventionnel. Dans une autre étude européenne, Petersen et al. (2006), qui ont suivi les émissions de N₂O de cinq séries de rotations^{xiii}, ont constaté que les émissions de N₂O étaient plus faibles dans les rotations de cultures biologiques que dans les rotations de cultures conventionnelles, allant de 4,0 à 8,0 kg de N₂O-N/ha pour toutes les cultures à mesure que les intrants azotés totaux s'élevaient de 100 à 300 kg de N/ha/an.

Aux États-Unis, Pimentel et al. (2005) ont comparé les intrants énergétiques moyens (en millions de kilocalories/ha/an) de cultures de maïs et de soya soumises à trois différents systèmes culturaux de 1981 à 2002 : (i) un régime biologique à base de fumier et de légumineuses; (ii) un régime biologique à base de légumineuses; (iii) un régime conventionnel. Dans les deux régimes biologiques, les intrants d'énergie fossile étaient en moyenne d'environ 30 % inférieurs à ceux du régime conventionnel pour la culture de maïs. Robertson et al. (2000) ont comparé, dans le Midwest américain, le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) net de systèmes de production de maïs, de soya et de blé soumis à différents traitements pendant huit ans : travail du sol conventionnel, semis direct, régime à faibles intrants et régime biologique. Après la conversion en éq. CO₂ (g CO₂/m²/an) des effets combinés de la production mesurée de N₂O, de l'oxydation du CH₄, de la séquestration de carbone et des coûts en CO₂ des intrants agricoles, les auteurs ont conclu qu'aucun des systèmes ne présentait une atténuation nette du PRP, et que la production de N₂O a été la seule source ayant un PRP important. Le semis direct avait le plus faible PRP (14), suivi du régime biologique (41), du régime à faibles intrants (63) et du travail du sol conventionnel (114).

Dans le cadre d'un projet à long terme de l'USDA-ARS à Beltsville (Maryland, États-Unis), Cavigelli et al. (2009) ont publié des calculs de PRP pour des systèmes culturaux soumis à trois traitements : semis direct (SD); travail du sol au moyen de chisel (TSC); régime biologique (RB3). Ils ont aussi calculé l'intensité des émissions de GES (IGES) qui équivaut au rapport du PRP/unité de rendement en grains. La contribution de l'utilisation d'énergie au PRP était respectivement de 807, de 862 et de 344 kg d'éq. CO₂/ha/an pour les traitements SD, TSC et RB3. La contribution du flux de N₂O au PRP était respectivement de 303, de 406 et de 540 kg d'éq. CO₂/ha/an pour les traitements SD, TSC et RB3. La contribution de la variation du carbone dans le sol au PRP était respectivement de 0, de 1 080 et de -1 953 kg d'éq. CO₂/ha/an pour les traitements SD, TSC et RB3. Le PRP (kg d'éq. CO₂/ha/an) était positif pour les traitements SD (1 110) et TSC (2 348), mais négatif dans le cas du RB3 (-1 069), en raison principalement des différences de carbone dans le sol, puis en raison des différences d'utilisation d'énergie des systèmes. Même si le traitement RB3 avait un rendement relativement faible, son IGES (kg d'éq. CO₂/tonne de grains) était aussi négative (-207) et significativement inférieure aux traitements SD (330) et TSC (153). RB3 constituait ainsi un puits de carbone net, alors que SD et TSC étaient des sources nettes d'émissions en eq. CO₂. Selon les auteurs, les pratiques biologiques courantes, comme l'incorporation au sol d'engrais verts à base de légumineuses et de fumier, peuvent entraîner une atténuation du PRP et de l'IGES par rapport au semis direct et au travail du sol par chisel, principalement parce que ces pratiques augmentent le carbone dans le sol.

Dans une autre étude américaine, Meisterling et al. (2009), au moyen d'une approche hybride d'ACV, ont comparé le potentiel de réchauffement planétaire (PRP) et l'utilisation d'énergie primaire liés aux processus de la production du blé (y compris les intrants agricoles), sous régimes conventionnel et biologique, et de son transport au sein des États-Unis. Ils ont estimé que le PRP d'un pain de blé biologique d'un kilogramme pesait environ 30 g d'éq. CO₂ de moins que le PRP d'un pain conventionnel. Toutefois, lorsque le blé biologique était transporté à 420 km plus loin à des fins de commercialisation, les deux systèmes avaient des impacts semblables. Ils ont posé comme hypothèses que les rendements biologiques équivalaient à 75 % des rendements conventionnels moyens (2,8 tonnes/ha) et que les deux systèmes avaient un même potentiel de séquestration de carbone dans le sol, alors ce dernier facteur n'a pas été comptabilisé dans les calculs pour le crédit d'atténuation. En comparant seulement la production à la ferme sans transport, les auteurs ont estimé que l'impact sur le PRP de la production de 0,67 kg de farine de blé conventionnel (nécessaire à la production d'un pain d'un kilogramme) avait un impact sur le PRP de 190 g d'éq. CO₂ contre 160 pour la farine de blé biologique. Le travail du sol sous le régime biologique représentait 600 J d'énergie (ou 42 g d'éq. CO₂) contre 450 J (ou 32 g d'éq. CO₂) en conventionnel. Par comparaison, la production d'engrais à base de N et de P a ajouté un total de 820 J (ou 57 g d'éq. CO₂) au PRP global du système conventionnel. Ils ont supposé que les émissions de N₂O du sol étaient un facteur contributif important à l'égard du PRP des deux systèmes, et les ont considérées équivalentes à 96 g d'éq. CO₂. Comme l'ont noté les auteurs, la séquestration de carbone dans le sol et les émissions de N₂O sont des éléments plus incertains (les intervalles d'incertitude sont supérieurs à la différence de PRP calculée entre les deux systèmes), alors « l'incertitude et la variabilité inhérentes à ces processus rendent ardue la tâche de déterminer de manière absolue les émissions de GES des productions biologique et conventionnelle à des fins de comparaison destinées aux producteurs et aux consommateurs ». À noter que lorsque le blé était principalement expédié par

train, les impacts du cycle de vie sur le PRP se trouvent considérablement réduits par rapport à ceux du transport par camion.

Parmi les catégories d'émissions prises en compte par le modèle Holos déjà énumérées précédemment, la plus grande incertitude est aussi liée aux émissions directes de N₂O du sol et aux émissions indirectes de N₂O du sol et des fumiers (Little et al., 2007). À l'appui de l'hypothèse de Meisterling et al. (2009) qui supposait que les émissions de N₂O des régimes biologique et conventionnel de la production de blé étaient équivalentes, Carter et al. (2009), après avoir pris des mesures directes des émissions de N₂O – au printemps, à l'été et à l'automne-hiver – d'une production de blé d'automne soumise à un régime conventionnel et à trois différents régimes biologiques, ils ont constaté que tous les systèmes avaient des émissions de N₂O semblables lorsqu'elles étaient associées à une quantité donnée de grains.

La méta-analyse des intrants d'énergie directe et indirecte, des flux de GES et de la séquestration de carbone de 33 fermes commerciales biologiques et conventionnelles en Allemagne, qu'ont réalisée Kustermann et Hulsbergen (2009), a permis de conclure, comme déjà mentionné, que l'utilisation d'énergie des exploitations biologiques était 2,75 fois plus faible par unité de surface que celle des exploitations conventionnelles (785 contre 2 165 kg d'éq. CO₂/ha). La méta-analyse de Gomiero et al. (2008), quant à elle, comprend trois études européennes d'analyse de systèmes de production de blé d'automne que Stolze (2000) avait déjà été traitées. Les émissions de CO₂ par unité de surface (kg de CO₂/ha) étaient en moyenne de 50 % plus faibles dans les systèmes biologiques alors que les émissions par unité de production de céréales (kg de CO₂/ha) étaient inférieures dans deux des études (de 21 %) et supérieures dans l'autre (de 21 %).

En Allemagne, Deike et al. (2008) ont comparé les données de répétitions d'essais à long terme (de 1997 à 2006) en champ. Les essais comportaient un traitement sous régime biologique (RB) et deux traitements sous gestion intégrée (GI). Sur l'ensemble des années et des récoltes, les intrants énergétiques moyens du traitement RB (8,1 GJ/ha) étaient de 35 % inférieurs aux traitements GI (12,4 GJ/ha). Les plus grandes composantes des intrants énergétiques du traitement RB étaient le diesel (29 %) et les engrais minéraux (37 %). Les engrais azotés minéraux (N) représentaient 28 % des intrants énergétiques totaux du traitement RB. Halberg et al. (2008) ont examiné cinq études européennes qui comparaient l'utilisation d'énergie de régimes conventionnel et biologique de production de cultures commerciales (céréales et légumineuses à grains). Ils ont conclu que l'utilisation d'énergie est habituellement plus faible en biologique qu'en conventionnel, à la fois par hectare et par unité de produit.

Nemecek (2005), cité dans l'étude de Niggli et al. (2008), a constaté, à l'analyse des données de deux études comparatives de systèmes de production à long terme en Europe, que le PRP de toutes les productions biologiques était de 18 % plus faible par unité de produit que celui des productions conventionnelles.

Dans une étude récente réalisée en Espagne, Alonso et Guzman (2010) ont comparé 78 productions biologiques et leurs contreparties conventionnelles. Environ 25 % des essais étaient des comparaisons de cultures de blé, de pois, d'orge, d'avoine, de riz et de fèverole à gros grains. Les données primaires ont été obtenues au moyen d'enquêtes directes effectuées auprès d'exploitations à l'échelle nationale. Selon les résultats obtenus, les productions biologiques

avaient une efficacité d'utilisation d'énergie non renouvelable supérieure à celle des productions conventionnelles (8,27 MJ/MJ d'intrant contre 6,70 MJ/MJ d'intrant), tandis que leur utilisation d'énergie non renouvelable était inférieure. À noter que la différence observée entre les systèmes de production était beaucoup plus grande pour les cultures arables que pour les autres types de productions, comme les légumes de champ et de serre et la production fruitière. Les auteurs concluent que l'augmentation des superficies consacrées à l'agriculture biologique améliorerait considérablement la durabilité énergétique de l'agriculture espagnole.

En résumé, malgré le petit nombre d'études canadiennes, la forte concordance des données, collectées dans divers territoires pour différentes productions, indique que les grandes cultures arables (céréales, légumineuses à grains, oléagineuses et fourrages) sous régimes biologiques consomment moins d'énergie et ont une meilleure efficacité énergétique que celles sous régimes conventionnels, tant par hectare que par unité de produit, et permettent d'obtenir des améliorations supérieures au seuil de 20 % proposé. Certaines des études examinées (aucune étude canadienne) ont aussi évalué le PRP de grandes cultures soumises à différents régimes (voir les résumés précédents de Robertson et al., 2000; Nemecek, 2005; Gomiero et al., 2008; Kustermann et Hulsbergen, 2009; Meisterling et al., 2009; Cavigelli et al., 2009). Ici encore, bien que les conclusions soient moins définitives que dans le cas de l'utilisation d'énergie, et compte tenu des facteurs déjà mentionnés au sujet notamment de l'incertitude liée aux émissions de N₂O, de la variabilité méthodologique des études, des hypothèses sur la séquestration de carbone dans le sol et sur les émissions de N₂O par les légumineuses, la concordance des études examinées suggère ici que les régimes biologiques en grandes cultures permettent aussi d'améliorer le PRP à la fois par hectare et par unité de produit comparativement aux régimes conventionnels.

Tableau sommaire 1

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Hoepfner et al., 2006	Manitoba, Canada	Essais comparatifs en champ	Utilisation E (MJ/ha) Efficacité E (MJ/MJ d'intrants)	50 %	20 %
Zentner et al., 2009	Sask., Canada	Essais comparatifs en champ	Utilisation E (MJ/ha) Efficacité E (MJ/MJ d'intrants)	51 %	24 %
Pelletier et al., 2008	Canada	ACV (de conversion)	éq. CO ₂ /ha éq. CO ₂ /ha	61 % 23 %	
Robertson et al., 2000	É.-U.	Essais comparatifs en champ	PRP (g/m ²)	64 % ¹	
Pimentel et al., 2005	É.-U.	Essais comparatifs en champ	Utilisation E non renouvelable (MJ/ha)	30 %	
Cavigelli et al., 2009	É.-U.	Essais comparatifs en champ	Utilisation E (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /unité de grains)	57 % 69 % ² 42 % ³	

Miesterling et al., 2009	É.-U.	ACV	PRP (éq. CO ₂ /kg pain)	16 %	
Nemecek, 2005 (dans Niggli et al., 2007)	Europe	Essais comparatifs en champ	PRP (éq. CO ₂ /unité de produit)	18 %	
Kustermann et Hulsbergen, 2009	Allemagne	Méta-analyse	Utilisation E (éq. CO ₂ /ha)	64 %	
Gomiero et al., 2008	Europe	Méta-analyse (dont 3 études sur le blé)	PRP (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /kg de grains)	50 % 21 % (2 études)	21 % (1 étude)
Deike et al., 2008	Allemagne	Modélisation d'essais à long terme	Intrants E (GJ/ha)	35 %	
Alonzo et Guzman, 2010	Espagne	Méta-analyse de données d'enquête	Efficacité E (MJ/MJ d'intrants)		24 %

¹Nota : le semis direct était supérieur au régime biologique, mais son PRP était seulement de 14 contre 41 en biologique et 114 en conventionnel.

² Par comparaison au semis direct, le gain est de 51 %.

³ Par comparaison au semis direct, le gain est de 61 %.

Les productions animales (comprennent des pâturages et des plantes fourragères, le cas échéant)

Peu d'études ont été réalisées sur les productions animales, et les comparaisons sont plus difficiles à faire, car il existe de très grandes différences entre les exploitations, en particulier dans les productions porcine et avicole. Il y a donc encore plein de possibilités de recherche sur les systèmes d'élevage biologique et les émissions de GES au Canada.

Production bovine

Il est bien connu que la production bovine a une efficacité énergétique beaucoup plus faible que les productions végétales, car elle a besoin de sept fois plus d'intrants pour produire un même extrant calorifique (Smil, 2001). En proportion, les émissions de GES de la production bovine sont supérieures aux productions avicole (et d'œufs), porcine, laitière et végétales. En revanche, comme l'ont constaté Sonesson et al. (2009d), les résultats des études d'évaluation de l'impact net des GES émis par la production bovine sont généralement très variables en raison des différences méthodologiques, des limites des systèmes et de la diversité des systèmes de production.

Niggli et al. (2008), après avoir résumé les études de Bos et al. (2007), de Nemecek (2005), d'Öko-Institut (2007) et de Kustermann et al. (2008), ont suggéré que les émissions nettes de GES de la production bovine étaient de l'ordre de 10 kg d'éq. CO₂/kg de viande produite contre 2 à 3 kg d'éq. CO₂/kg de produit pour les productions avicole (et d'œufs) et porcine, 1 kg d'éq. CO₂/kg de lait et généralement moins de 0,5 kg d'éq. CO₂/kg de produit pour les systèmes de productions végétales.

Sonesson et al. (2009d), après avoir compilé des articles publiés en Europe, au Brésil et au Canada, ont observé de plus grands écarts dans les données sur les émissions nettes de GES (de 14 à 32 kg d'éq. CO₂/kg de viande produite). Une seule étude canadienne faisait partie de leur

étude, celle de Verge et al. (2008). Dans cette étude et dans toutes les autres citées, les émissions de méthane représentaient entre 50 et 75 % des émissions totales de GES. Comme l'ont mentionné Niggli et al. (2008) et d'autres auteurs, même si le méthane émis par les ruminants est une limitation majeure à leur utilisation, lorsque ces animaux utilisent efficacement des terres souvent peu productives, ils jouent un rôle important dans la sécurité alimentaire mondiale, car la capacité unique des ruminants à digérer le fourrage grossier des pâturages permet d'utiliser efficacement des terres marginales.

En Irlande, Casey et Holden (2006) ont adopté une approche d'ACV des animaux « de leur naissance à leur sortie de la ferme » pour estimer les émissions annuelles à la fois par kilogramme de poids vif (PV) sorti de la ferme (kg de CO₂/kg de PV/an) et par hectare (kg de CO₂/ha/an). Ils ont évalué les émissions de quinze unités d'élevage de vache-veau (cinq unités conventionnelles, cinq unités membres d'un système de gestion agroenvironnemental irlandais et cinq unités biologiques) qu'ils ont exprimées par unité de produit et par unité de surface. Les émissions moyennes par unité de produit des unités conventionnelles, des unités membres du système agroenvironnemental et des unités biologiques étaient respectivement de 12,2, de 13,0 et de 11,1 kg CO₂/kg de PV/an, tandis que leurs émissions moyennes par unité de surface étaient respectivement de 5 346, de 4 372 et de 2 302 kg de CO₂ ha/an. Le PRP augmentait linéairement, à la fois par hectare et par unité de poids vif sorti de la ferme, à mesure que s'élevait la charge de bétail de l'exploitation, la dose d'application des engrais azotés, et les concentrés alimentaires servis. Selon les auteurs, le passage à un élevage plus extensif, pratique courante en production biologique, pourrait réduire les émissions à la fois par unité de produit et par unité de surface, alors qu'il y avait une baisse de la production de poids vif par hectare.

Flessa et al. (2002) ont comparé deux systèmes d'élevage bovin dans une station de recherche allemande; l'un avait un système d'alimentation conventionnel avec confinement des animaux, l'autre était sur pâturages biologiques. Dans les deux systèmes, les émissions de N₂O, qui émanaient principalement du sol, représentaient la majorité des émissions totales de GES (~60 %), alors que les émissions de CH₄ comptaient pour 25 % des émissions totales. Le PRP combiné par unité de surface des systèmes d'élevage biologique et conventionnel était respectivement de 3,2 et de 4,4 tonnes d'éq. CO₂/ha. Lorsqu'exprimé par unité de produit (c.-à-d. par poids vif de bœuf de 500 kg), le rendement associé au PRP ne variait pas entre les deux systèmes, en raison surtout du fait que la productivité du système avec confinement était d'environ 20 % supérieure à l'autre système, quoique les émissions de ce système étaient aussi supérieures dans l'ensemble.

En Australie, Peters et al. (2010) ont étudié trois scénarios au moyen d'ACV : (1) une chaîne d'approvisionnement de mouton en Australie-Occidentale; (2) une chaîne d'approvisionnement de bœuf biologique à Victoria; (3) une chaîne d'approvisionnement de bœuf d'exportation de qualité supérieure de la Nouvelle-Galles-du-Sud, dont les animaux étaient finis sur une période de 110 à 120 jours en parc d'engraissement. Les données relatives à chaque chaîne d'approvisionnement ont été recueillies sur deux années distinctes. Les auteurs ont estimé les émissions de GES en considérant tous les aspects liés à la production de la viande rouge comme l'utilisation d'énergie à la ferme, les processus entériques, la gestion des fumiers, le transport du bétail, le transport des produits, l'approvisionnement en eau et l'administration. Selon leurs conclusions, bien que les pratiques d'élevage biologique soient moins énergivores que les pratiques d'élevage conventionnel, leur empreinte carbone peut être supérieure, car l'énergie

additionnelle requise pour la production et le transport des aliments du bétail semble être compensée par les gains d'efficacité obtenus en parc d'engraissement, même si l'étape de la finition en parc d'engraissement représente 22 % du PRP total de la chaîne d'approvisionnement de bœuf.

Sonesson et al. (2009d), dans leur rapport déjà mentionné précédemment, notent qu'il existe peu d'études systématiques fournissant des données sur le PRP de différents systèmes d'élevage bovin en Suède. Ils présentent cependant le PRP par unité de produit de trois différents systèmes d'élevage : un régime biologique, un régime sur pâturage libre de type « ranch » et un régime d'élevage suédois « conventionnel », à la suite d'études réalisées par ce même groupe de chercheurs (Cederberg et al., 2000, 2004, 2009). Le PRP moyen des régimes biologique, sur pâturage libre et conventionnel était respectivement de 22, 24 et 28 kg d'éq. CO₂/kg de viande.

Tableau sommaire 2

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Casey et Holden, 2006	Irlande	ACV	PRP (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /kg viande)	57 % 15 %	
Flessa et al., 2002	Allemagne	Étude comparative de systèmes	Utilisation E (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /ha) PRP (éq. CO ₂ /kg viande)	16 % 27 % 0 %	
Peters et al., 2010	Australie	ACV	Utilisation E (MJ/kg viande) PRP (éq. CO ₂ /kg viande)	3 %	9 %
Sonesson et al., 2009d	Suède	Deux ACV	PRP (éq. CO ₂ /kg viande)	21 %	

Il existe peu d'analyses concluantes dans cette production, notamment pour l'Amérique du Nord. Bien que la production biologique de bœuf semble avoir un PRP réduit par hectare, cette tendance est moins évidente lorsque le PRP est exprimé par unité de viande produite. Dans les études disponibles, les données, surtout sur l'utilisation d'énergie et l'efficacité énergétique, ont été difficiles à distinguer des impacts nets des PRP mentionnés, mais la production biologique a tendance à donner de meilleurs résultats par unité de surface et par unité de produit.

Production laitière

Selon un exercice de modélisation de 19 différents systèmes de production laitière du Canada Atlantique, le régime biologique sur pâturage saisonnier aurait une efficacité énergétique de 64 % supérieure et des émissions de GES de 29 % inférieures à la moyenne de tous les autres systèmes analysés (Main, 2001; Main et al., 2002). Dans une autre étude, où l'on a comparé un système de production laitière non biologique sur pâturage saisonnier et un système de production conventionnelle avec confinement, il n'y avait pas de différences significatives qui prouvent que la pratique biologique permet d'obtenir un gain important d'efficacité (Arsenault et al., 2009). Cette étude a réalisé des analyses du cycle de vie (ACV) pour comparer les impacts environnementaux d'exploitations laitières types sur pâturages et avec confinement en Nouvelle-Écosse. Les données sur les intrants et extrants agricoles et les intrants énergétiques des systèmes ont été obtenues auprès de chercheurs locaux et de représentants de l'industrie, puis

les incidences du cycle de vie ont été quantifiées selon 11 catégories d'impacts environnementaux. L'utilisation de concentrés alimentaires, d'engrais azotés, de carburants pour le transport et d'électricité étaient les facteurs qui contribuaient le plus aux impacts environnementaux. Fait quelque peu surprenant, le pâturage sur cinq mois par année (représentatif des systèmes de pâturage en Nouvelle-Écosse) a eu peu d'incidence sur les impacts environnementaux globaux. Par contre, d'après les résultats de modélisation, le pâturage prolongé pourrait être bénéfique. Par rapport au confinement total, le scénario de pâturage sur sept mois donne de meilleurs résultats dans sept des onze catégories évaluées d'impacts environnementaux et présente des améliorations possibles supérieures au niveau du potentiel d'acidification, de l'appauvrissement de la couche d'ozone, de la toxicité pour les humains et de l'écotoxicité de l'eau douce. En revanche, l'utilisation des terres est la seule catégorie où une dépendance accrue aux pâturages peut entraîner un accroissement marqué de l'impact environnemental.

Selon une étude récente de 15 fermes laitières biologiques en Ontario, la charge d'éléments nutritifs agricoles N-P-K importés et exportés et le risque de pertes dans l'air et l'eau sont grandement réduits en production biologique commerciale par rapport à des systèmes de production intensive avec confinement dans l'est de l'Amérique du Nord (Roberts et al., 2008). Toutefois, à mesure que la charge de bétail (et le surplus d'azote agricole) des fermes biologiques variait et augmentait, l'autosuffisance alimentaire diminuait. Comme mentionné plus loin, il a été suggéré d'utiliser le surplus d'azote agricole comme indicateur des émissions nettes de GES par hectare associées à l'agriculture (Olesen et al., 2006). On ignore dans quelle mesure cette différente approche de gestion, comparativement aux régimes de production (biologique et conventionnel), influe sur les émissions de GES et l'utilisation d'énergie en agriculture. Cette question est au cœur du nouveau projet du volet Gestion environnementale, intitulé « Modélisation de l'énergie, de l'efficacité des éléments nutritifs et du PRP de différents systèmes de production à l'échelle de la ferme » de la Grappe scientifique biologique. Au moyen de HoloS, nouveau logiciel de calcul des émissions de GES à la ferme, le projet permettra d'établir les relations entre l'intensité de la production laitière biologique, les flux d'éléments nutritifs, la fixation biologique de l'azote par les légumineuses, l'utilisation d'énergie et les émissions de GES. L'utilisation d'énergie sera déterminée à la fois pour les intrants d'énergie directe (utilisation de carburant et d'énergie à la ferme) et d'énergie indirecte (fabrication d'engrais et d'herbicides). Les mesures directes d'émissions de N₂O et de la fixation biologique de l'azote par les légumineuses d'essais de rotations biologiques à long terme et de certains sites agricoles sélectionnés serviront à valider et à améliorer les estimations du modèle (coefficients).

Olesen et al. (2006) se sont servis du modèle de l'exploitation entière de FarmGHG pour générer des données et modéliser des régimes conventionnel et biologique de production laitière dans cinq zones agroécologiques d'Europe en vue d'estimer et de comparer les émissions de GES des deux régimes. Dans leurs hypothèses, les exploitations avaient les mêmes superficies, soit 50 hectares, et chaque région avait la même production de lait par vache. La charge de bétail (CB) variait selon le régime; elle était de 75 % plus élevée dans les régimes conventionnels comparativement aux exploitations biologiques autosuffisantes. En moyenne, les animaux comptaient pour 36 % des émissions totales, et les champs pour environ 39 %. Dans cette étude, le N₂O et le CH₄ étaient les principaux gaz émis; ils comptaient en moyenne pour 49 % et 42 % des émissions totales de GES. Fait intéressant, l'étude démontre que l'on pourrait aisément établir une relation entre les émissions agricoles et les surplus d'azote agricole ou l'efficacité de

l'azote agricole, deux éléments qui sont relativement faciles à mesurer comparativement aux mesures directes d'émissions de GES. Les émissions de GES par hectare (tonnes d'éq. CO₂/ha) des deux régimes augmentaient à mesure que la production s'intensifiait (c.-à-d. que la CB s'élevait), ainsi que les surplus d'azotes agricoles, qui étaient par conséquent généralement plus élevés en production conventionnelle. Les émissions de GES par unité de lait produite (ou énergie métabolique en kg d'éq. CO₂/kg de lait) étaient toutefois inversement reliées à l'efficacité de l'azote agricole.

Bos et al. (2007) ont évalué l'utilisation d'énergie et les émissions de GES de modèles d'exploitations laitières sous régimes biologique et conventionnel aux Pays-Bas. Les exploitations modèles étaient basés sur des pratiques courantes en production biologique et conventionnelle. À noter que toutes les exploitations laitières utilisent beaucoup plus d'intrants d'énergie indirecte que d'intrants d'énergie directe, et que les concentrés sont le facteur qui contribue le plus à l'utilisation d'énergie totale (~30 %). L'utilisation d'énergie totale par hectare augmente à mesure que la production de lait par hectare s'accroît, qui elle-même est associée à une dépendance plus forte aux importations d'intrants et à une charge de bétail plus élevée. Toutes les exploitations laitières conventionnelles (75 GJ/ha) avaient en moyenne une utilisation d'énergie par hectare de presque deux fois supérieure à celle de toutes les exploitations biologiques (39 GJ/ha). L'utilisation d'énergie par tonne de lait produit allait de 3,6 à 4,5 GJ pour les exploitations biologiques et de 4,3 à 5,5 GJ pour les exploitations conventionnelles. Comme c'était le cas pour l'utilisation d'énergie par hectare, l'utilisation d'énergie par tonne de lait était positivement corrélée à la production de lait par hectare, et l'utilisation moyenne d'énergie par tonne de lait des exploitations biologiques est d'environ 0,9 GJ inférieure à celle des exploitations conventionnelles, soit 19 % de l'utilisation moyenne d'énergie des exploitations conventionnelles. Par conséquent, l'utilisation d'énergie et les émissions totales de GES par tonne de lait des exploitations biologiques étaient respectivement en moyenne d'environ 80 et 90 % celles des exploitations conventionnelles.

Thomassen et al. (2008) aux Pays-Bas ont fait des ACV détaillées des animaux « de leur naissance à leur sortie de la ferme », qui comprennent l'impact environnemental de la production agricole sur le PRP et les impacts de la pollution agricole sur la qualité de l'eau (c.-à-d. l'eutrophisation). Comme l'ont déjà mentionné Olesen et al. (2006), le N₂O et le CH₄ comptent pour la majeure partie des émissions totales. Dans le régime conventionnel, le CO₂, le N₂O et le CH₄ comptaient respectivement pour 29, 38 et 34 % du total des émissions de GES, contre 17, 40 et 43 % pour le régime biologique. Selon les résultats obtenus, les exploitations biologiques ont une performance environnementale supérieure à celle des exploitations conventionnelles au niveau de l'utilisation énergétique et du potentiel d'eutrophisation par kg de lait corrigé en matières grasses et en protéines (FPCM) (3,1 contre 5,0 MJ par kg de FPCM). En revanche, les différents régimes ne se sont pas différenciés sur le plan du PRP par unité de lait produit. Selon les recommandations générales de l'étude, il faudrait réduire l'usage de concentrés qui ont des impacts environnementaux élevés et les surplus généraux d'éléments nutritifs agricoles.

À noter qu'il est possible que les études d'Olesen et al. (2006), de Bos (2007) et peut-être de Thomassen et al. (2008) aient surestimé les émissions de N₂O associées à la fixation d'azote par les légumineuses (élément essentiel en agriculture biologique), car elles ont utilisé des méthodologies et des coefficients du GIEC plus anciens. Ainsi, l'étude de Bos (2007) inclut dans

les « émissions agricoles de N_2O , les fertilisants utilisés, l'incorporation de résidus de cultures et **la fixation d'azote** » alors que l'étude de Olesen et al. (2006) exprime plutôt les émissions de N_2O en proportion de tous les intrants azotés au champ, « dont les résidus de cultures et **l'azote fixé biologiquement** ». Olesen et al. (2006) mentionnent toutefois qu'il faut mieux comprendre les mécanismes liés aux émissions de N_2O et aux autres pertes d'azote dans les champs. À noter que les émissions réelles de N_2O , qui ont été mesurées directement pour quatre prototypes d'exploitations biologiques et conventionnelles à des fins de validation des estimations de modèles s'écartaient le plus des estimations d'émissions pour les exploitations biologiques.

Falchowsky et Hachenberg (2009), qui ont examiné neuf études européennes qui portaient sur les émissions de GES d'exploitations laitières biologiques et conventionnelles, discutent quelque peu des lacunes et des incertitudes relatives aux données. Dans les comparaisons de régimes biologiques et conventionnels, une seule étude (Hass et al., 2001) fait état d'un PRP équivalent par unité de lait produite (kg d'éq. CO_2 /kg de lait), alors que cinq études rapportent un PRP supérieur en production biologique (une hausse de 1 % à 27 %), et trois autres études, un PRP inférieur (une baisse de 5 à 8 %).

Gomiero et al. (2008) ont examiné un certain nombre d'études européennes qui avaient comparé l'utilisation d'énergie et l'efficacité énergétique de régimes biologiques et conventionnels en production laitière. Les régimes biologiques avaient constamment une utilisation d'énergie plus faible à la fois par unité de surface (GJ/ha) et par unité de produit (GJ/tonne) que les régimes conventionnels (de 23 à 69 % inférieurs en GJ/ha et de 8 à 54 % inférieurs en GJ/tonne). Selon les données de l'étude de Haas et al. (2001) et de Lunstrom (1997), la production biologique a aussi un PRP réduit lorsque ce dernier est exprimé par hectare, mais pas lorsqu'il est exprimé par unité de produit.

Les exploitations biologiques qui élèvent des ruminants se distinguent également des exploitations conventionnelles par leurs objectifs de croisements et de gestion; ainsi on constate souvent une longévité accrue des animaux dans les systèmes de production moins intensifs. Selon Niggli et al. (2008), les émissions de méthane peuvent alors être réduites, si on les calcule sur la durée de vie entière des vaches sous régime biologique. Comme il y a peu de données comparatives sur la longévité des animaux laitiers sous différents régimes, cet aspect n'apparaît pas encore dans les comparaisons de PRP.

Dans une récente étude autrichienne, Hortenhuber et al. (2010) ont effectué une analyse « de chaîne de cycles de vie » de huit différents systèmes de production laitière qui représentaient les exploitations biologiques et conventionnelles situées en régions alpines, en hautes et en basses terres. À noter que l'approche plutôt innovatrice des auteurs inclut une estimation des impacts sur les émissions de GES du changement d'utilisation des terres (CUT) qui est nécessaire à la production de concentrés (les concentrés représentaient de 13 à 24 % de la consommation totale d'aliments du bétail des exploitations), comme les superficies en soya qui remplacent les forêts tropicales. Les auteurs ont supposé que les exploitations n'utilisaient aucun engrais azoté, et que ces intrants n'étaient utilisés qu'en partie pour la production externe de concentrés. Environ 8 % des émissions totales de GES des exploitations conventionnelles ont été attribuées au CUT nécessaire à la production de concentrés. Selon les conclusions de l'étude, les exploitations conventionnelles avaient généralement des rendements supérieurs par vache et par exploitation, mais leurs rendements accrus ne réussissaient pas à compenser les émissions accrues de GES de

ces systèmes de production plus intensifs, et les exploitations biologiques émettaient en moyenne 11 % de moins de GES (0,81 à 1,02 kg d'éq. CO₂/kg de lait en biologique contre 0,90 à 1,17 en conventionnel).

Sonesson et al. (2009e) ont résumé une série d'études d'ACV réalisées dans 10 pays de l'OCDE qui ont indiqué que les émissions produites jusqu'à la sortie de la ferme allaient de 1,0 à 1,4 kg d'éq. CO₂/kg de lait. Même si les différences étaient mineures entre les fermes conventionnelles et biologiques, l'importance relative de chaque GES émis variait. En général, les systèmes biologiques avaient les émissions de méthane les plus élevées par kg de lait, mais les émissions de N₂O et de CO₂ les plus faibles par unité de produit. Sonesson et al. (2009e) ont aussi développé un protocole de production destiné aux exploitations laitières dans le cadre de l'initiative d'étiquetage climatique de la filière alimentaire suédoise, qui se concentre sur les exploitations individuelles (conventionnelles ou biologiques) plutôt que sur le secteur biologique dans son ensemble. À noter que bon nombre des critères proposés s'inscrivent dans l'approche générale de la production laitière biologique, notamment : (i) au moins 70 % des aliments du bétail doivent être cultivés à la ferme; (ii) obligation d'utiliser des concentrés à faible PRP (avec une préférence pour les concentrés cultivés dans la région); (iii) analyse annuelle des flux d'azote de la ferme.

Tout compte fait, les régimes biologiques en production laitière semblent utiliser moins d'énergie et avoir une meilleure efficacité énergétique à la fois par unité de surface et par kg de lait produit, et en moyenne, les résultats disponibles excèdent notre seuil de 20 %. En ce qui concerne le PRP par unité de produit, les données disponibles ne concordent pas assez pour nous permettre d'affirmer la supériorité du biologique en production laitière. À noter que les études comparatives de l'utilisation d'énergie et du PRP entre différents systèmes de production laitière sont particulièrement limitées pour le Canada et l'Amérique du Nord.

Tableau sommaire 3

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Main, 2001	Canada Atlantique	Modélisation de systèmes de production agricole	Utilisation d'E (GJ/kg lait) PRP (éq. CO ₂ /kg lait)	64 % 29 %	
Olesen et al., (2006)	Danemark/ Union européenne	Comparaison de modèles de ferme	tonne d'éq. CO ₂ /ha kg d'éq. CO ₂ /kg lait		
Bos et al., (2007)	Pays-Bas	Comparaison de modèles de ferme	Utilisation d'E (GJ/kg lait) PRP (éq. CO ₂ /kg lait)	20 % 10 %	
Thomassen et al., (2008)	Pays-Bas	ACV	Utilisation d'E (MJ/kg lait FPCM) PRP (éq.CO ₂ /kg lait FPCM)	38 % 0 %	
Falchowsky et	Union	Revue de	PRP	0 %	

Hachenberg, (2009)	européenne	neuf études	(éq. CO ₂ /kg lait)	(1 étude) 5 à 8 % (3 études)	1 à 27 % (5 études)
Gomiero et al., (2008)	Union européenne	Revue de cinq études	Utilisation d'E (GJ/ha) Utilisation d'E (GJ/kg lait) PRP (éq. CO ₂ /kg lait)	23-69 % 8-54 % 0 %	
Hortenhuber et al., (2010)	Autriche	ACV	PRP (éq. CO ₂ /kg lait)	11 %	
Sonesson et al., (2009d)	Suède	Revue d'ACV	PRP (éq. CO ₂ /kg lait)	0 %	

Porcs

En général, la production porcine biologique est peut-être, parmi les principaux élevages, la production qui a la plus faible efficacité énergétique (Kumm, 2002), possiblement parce que le nombre d'animaux au pâturage est souvent inférieur au nombre optimal, que les croisements sont inadaptés aux exigences de la production biologique et que les rôles utiles joués par les porcs ne sont pas assez reconnus dans les exploitations agricoles mixtes. Par exemple, les porcs peuvent contribuer à la lutte contre les mauvaises herbes en post-récolte, à la rénovation des prairies (Honeyman, 1991), voire à l'aération des composts^{xiii}, entraînant ainsi une économie dans l'énergie nécessaire à la lutte contre les mauvaises herbes.

En effectuant une ACV détaillée pour comparer des régimes conventionnel, naturel (Label rouge) et biologique de production porcine en France, Van der Werf et al. (2007) ont constaté que la production biologique produisait les plus faibles émissions de CH₄ et de CO₂ lorsqu'elles étaient exprimées par ha, mais pas lorsqu'elles étaient exprimées par 1 000 kg de porc, base sur laquelle la production conventionnelle performait beaucoup mieux quant aux émissions de N₂O et de CO₂. Ce n'est qu'au niveau du méthane que le biologique a maintenu une réduction des émissions par rapport au conventionnel, mais le régime naturel a donné des résultats encore meilleurs. Néanmoins, deux études suédoises d'ACV ont signalés des émissions d'exploitations biologiques qui étaient de 50 % inférieures à celles de l'étude française. Les auteurs croient que des taux de croissance réduits et l'inefficacité de la production d'aliments du bétail et du compostage de fumier, dont le rendement subséquent en azote est faible et les émissions indirectes d'ammoniac et de N₂O sont plus élevées, expliquent probablement ces écarts de résultats (Sonesson et al., 2009a). Toutefois, les émissions par kg de viande des systèmes de production biologique étaient plus élevées que celles de la plupart des exploitations conventionnelles. Les résultats étaient par contre semblables lorsqu'exprimés en MJ/kg de viande. En examinant trois systèmes de production comparables en Belgique (biologique, libre parcours et conventionnel), Degre et al. (2007) ont noté que le régime biologique générait les plus faibles émissions de GES (éq. CO₂) par porc, suivi du régime en libre parcours et du régime conventionnel, et que l'oxyde de diazote était le gaz prédominant. Les émissions du régime biologique s'élevaient à 87 % de celles du régime conventionnel, tandis que les émissions du fumier liquide des exploitations conventionnelles étaient beaucoup plus élevées que celles des

exploitations biologiques qui avaient de la litière sur paille. Toutefois, la performance du régime biologique était inférieure au niveau de certains autres critères environnementaux évalués.

En revanche, en modélisant des systèmes de production du Royaume-Uni, Williams et al. (2006) ont obtenu des données inférieures sur l'utilisation d'énergie et les émissions par tonne (l'énergie totale utilisée en MJ était de 13 % inférieure et les émissions de PRP sur un horizon de 100 ans étaient de 11 % inférieures), mais les besoins en superficie par tonne de produit étaient 1,73 fois plus grands.

Au Danemark, Halberg et al. (2008) ont modélisé, au moyen d'ACV standards, trois différents régimes biologiques de production porcine. Ils en ont comparé les résultats avec des données d'articles scientifiques sur des exploitations conventionnelles. Ils ont constaté que toutes les exploitations biologiques avaient des émissions de GES (éq. CO₂/porc) plus élevées parce que les émissions d'oxyde de diazote étaient plus élevées et que la conversion alimentaire était moins efficace. Ils ont cependant conclu que si la séquestration de carbone associée aux rotations biologiques était comptabilisée dans les calculs (des réductions de l'ordre de 11 à 18 % en éq. CO₂/porc), deux des trois exploitations biologiques performeraient mieux que le régime conventionnel (Halberg, 2008; Halberg et al., 2010).

En comparant les conclusions différentes de leurs travaux avec celles de Van der Werf et al. (2007), Halberg et al. (2010) ont conclu qu'en raison des « différences méthodologiques, la comparaison des deux études était problématique. Selon l'étude française, la performance environnementale de production porcine biologique est supérieure à celle de la production conventionnelle si les résultats sont exprimés par hectare, mais devient inférieure si les résultats sont exprimés par kg de porc produit. Mais l'étude française, contrairement à la nôtre, ne tient pas compte des différences de séquestration de carbone dans les sols ».

Un faible rendement en viande de porc peut être plus efficace en termes de ratio de viande comestible/viande pour l'équarrissage. Il est raisonnable de postuler qu'une productivité trop élevée pourrait entraîner le dépassement du seuil idéal de ce ratio, et un ratio faible serait probablement non viable.

Sonesson et al. (2009a) ont conclu que malgré le nombre limité d'études de qualité en production porcine, les données sont suffisantes pour l'établissement d'un protocole réalisable aux fins de l'étiquetage climatique de la filière alimentaire en Suède, en se concentrant sur chaque exploitation porcine (qu'elle soit conventionnelle ou biologique), plutôt que sur le secteur biologique dans son ensemble.

La version actuelle du logiciel Holos, qui suppose que la porcherie est remplie à pleine capacité à l'année, ne permet pas de comparer des systèmes biologiques et conventionnels en production porcine (Little et al., 2008).

Tableau sommaire 4

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Van der Werf et al., 2007	France	ACV	CH ₄ /ha	69 %	33 %
			N ₂ O/ha	13 %	
			CO ₂ /ha	46 %	
Sonesson et al., 2009a	Suède	2 ACV	CH ₄ /porc	6 % (1 étude)	242 %
			N ₂ O/porc		58 %
			CO ₂ /porc		2-35 % (6 études)
			MJ/kg viande	1-4 % (2 études)	18-41 (4 études)
Degre et al., 2007	Belgique	Classement d'experts	éq. CO ₂ /porc	13 %	
Williams et al., 2006	Royaume-Uni	Modélisation	MJ/tonne	13 %	
			PRP ₁₀₀ /tonne	11 %	
Hallberg et al., 2010	Danemark	ACV modélisée	GES ₁₀₀ /kg et séquestration de C	4-33 % pour 2 fermes bio sur 3	7 % pour 1 ferme bio sur 3

En somme, les résultats comparatifs en production porcine sont mitigés. Les résultats favorisent un peu plus les exploitations biologiques lorsque les émissions de GES sont exprimées par unité de surface (ha) et par unité de produit (kg). La comptabilisation de la séquestration de carbone semble donner des comparaisons plus favorables à la production biologique aussi. Or, bon nombre des études favorisant la production biologique n'ont pas dépassé notre seuil de 20 %.

Volaille

Il existe certaines preuves démontrant l'efficacité supérieure des systèmes de production avicole biologique. Par exemple, selon les conclusions d'une analyse émergétique – l'émergétique étant les équivalents d'énergie solaire nécessaires à la génération d'un flux ou d'un stockage d'énergie (Odum, 1996) – la production biologique serait plus efficace à transformer les intrants disponibles en produits finaux, consommerait plus d'intrants renouvelables et d'intrants locaux, tout en ayant une densité d'énergie et des flux de matières plus faibles. Le flux émergique de la production avicole conventionnelle était de $724,12 \times 10^{14}$ joules d'em solaire/cycle, contre seulement $92,16 \times 10^{14}$ en production biologique. Les principales raisons expliquant cette différence sont les coûts d'énergie inférieurs par kilogramme de viande produite pour les aliments des volailles, les médicaments vétérinaires, le nettoyage et la désinfection des poulaillers entre les cycles de production. Fait intéressant, les résultats positifs ne variaient pas en fonction des différents types de poulaillers (Castellini et al., 2006).

Williams et al. (2006) ont modélisée, au moyen d'une ACV standard, des scénarios de production conventionnelle et biologique typiques au Royaume-Uni. Ils ont constaté que la production biologique de viande de volaille et d'œufs permettait d'augmenter respectivement l'utilisation d'énergie de 30 % et de 15 %. Malgré les besoins énergétiques plus bas des aliments biologiques pour volailles, ces économies étaient plus que contrebalancées par des taux de croissance plus faibles des oiseaux. La production avicole biologique avait un PRP jusqu'à 45 %

supérieur à celui de la production conventionnelle. Bokkers et de Boer (2009) sont parvenus à des conclusions semblables en étudiant des exploitations biologiques et conventionnelles aux Pays-Bas; ce n'est guère étonnant puisque certains de leurs modèles étaient basés sur les travaux de Williams et al. (2006). Les indices de consommation élevés en production conventionnelle sont le principal facteur comparatif. Sonesson et al. (2009b), qui ont fait la revue de cinq études européennes dont celle de Williams et al., ont noté que les émissions d'oxyde de diazote des aliments conventionnels, associés aux engrais azotés et aux pertes du sol, étaient les aspects où les systèmes biologiques bien conçus pouvaient faire le plus d'économies. La conception des systèmes de chauffage des poulaillers, notamment dans les couvoirs, pourrait être un autre élément où des gains importants d'efficacité sont possibles.

La version actuelle du logiciel Holos qui suppose que le poulailler est à pleine capacité à l'année ne permet pas de comparer des systèmes biologiques et conventionnels en production avicole (Little et al., 2008).

Les données comparatives en production avicole sont particulièrement rares, surtout pour la production d'œufs (Sonesson et al., 2009c).

Table sommaire 5

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Castellini et al., 2006	Europe	Analyse émergique	Joules d'em solaire/cycle (par kg de viande)	87 %	
Williams et al., 2006	Royaume-Uni	Modélisation au moyen d'ACV	Utilisation E/kg de viande Utilisation E/œuf		30 % 15 %
			PRP/kg de viande		45 %
Bokkers et de Boer, 2009	Pays-Bas	Modélisation d'indicateurs multiples de durabilité	Utilisation E/kg de viande		30-59 %

En conclusion, il n'y a que sur une base d'énergie solaire que la production avicole biologique semble actuellement avoir une efficacité énergétique supérieure à la production conventionnelle (même si le seuil de 20 % de différence n'a pas été dépassé), mais cette production a très peu été analysée jusqu'à maintenant.

Cultures horticoles

Productions légumières (comprend les pommes de terre lorsqu'elles sont produites par des exploitations maraîchères)

Dans quatre études européennes sur les pommes de terre résumées dans l'étude de Gomiero et al. (2008), l'utilisation d'énergie fossile par hectare de la production biologique était de -27 à -48 % celle de la production conventionnelle, mais variait de -18 à +29 % lorsqu'elle était exprimée par kilogramme. Gomiero et al. ont aussi fait mention d'études de ratios d'intrants sur extrants par unité de rendement, où les résultats de trois études allemandes aillaient de +7 à +29 % en production biologique. Une étude américaine a cependant présenté des résultats plus positifs où la production biologique était de -20 à -13-% par rapport à la production conventionnelle (Pimentel et al., 1983). Williams et al. (2006), en rapportant des comparaisons par tonne au Royaume-Uni, ont noté peu de différence d'utilisation d'énergie dans la production de pommes de terre, et des émissions de GES légèrement plus faibles en production biologique, la plus grande différence étant la réduction des émissions directes de N₂O.

Au moyen d'une approche par bilan d'énergie non renouvelable qui comptabilise l'énergie incorporée dans les intrants, les structures et la machinerie^{xiv}, Alonzo et Guzman (2010) ont fait de nombreuses comparaisons de régimes biologiques et conventionnels de productions légumières en Espagne. Dans treize comparaisons de productions légumières^{xv}, le bilan d'énergie non renouvelable de la production biologique était de 41 % inférieur au conventionnel. Comme les systèmes biologiques comptent davantage sur l'énergie renouvelable, cette forme d'énergie est essentielle à l'analyse globale puisque les systèmes biologiques consomment plus d'énergie de toutes formes que les systèmes conventionnels.

Au moyen d'une analyse hybride d'intrants sur extrants économiques et d'ACV, Wood et al. (2006) ont conclu que l'intensité énergétique (en MJ/\$ australien) de la production légumière biologique en Australie était d'environ 50 % celle de la production conventionnelle. Les principales économies d'énergie étaient associées à l'utilisation d'énergie et d'engrais sur place.

Selon les constats d'une étude britannique du MAFF (MAFF, 2000), l'utilisation d'énergie en intrants d'énergie par hectare de la production biologique de pommes de terre, de carottes, d'oignons et de brocolis était respectivement de 54 %, de 50 %, de 65 % et de 27 % celles de la production conventionnelle. Les résultats exprimés par tonne étaient par contre moins positifs; la plupart des légumes biologiques ayant une utilisation d'énergie de 16 à 72 % inférieure à celle des légumes conventionnels.

Les données sur les émissions de CH₄ et de N₂O suggèrent des résultats semblables à ceux du CO₂, quoique les données sont relativement plus limitées (Stolze et al., 2000). Selon les résultats préliminaires d'essais en champ dans la région Canada Atlantique, où on a comparé des rotations de pommes de terre biologiques et conventionnelles, les parcelles biologiques ont des émissions d'oxyde de diazote plus faibles par hectare, car elles utilisent des sources d'azote biologiques (Lynch et al., 2008). Ces résultats concordent étroitement avec ceux de Petersen et al. (2006) qui ont observé en Europe que des rotations avec différentes productions biologiques avaient des émissions de N₂O/ha inférieures à celles de rotations avec des cultures conventionnelles (certaines rotations comprenaient des pommes de terre).

Bos et al. (2007), au moyen d'une approche par exploitations modèles, ont comparé deux exploitations sur sol argileux arable, l'une sous régime biologique, l'autre sous régime conventionnel (les deux produisant pomme de terre, betterave à sucre, blé, carotte, oignon et pois) et une autre exploitation légumière sur sol sableux, à la fois biologique et conventionnelle

(cultivant poireau, haricot, carotte, fraise, laitue pommée et chou chinois). Les auteurs ont calculé l'utilisation d'énergie directe et indirecte et les émissions de GES sans accumulation nette ou épuisement du carbone dans le sol. Les émissions de GES ont été exprimées en PRP 100 ans (équivalents CO₂). L'utilisation d'énergie (MJ/tonne) des productions biologiques de laitue pommée, de pommes de terre et de poireaux était supérieure à celle des productions conventionnelles, de l'ordre de 20 à 40 % selon la culture. Néanmoins, l'utilisation d'énergie était beaucoup plus faible dans les productions biologiques de betteraves à sucre et de pois, et légèrement plus faible dans les haricots biologiques que leurs homologues conventionnels.

Tableau sommaire 6

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Gomiero et al., 2008	Europe	Quatre études utilisant diverses méthodes	Utilisation E fossile/ha de pommes de terre	27-48 %	29 %
			Utilisation E fossile/kg de pommes de terre,	18 %	
	Allemagne	Trois intrants sur extrants énergétiques	Pommes de terre/kg		7-29 %
Pimentel et al., 1983	É.-U.	Énergie	Pommes de terre/kg	13-20 %	
Williams et al., 2006	Royaume-Uni	ACV de modèles	Utilisation E/tonne de pommes de terre GES/tonne de pommes de terre	0 Légèrement plus faible	
Alonzo et Guzman, 2010	Espagne	13 légumes, bilan d'énergie non renouvelable	MJ intrants	41 %	
Wood et al., 2006	Australie	Légumes, analyse hybride avec ACV et intrants/extrants économiques	MJ/\$ australien	50 %	
MAFF, 2000	Royaume-Uni	Intrants d'énergie directe et indirecte	Intrants E/ha de pommes de terre	46 %	16-72 %
			Intrants E/tonne de pommes terre, de carottes, d'oignons, de brocolis, de poireaux	50 % 35 % 73 %	
Bos et al., 2007	Pays-Bas	Modèle d'exploitation	MJ/tonne de laitue, de pommes de terre, de poireaux, de betteraves		20-40 %

			à sucre, de pois et de haricots	
De Bakker et al., 2009	Belgique	ACV	PRP ₁₀₀ éq. CO ₂ /ha de poireaux	67 %
			PRP ₁₀₀ éq. CO ₂ /kg de poireaux	53 %
Öko-institut, 2007	Allemagne		éq. CO ₂ /kg légumes	15 %
			pommes de terre, tomates	31 %

Bos et al. (2007) ont trouvé des résultats semblables pour les émissions de GES (éq. CO₂/tonne), quoique l'intervalle des écarts était plus étroit que dans le cas de l'utilisation d'énergie. Toutefois, les émissions de N₂O par les légumineuses ont peut-être été surestimées dans cette étude (voir la section précédente sur la production laitière), même si elles sont probablement un facteur général contribuant peu aux budgets agricoles.

De Bakker et al. (2009), en étudiant la production de poireaux en Belgique au moyen d'une ACV complète, ont conclu que « le cumul des indicateurs de changement climatique, le potentiel de réchauffement climatique sur 100 ans (PRP₁₀₀) était de 0,094 kg d'éq. CO₂/kg de poireaux en production conventionnelle contre 0,044 kg d'éq. CO₂/kg de poireaux en production biologique, ce qui indique que la production conventionnelle a un impact beaucoup plus élevé sur le changement climatique. Le PRP est surtout fonction de l'utilisation de carburants fossiles pour la réalisation des activités agricoles, de l'utilisation d'énergie pour la production des intrants et des émissions de N₂O associées au cycle de l'azote à la ferme ». L'utilisation de diesel par kg de poireaux était en fait plus élevée en production biologique, mais le cycle de l'azote et l'utilisation d'engrais de synthèse à la ferme du système conventionnel avaient des plus grands impacts que l'utilisation de carburants fossiles. La production biologique obtient des résultats encore supérieurs si ceux-ci sont exprimés par unité de surface, ses émissions étant alors de seulement 33 % celles de la production conventionnelle.

Selon les résultats d'une étude de l'Institut Oko par Fritsche et Eberle en Allemagne (Öko-Institut, 2007), les émissions de GES de divers légumes en production biologique étaient inférieures de 15 % (en éq. CO₂/kg) à celles des légumes conventionnels, tandis que celles des tomates et pommes de terre biologiques étaient inférieures de 31 %.

En résumé, à l'exception des pommes de terre, la production légumière biologique affiche invariablement une utilisation d'énergie moindre, une efficacité énergétique supérieure et des émissions réduites de GES par tonne et par hectare. La plupart des résultats favorisant la production biologique dépassent notre seuil de 20 %.

Productions fruitières

Selon les conclusions de Scialabba et Hattam (2002), l'utilisation d'énergie de la pomiculture biologique est de 90 % celle de la production conventionnelle en GJ/ha, mais de 123 % celle-ci en GJ/tonne de produit. Reganold et al. (2001), dans un essai à long terme dans l'État de Washington, ont quant à eux noté que l'utilisation d'énergie de la pomiculture biologique était de 14 % inférieure par hectare, surtout en raison de l'utilisation réduite d'engrais et de pesticides de

synthèse, mais de 7 % supérieure par unité de produit. Enfin, en Europe, Geier et al. (dans Gomiero et al., 2008) ont constaté que l'utilisation d'énergie de la production biologique était encore supérieure (23 %) par unité de produit, mais comparable par unité de surface.

Dans différents systèmes de vergers de l'État de Washington (É.-U.), Kramer et al. (2006) ont observé au bout de neuf ans que le sol de vergers sous régime biologique avait une teneur en matières organiques, une activité microbienne et une efficacité de dénitrification (ratio d'émissions rN_2O ou $N_2O:N_2$) supérieures à celles du sol de vergers sous régime conventionnel ou de gestion intégrée. Même si les émissions de N_2O n'étaient pas significativement différentes entre les traitements, les émissions de N_2 étaient supérieures dans les parcelles biologiques.

Au moyen d'une analyse hybride d'intrants/extrants économiques et d'ACV, Wood et al. (2006) ont conclu que, même si l'utilisation d'énergie sur place est supérieure, dans sa globalité, la production fruitière biologique dans son ensemble (sans précision sur les espèces) en Australie a une intensité énergétique d'environ 30 % inférieure à celle de la production conventionnelle.

D'après Alonzo et Guzman (2010), qui ont étudié diverses productions fruitières sous irrigation (18 cas)^{xvi} et des productions de fruits et de noix non irriguées (22 cas)^{xvii}, l'efficacité de l'énergie non renouvelable (MJ intrants/MJ extrants) des productions sous irrigation était de 5,89 (biologique) et de 5,48 (conventionnelle) et celle des productions non irriguées, de 2,82 (biologique) et 2,14 (conventionnelle). Les systèmes biologiques utilisaient, encore une fois, davantage d'énergie renouvelable.

En Turquie, Gundogmus et Bayramoglu (2006), après avoir comparé 82 vignobles qui produisent des raisins secs sous régimes conventionnel et biologique, ont conclu que même si, en moyenne, les vignobles biologiques nécessitaient plus d'intrants en main-d'œuvre humaine, leur production utilisait, en moyenne, 23 % moins d'énergie totale que les vignobles conventionnels, tout en ayant un meilleur ratio d'efficacité énergétique des intrants-extrants. Gundogmus (2006), en examinant aussi de petits systèmes biologiques et conventionnels de production d'abricots en Turquie sur une base surtout d'intrants-extrants d'énergie sur place, a constaté que les systèmes de production conventionnels utilisaient 38 % plus d'énergie par hectare que ceux biologiques. Les systèmes biologiques avaient aussi un ratio d'extrants/intrants de 53 % supérieur (en MJ/unité de produit), même si leurs rendements étaient d'environ 10 % moindres.

Kavagiris et al. (2009) ont comparé l'énergie directe et incorporée pour 18 vignobles grecs sous régimes conventionnel et biologique ainsi que la main-d'œuvre humaine utilisée. Ils ont noté que la viticulture biologique avait des intrants et des émissions de GES significativement inférieurs, même si la mesure des émissions se limitait à la consommation de diesel. La productivité énergétique des deux régimes, mesurée en raisins produits/intrants, était équivalente.

En Italie, au moyen d'une analyse combinant ACV et analyse émergétique, on a comparé les impacts environnementaux de vignobles biologiques et conventionnels à petite échelle (Pizzigallo et al., 2008). Même si les vignobles biologiques avaient des rendements de 20 % inférieurs à ceux des vignobles conventionnels, leurs émissions de GES étaient inférieures. L'utilisation de carburant et d'acier pour la viticulture conventionnelle était respectivement de deux et de six fois supérieure. Ce résultat était contrebalancé par les rendements supérieurs du système conventionnel. Toutefois, cette ACV a des limites, car les émissions des engrais associés à la production n'ont été comptabilisées que pour le système conventionnel, alors que les

émissions des engrais au champ ont été entièrement exclues des deux systèmes. En utilisant la bouteille de vin comme unité fonctionnelle dans une ACV partielle (limitée par les données disponibles), Point (2008), en Nouvelle-Écosse, n'a constaté aucune différence réelle de PRP entre la viticulture conventionnelle et biologique, et ce pour deux différents niveaux de rendement en biologique; un rendement de 20 % inférieur à la production conventionnelle et un rendement équivalent.

En résumé, et comme on peut le constater au tableau 7, les résultats sur l'utilisation d'énergie et les émissions de GES sont mitigés en production fruitière. La production biologique est légèrement avantagée lorsque les résultats sont exprimés par hectare, ce qui n'est généralement pas le cas lorsqu'ils sont ramenés par tonne de produits, à moins qu'une approche par analyse d'énergie globale ou par efficacité d'utilisation de l'énergie non renouvelable soit adoptée pour l'étude. La production biologique n'a dépassé notre seuil de 20 % de différence que dans quelques études.

Productions en serre

L'efficacité énergétique de la serriculture conventionnelle et biologique n'a pas été bien étudiée, car les différences de rendement et de technologies compliquent son analyse. Bien que les rendements biologiques semblent inférieurs, des données indiquent aussi que les producteurs biologiques utilisent fréquemment des technologies moins énergivores qui peuvent contrebalancer les différences d'extrants (Azeez, 2008). Dans l'étude sur la production en serre de légumes d'Alonzo et Guzman (2010), les différences entre les systèmes de production étaient négligeables lorsque les mêmes technologies étaient utilisées, car la grande quantité d'énergie incorporée dans les structures rendaient les différences de production négligeables. D'autres études sont arrivées à des conclusions semblables (Ziesemer, 2007). D'après Williams et al. (2006), les rendements plus faibles des tomates biologiques (environ 75 % ceux de la production conventionnelle) et l'accent mis sur des variétés de tomates plus spécialisées au Royaume-Uni signifient que l'utilisation d'énergie et les émissions par tonne sont presque le double de celles de la production conventionnelle lorsque les mêmes systèmes de chauffage et d'alimentation sont utilisés dans les serres. Tout cela explique, en partie, pourquoi la norme biologique Bio Suisse impose des restrictions sur le chauffage des serres (Scialabba et Müller-Lindenlauf, 2010). Il faudrait probablement que la serriculture biologique utilise des concepts de serres avancés sur le plan écologique ou des systèmes à technologies très limitées qui récupèrent les pertes de chaleur issues des processus biologiques pour pouvoir justifier en serriculture biologique une image de marque qui soit fondée sur l'efficacité énergétique de la réduction des émissions de GES.

Tableau sommaire 7

Auteurs	Région	Type d'étude	Mesure	Bio < conv.	Bio > conv.
Scialabba et Hattam, 2002	Europe	Nombreuses sources d'énergie	Pommes GJ/ha GJ/t	10	23
Reganold et al., 2001	Washington, É.-U.	Énergie	Pommes Énergie/ha Énergie/t	14	7

Kramer et al., 2006	Washington, É.-U.	N ₂ O	Pommes	0
Geier et al., 2001 dans Gomiero et al., 2008	Allemagne	Énergie	Pommes Énergie/ha Énergie/t	0
Wood et al., 2006	Australie	ACV hybride intrants/extrants	Fruits Intensité E/\$	30 %
Alonzo et Guzman, 2010	Espagne	Efficacité E non renouvelable	Fruits MJ intrants/MJ extrants	Bio 7 à 32 % plus efficace
Gundogmus, 2006	Turquie	intrants/extrants énergétiques	Abricots MJ/tonne	Bio 53 % plus efficace
Gundogmus et Bayramoglu, 2006	Turquie	Utilisation d'E	Raisins secs	23 %
Kavagiris et al., 2009	Grèce	Productivité	Raisins extrants/intrants	0
Pizzigallo et al., 2008	Italie	Analyses conjointes ACV - énergie	Raisins énergie solaire /bouteille de vin	34 %
Point, 2008	Nouvelle-Écosse	ACV	Raisins PRP reliés à deux rendements différents	0

23

Questions de portées générales

Travail du sol

Souvent, l'utilisation de carburant pour le travail du sol est la cible des détracteurs de l'agriculture biologique, mais comme déjà mentionné à la section sur les grandes cultures, l'utilisation accrue de carburant par rapport au semis direct ne compte habituellement que pour une petite partie des flux totaux de GES en agriculture (Robertson et al., 2000; Hoepfner et al., 2006). D'après Dyer et Desjardins (2005), le carburant nécessaire aux travaux des champs dans les systèmes de production au Canada ne contribue généralement qu'à moins de 10 % des émissions totales de GES à la ferme. Selon eux, les émissions de GES des travaux secondaires du sol sont faibles (~28 kg de CO₂/ha) – comme le passage des disques qui exige plus de puissance de traction que la herse bineuse – par rapport au labour (~90 kg de CO₂/ha) et sont de deux à trois fois supérieures à celles de la pulvérisation (~10 kg de CO₂/ha). L'épandage de fumier est aussi une pratique qui requiert relativement peu d'énergie.

Plusieurs études européennes mentionnent que la production biologique de carottes et de pommes de terre exige des intrants énergétiques élevés par unité d'extrait en raison du désherbage mécanique (Ziesemer, 2007). Dans un nombre limité de systèmes de production, comme dans le cas de la production de pommes de terre avec désherbage mécanique, l'utilisation accrue d'énergie pour le travail du sol peut signifier que l'utilisation d'énergie du système entier

est à peu près comparable, mais pour la plupart des systèmes de production, même avec travail du sol, l'utilisation d'énergie est souvent de 50 % inférieure à celle de la production conventionnelle (Stockdale et al., 2001). Les agriculteurs biologiques ont souvent délaissé le travail profond du sol pour adopter un travail superficiel du sol (p. ex., herse bineuses). Le travail superficiel du sol ne consomme probablement pas plus de carburant que l'application d'herbicides, et peut souvent être moins énergivore, en particulier si la fabrication d'herbicides est prise en compte dans le bilan énergétique (Clements et al., 1995).

Selon Zentner et al. (2004), même si les pratiques de travail minimum du sol et le semis direct permettent de faire d'importantes économies d'énergie en matière de carburant et de machinerie, ces économies seraient largement contrebalancées par l'énergie accrue qui est incorporée dans les pesticides et les engrais de synthèse. En réalisant une étude dans la région de Parkland (Prairies canadiennes), ils ont comparé les intrants d'énergie non renouvelable et l'efficacité énergétique de monocultures de céréales, de rotations avec céréales et oléagineux et de rotations avec céréales, oléagineux et légumineuses. Chaque essai a duré quatre ans et a été soumis à du semis direct, du travail minimal du sol et des pratiques conventionnelles. En général, l'utilisation totale d'énergie sur 12 ans n'a pas été influencée par la méthode de travail du sol, mais a été significativement influencée par le type de rotation culturale.

Compostage

Certaines données canadiennes (Pattey et al., 2005) indiquent que le fumier bovin composté a, en moyenne, des émissions de GES significativement plus faibles que celles du fumier en tas et du lisier, en raison surtout des émissions de méthane qui sont beaucoup plus faibles.

Dans l'étude de Bos et al. (2007), les besoins énergétiques des fumiers biologiques importés se limitaient à leur transport et à leur épandage alors que le coût énergétique des fumiers biologiques était considéré nul. Par conséquent, l'utilisation d'énergie d'une culture fertilisée principalement avec des engrais biologiques est inférieure à celle d'une culture fertilisée avec des engrais minéraux. Sur les exploitations agricoles, l'épandage de fumier (ou de compost) a un coût en carburant et en énergie relativement faible (< 10 kg de CO₂/ha) par rapport aux travaux du sol (respectivement > 80 et > 28 kg CO₂/ha pour le labour et le passage d'une herse à disques) et de récolte (> 33 kg CO₂/ha) (Dyer et Desjardins, 2005).

Séquestration de carbone dans le sol

Pour qu'un système de production augmente la séquestration de carbone dans le sol, il faut que la pratique de gestion agricole (a) accroisse la quantité de carbone incorporée au sol sous forme de résidus végétaux ou (b) supprime le taux de décomposition du carbone dans le sol. En général, les producteurs biologiques apportent une plus grande quantité de carbone organique au sol ou des matières organiques plus diversifiées que les producteurs aux pratiques agricoles conventionnelles ou qui font du semis direct. Dans leur méta-analyse, Mondalaers et al. (2009) ont effectivement trouvé dans les sols des exploitations biologiques des teneurs en matières organiques statistiquement plus élevées, mais ont aussi mentionné de nombreuses études qui n'ont pas recueillies de preuves convaincantes de différences, ce qu'ils attribuent surtout à des contraintes méthodologiques. Selon d'autres données, l'apport de diverses matières avec un rapport C/N adéquat constitue aussi un réservoir plus stable de matières organiques (Willson et al., 2001; Marriot et Wander, 2006). Cette observation a été confirmée par une étude

à long terme de l'USDA au Maryland où on a fait des comparaisons directes d'une production biologique et d'une production conventionnelle avec semis direct. L'étude a démontré que la production biologique permet d'accumuler plus de carbone dans le sol que la production conventionnelle avec semis direct parce que l'utilisation de fumier et de cultures de couverture font plus que compenser les pertes occasionnées par le travail du sol (Teasdale et al., 2007). Le fumier animal, la diversité et le rapport C/N des apports de matières organiques, ainsi que le taux de décomposition peuvent jouer un rôle important dans ce processus (Marriot et Wander, 2006). Cavigelli et al. (2009), par exemple, au Maryland (É.-U.), en comparant trois systèmes de production : biologique, avec chisel et avec semis direct, ont observé que le système de production biologique améliorait l'intensité des émissions de GES (ou PRP par unité de rendement en grains) et le PRP, en raison surtout de l'augmentation du C^{xviii} dans le sol. Sanchez et al. (2004), en comparant des systèmes de production céréalière à long terme (sept ans) au Michigan, ont noté que la « diversité accrue de substrats » d'un système de production en transition vers le biologique, qui combinait des engrais verts et du compost, avait amélioré les réserves de carbone et d'azote du sol à court (« actif ») et à moyen terme.

Des équipes de chercheurs du Michigan State University ont comparé des rotations de cultures avec maïs, soya et blé sous différents régimes : travail du sol conventionnel, semis direct, à faibles intrants et biologique (avec légumineuses, maïs sans animaux ni fumier). En se servant d'équivalents CO₂ (g/m²/an) comme unité de mesure pour la comparaison des systèmes, ils ont constaté que le semis direct avait le plus faible PRP net (14), suivi du biologique (41), du régime à faibles intrants (63) et du travail du sol conventionnel (114) (Robertson et al., 2000). Les chercheurs du Michigan ont aussi conclu que les cultures vivaces (luzerne, peupliers) et les communautés de transition avaient toutes des émissions beaucoup plus faibles et qu'en fait la plupart étaient des puits nets de carbone. Le semis direct était supérieur au système biologique en raison d'une plus grande séquestration de carbone dans le sol (-110 contre -29). Toutefois, certaines questions font encore l'objet de discussions : Dans quelle mesure le semis direct séquestre-t-il réellement le carbone? Quel est le type de matière organique stocké? Le phénomène est-il permanent? Dans certaines études, la teneur en carbone dans le sol s'accroît dans les premiers 7,5 cm du sol, mais n'entraîne aucun changement sur l'ensemble du profil du sol (Wander, 1998; Needelman et al., 1999; Poirier et al., 2009). Comme les variations de carbone de l'étude au Michigan ont été mesurées seulement dans les premiers 7,5 cm du sol, les avantages associés à la séquestration de carbone du semis direct peuvent avoir été surestimés par rapport au système biologique. Le semis direct, parce qu'il accroît l'humidité du profil du sol, peut aussi accroître les émissions de N₂O dans des milieux plus secs (Mummey et al., 1998; Smith et al., 2000).

D'après des études comparatives de systèmes de production de maïs, de soya et de blé dans le Midwest américain, les rotations plus longues à base de légumineuses rendent les exploitations plus résistantes à la sécheresse (Welsh, 1999). Selon les conclusions d'une série d'études de l'Université du Nebraska, les rotations plus longues réduisent les risques de souffrir lors d'une mauvaise année et aplanit les variations de rendements nets (Helmers et al., 1986). Des essais de l'institut Rodale ont montré que les rendements de maïs et de soya étaient de 25 à 75 % plus élevés dans les années de sécheresse (Drinkwater et al., 1998; Pimentel et al., 2005). Les rotations plus longues ont constamment donné des rendements aussi bons ou meilleurs que les rotations courtes à base de soya et de maïs. Des résultats semblables ont été obtenus en production biologique non irriguée de pommes de terre dans le Maine (Mallory et Porter, 2007).

Ces résultats semblent attribuables à une combinaison de développement racinaire, d'associations avec des organismes du sol et de l'état d'ameublissement du sol (Lotter, 2003). La matière organique, en particulier dans les sols plus loameux, peut améliorer l'agrégation du sol. Un sol dont les constituants sont bien agrégés est plus poreux et permet un meilleur développement racinaire.

Il est généralement admis que le type de matière organique importe moins que la teneur, cependant les fractions de matières organiques les plus digérées semblent jouer un rôle important dans ces processus – les gommés et les mucilages microbiens, les molécules d'acide fulvique à faible poids moléculaire, les gras et les cires (MacRae et Mehuys, 1985). Il semble y avoir une forte corrélation entre les teneurs accrues en carbone dans le sol et les fortes populations de champignons mycorhiziens. Ces champignons retardent la décomposition de la matière organique en produisant de la glomaline, qui a une action liante sur les particules de sol. Les champignons mycorhiziens sont plus abondants et diversifiés dans les systèmes de production biologique que dans les sols qui reçoivent des engrais chimiques et des pesticides (LaSalle et Hepperly, 2008).

Plus récemment, au ARS de l'USDA à Beltsville (Maryland), Teasdale et al. (2007) ont comparé pendant neuf ans quatre stratégies de réduction du travail du sol pour la production de maïs, de soya et de blé : (i) un système biologique fertilisé avec du fumier et des cultures de couverture, travail du sol au chisel et désherbage en postsemis par hersage mécanique; (ii) un système conventionnel avec semis direct et doses recommandées d'engrais azotés et d'herbicides; (iii) un système avec semis direct, cultures de couverture (vesce velue et seigle) et doses réduites d'engrais azotés et d'herbicides; (iv) un système avec semis direct et coronille comme culture-abri. Même si le système biologique incluait un travail du sol et avait de plus faibles rendements en maïs (de 28 % inférieur au système conventionnel avec semis direct), à la fin de l'étude, ses teneurs totales en carbone et en azote dans le sol étaient supérieures aux autres systèmes – pour toutes les tranches de profondeur de sol (jusqu'à 30 cm) – et étaient respectivement de 19 et de 23 % supérieures à celles du système avec semis direct. Cela rend le système plus résilient et diminue le besoin d'apporter divers types d'azote de synthèse qui accroissent les émissions de N₂O. De plus, la productivité du sol est meilleure dans les parcelles biologiques. Dans l'essai d'uniformité qui a été réalisé à la fin de l'étude dans toutes les parcelles en cultivant du maïs avec semis direct conventionnel, le système biologique a affiché un gain de rendement de 18 %.

Selon de récentes enquêtes effectuées auprès de céréaliculteurs canadiens, le travail du sol pourrait être compensé par un retour accru de matières organiques. Nelson et al. (2010) ont compilé les réponses d'une enquête postale envoyée à des céréaliculteurs des Prairies (n = 225) sous régimes biologiques et conventionnels. Ils rapportent que même si les producteurs biologiques ont plus recours à la jachère avec travail du sol que les producteurs conventionnels (52 % contre 6 %), ils incluent aussi plus de plantes fourragères et d'engrais verts (respectivement, 66 % contre 64 % et 84 % contre 6 %) dans leurs rotations. Les auteurs recommandent de poursuivre les recherches afin de déterminer l'effet net de ces pratiques sur le carbone dans le sol tout en cherchant des solutions de rechange à la jachère qui conviendraient à la production biologique.

Dans la région du Canada Atlantique, les producteurs biologiques de pommes de terre ont des rotations prolongées (cinq ans) avec cultures de couverture à base de légumineuses alors que les producteurs conventionnels ont des rotations plus courtes où la culture de pommes de terre revient plus souvent (et le travail du sol qui y est associé) (Angers et al., 1999; Lynch et al., 2008). Selon de récentes études, les rotations en production biologique sont très bénéfiques pour la teneur en matière organique du sol et la santé du sol, notamment pour la micro et la macrofaune. Dans une étude réalisée sur quatre sites agricoles pendant deux ans, des indicateurs de la santé du sol, dont l'abondance de vers de terre, la biomasse et la biomasse microbienne du sol, semblent avoir particulièrement profité des rotations prolongées; ils se sont remis des réductions marquées qu'avait entraînées la culture de pommes de terre et sont revenus aux niveaux que l'on trouve dans des pâturages permanents adjacents en seulement trois ou quatre ans après la culture de pommes de terre (dont un an de culture de céréales et quelques années de plantes fourragères) (Nelson et al., 2009). Les teneurs en carbone organique dans le sol ont aussi été maintenues dans tous les sites (~ de 30 à 38 tonnes de C/ha dans la couche 0-15 cm du sol de tous les sites et à toutes les étapes de la rotation) sans aucune modification significative durant la culture de pomme de terre ou par rapport aux champs témoins.

Malgré ces résultats positifs, de nouvelles approches de réduction du travail du sol sont explorées en production biologique. À l'Institut Rodale, Hepperly (2008) a rapporté qu'un système « biologique sans travail du sol » combinant des cultures de couverture et le passage d'un rouleau brise-mottes avait permis d'obtenir d'importants gains de carbone organique dans le sol (COS) par rapport à des systèmes conventionnels avec semis direct et à des systèmes biologiques standard. Des systèmes sans travail du sol sont aussi explorés pour la production de légumes biologiques (Dorais, 2007). Au Canada, la Grappe scientifique biologique fait des essais de systèmes sans travail du sol pour la production biologique de céréales (M. Entz, communication personnelle, 2010).

Une question importante par rapport à la séquestration de carbone est l'atteinte d'un état stable permanent, habituellement en 15 à 33 ans, selon le type de sol et le mode de production, puis l'évitement de mesures qui contribuent ensuite au déclin du carbone. La manière de prendre en compte la variabilité régionale, les incertitudes liées à la comptabilisation et aux processus, la détermination des apports réels, la réduction des fuites de carbone et la détermination d'un prix approprié pour le carbone stocké (Smith et al., 2007) font encore l'objet de nombreuses discussions. Avec toutes ces questions qui restent à débattre, les producteurs biologiques ne doivent pas nécessairement compter sur le développement de marchés de séquestration de carbone qui fonctionnent bien à court terme pour financer des améliorations sur leurs exploitations. Toutefois, selon Niggli et al. (2007), la séquestration de carbone dans le sol peut être atteinte relativement vite et s'avérer très efficace sur le plan économique, et puisqu'elle comporte de nombreux avantages secondaires, elle devrait être reconnue dans les pratiques de gestion améliorée du sol qui sont communément employées par de nombreuses exploitations biologiques. Actuellement, les crédits pour le carbone organique dans le sol (COS) sont exclus des Mécanismes pour un développement propre et du Fonds mondial pour la nature destinés à des programmes en lien avec la nature.

Il y a beaucoup moins d'études comparatives qui ont été faites sur l'influence des systèmes d'élevage et de régie des pâturages permanents sur le potentiel de séquestration du COS que sur l'influence des systèmes culturels. Les éleveurs de ruminants biologiques doivent, selon les

normes du biologique, compter sur les fourrages pour l'alimentation du bétail, qui comprend en saison la régie des pâturages. La gestion améliorée des pâturages, comme l'utilisation de légumineuses, et les décisions relatives à l'intensité du pâturage et à la charge du bétail, telles que le pratiquent les agriculteurs biologiques, peuvent s'avérer une option économique efficace favorisant des gains importants de COS sur les superficies extensives en pâturages permanents qui sont souvent dégradés au Canada (Franzlubbers et al., 2000; Lynch et al., 2005, Niggli et al., 2008).

Le logiciel Holos calcule les émissions et la séquestration de carbone dans le sol selon l'utilisation des terres. Un intrant important est la variation en pourcentage des cultures vivaces sur l'exploitation (légumineuses).

Compensations carbone

Dans quelle mesure les compensations carbone des cultures énergétiques, des résidus et de la production de biogaz créent-elles un bilan énergétique plus favorable aux exploitations biologiques? Pour l'étude de la question, il faut comparer les stratégies énergétiques de productions agricoles conventionnelles comparables. Selon un rapport de MacRae et al. (2010), les cultures énergétiques et les résidus joueraient un rôle beaucoup plus limité sur les exploitations biologiques que sur les exploitations conventionnelles, en raison de l'obligation d'utiliser de la matière organique pour la fertilisation et la régénération du sol, et de la forte demande en aliments biologiques sur les marchés destinés à la consommation humaine. De la même façon, la production de biogaz devrait jouer un rôle beaucoup plus limité, étant donné les faibles quantités de fumier qui peuvent généralement être consacrées à la production de biogaz à la ferme, et le fait que les normes biologiques découragent la digestion anaérobie^{xix}. Bien que les compensations carbone, même en petite capacité, puissent réduire les émissions globales de GES et améliorer l'efficacité énergétique d'une exploitation biologique, elles devraient représenter des avantages relativement moins importants que ceux pouvant être générés par des exploitations conventionnelles.

Études sur l'adoption généralisée de l'agriculture biologique

Seules quelques études ont examiné les incidences énergétiques de l'adoption généralisée de systèmes de production agricole biologique. Selon une étude danoise portant sur la conversion nationale à la vente en gros, la production biologique pourrait permettre de réduire de 10 à 51 % l'utilisation nette d'énergie par rapport à l'agriculture conventionnelle de 1996, dépendamment du scénario adopté pour cette conversion. Les scénarios variaient selon les rendements obtenus en productions animales et végétales et selon le degré d'autosuffisance pour les aliments du bétail. À mesure que les rendements en production biologique s'accroissaient, le potentiel d'efficacité augmentait. Les réductions d'utilisation nette d'énergie ont été associées à d'importantes réductions des émissions de GES, en particulier de N₂O (Dalgaard et al., 2002; Dalgaard et al., 2003).

Quelques études ont été réalisées concernant les incidences de l'adoption plus généralisée de systèmes de production biologique au Canada sur les émissions de GES et le PRP. L'étude de Pelletier et al. (2008) a déjà été résumée. Une analyse non publiée et moins complète du Fonds mondial pour la nature (Canada, 2002), basée notamment sur les évaluations de

Robertson et al. (2000), indique des réductions des émissions totales de GES de scénarios de conversion limitée à 1,225 Mtonnes d'équivalents CO₂, une quantité considérable compte tenu au temps de l'analyse de l'objectif d'AAC de réduire les émissions agricoles entre 10 et 20 Mtonnes (MacGregor et Boehm, 2004).

Considérations liées à la consommation

Nous traitons ici de considérations liées à la consommation qui peuvent influencer l'interprétation des différences entre la production conventionnelle et biologique.

Même si la question n'a pas été bien étudiée au Canada, certains travaux récents suggèrent que les produits laitiers, les œufs, la viande fraîche et surgelée ainsi que les aliments préparés sont les aliments qui contribuaient le plus aux émissions de GES en 2003 en ce qui concerne les dépenses d'alimentation des ménages (Statistique Canada, 2009). À l'aide d'analyses américaines plus rigoureuses, nous élaborons certains de ces constats.

Aliments transformés

Aux États-Unis, les aliments transformés comptent pour 82 à 92 % des ventes d'aliments (Pimentel et al., 2008). De nombreux aliments nécessitent une transformation minimale, appelée aussi transformation primaire, pour devenir comestible et gagner en valeur nutritive, alors que d'autres aliments passent par une transformation secondaire et tertiaire extensive qui leur confèrent une facilité d'utilisation, sans nécessairement ajouter une valeur nutritive. En fait, bon nombre des procédés de transformation secondaire et tertiaire entraînent une perte de certains éléments nutritifs, exigent un emballage sophistiqué et une forte consommation d'énergie. Au cours des dernières années, les ménages ont efficacement transféré une portion de leur consommation énergétique à de tels transformateurs (Canning et al., 2010). Selon Pimentel et al. (2008), la méthode la plus efficace pour diminuer les intrants énergétiques est de réduire considérablement la demande de produits qui subissent une transformation secondaire et tertiaire exigeant de grandes quantités d'intrants énergétiques. Par exemple, une canette de boisson gazeuse diète contient seulement une kilocalorie (kcal) d'énergie alimentaire, mais exige tout de même près de 500 kcal pour sa production et 1 600 kcal additionnelles pour la production de la canette d'aluminium de 12 oz. Ainsi, il lui faut 2 100 kcal pour n'offrir que de 0 à 1 kcal d'énergie consommable (Pimentel et Pimentel, 2008), sans compter les intrants énergétiques nécessaires à son transport.

Produits d'origine animale

Certains analystes considèrent que l'explosion des cheptels d'élevage est une gigantesque menace à la durabilité mondiale (Weis, 2007). Les changements d'utilisation de terres qu'il faut pour subvenir aux besoins des animaux, la production de fumier, les cultures destinées à l'alimentation du bétail qui sont fertilisées aux engrais azotés de synthèse, les émissions directes des animaux eux-mêmes, le transport, le refroidissement et le réchauffement dans la chaîne de transformation et de consommation peuvent représenter, directement ou indirectement, entre 18 et 51 % des émissions mondiales de GES (Steinfeld et al., 2006; Goodland et Anhang, 2009). D'après une étude européenne, la moitié des émissions de l'Union européenne liées aux aliments

sont associées aux produits carnés et laitiers (Commission européenne, 2006). L'incitation à une diète plus végétarienne, combinée notamment à la production biologique, pourrait donner des résultats considérables. Les aliments protéinés d'origine animale ont une teneur énergétique de 2 à 100 fois supérieure à celle d'aliments d'origine végétale, dépendamment du système de production et du type de produit (Carlsson-Kanayama, 1998).

L'élimination du bétail n'est toutefois pas une option viable, car les animaux peuvent avoir un rôle écologique très important dans les exploitations agricoles. Il importe cependant d'optimiser les systèmes d'alimentation humaine et animale en maximisant l'utilisation de fourrages et de graminées chez les ruminants et en privilégiant chez les monogastriques l'utilisation de résidus et de grains issus de cultures non dominantes. D'autres pays ont une alimentation animale dont le bilan énergétique est meilleur. Par exemple, alors que les États-Unis consacrent 60 % de leur production céréalière aux animaux, l'Inde n'y alloue que 5 % de la sienne (Smil, 2001:237). Il faut maximiser les résidus de cultures et les déchets. Un des éléments efficaces de cette stratégie est l'accroissement de l'utilisation de graines d'oléagineuses triturées, de résidus de transformation et de cultures dont les grains sont de moindre qualité dans l'alimentation animale. Aussi, il faut faire plus de recherches sur la mise en pâturage des porcs et des volailles afin de déterminer la charge optimale de bétail. La réduction des pertes d'aliments du bétail améliorerait aussi l'efficacité générale du système. Même s'il est inconcevable d'éliminer les animaux d'élevage, une réduction importante de la consommation de produits d'origine animale pourrait réduire les agents de stress environnementaux et améliorer la santé humaine.

Un autre point en lien avec cette question est le besoin de rationaliser la sélection des animaux. En ce moment, la production de viande biologique est surtout axée sur la production bovine, d'une part en raison de la disponibilité des pâturages et d'autre part en raison des réalités actuelles des marchés. Or, les porcs ont des besoins énergétiques de 40 % inférieurs à ce qu'on s'attendrait par rapport à leur poids, en raison surtout de leur faible métabolisme de base. Ainsi, il y a une logique énergétique à favoriser le porc plutôt que le bœuf dont les métabolismes de base et de reproduction sont beaucoup plus élevés. Le porc tolère aussi une grande variété d'environnements. Les animaux laitiers ont quant à eux un ratio de conversion favorable pour la production de lait.

Comme nous en avons déjà discuté précédemment, il reste encore à trouver la manière de mieux exploiter ces réalités biologiques en production porcine biologique. La production avicole (poulet et œufs) est la deuxième production la plus efficace en terme de conversion énergétique, ce qui suggère qu'il faudrait prêter plus d'attention à cette production pour la planification du territoire d'une perspective d'efficacité énergétique. Enfin, les poissons ont une conversion alimentaire beaucoup plus efficace que les animaux d'élevage. Par conséquent, il serait logique que le secteur biologique envisage à long terme la production écologique de poissons herbivores et omnivores.

Pertes d'aliments

Selon certaines estimations, jusqu'à 40 % des produits semés et cultivés ne sont jamais consommés. Il y a des pertes à toutes les étapes de la chaîne alimentaire – au cours de la récolte, du stockage, de la distribution, de la vente au détail ainsi que dans la cuisine. Par exemple, chacune des étapes de la production de céréales (de la récolte au battage, le séchage, l'entreposage et la mouture) peut générer jusqu'à 10 % de perte, pour un cumul de 40 %. Pour

les fruits et légumes, les pertes vont de 10 à 70 % (Peters et al., 2002, 2003). Même si ce ne sont pas tous les déchets qui sont comestibles, ils pourraient en théorie servir d'aliments aux humains ou aux animaux ou encore d'amendements du sol. Comme le système de manutention des déchets biologiques au Canada n'en est encore qu'à ses balbutiements, sauf dans certaines provinces comme la Nouvelle-Écosse, les pertes ne sont probablement pas minimisées.

Un autre type de perte provient de la consommation excédentaire par rapport aux besoins. Les besoins d'une personne moyenne sont de 2 200 kcal/jour (plus 800 kcal/jour additionnelles pour les pertes associées de la production à la consommation) (Smil, 2001:237). La consommation du Nord-Américain moyen excède considérablement ses besoins pour le maintien d'une santé optimale, soit peut-être autour de 3 700 kcal/jour (Pimentel et al., 2008). Le Canadien moyen consomme aussi plus de calories qu'il n'a généralement besoin pour le maintien d'une bonne santé (Garriguet, 2006; Statistique Canada, 2006). Une approche de la consommation davantage axée sur la santé, misant sur une distribution plus équitable des ressources alimentaires à l'échelle mondiale, entraînerait une réduction de la pression exercée sur l'accroissement des rendements des productions végétales et animales (et de leur utilisation connexe d'engrais azotés associée à des émissions élevées) et réduirait considérablement les émissions du système alimentaire par habitant.

Un endroit important où l'on pourrait commencer serait de réduire la consommation d'aliments vides. L'Américain moyen consommerait 33 % du total de ses calories en aliments vides. Selon Pimentel et al. (2008), « la réduction de la consommation d'aliments vides de 33 à 10 % permettrait de ramener la consommation calorique à 2 826 kcal, d'économiser de l'énergie et d'améliorer la santé » (Pimentel et Pimentel, 2008).

Conclusions

Au début du présent rapport, nous avons déterminé les éléments qui devaient être en place pour qu'une stratégie de promotion de l'image de marque de l'agriculture biologique étendue à l'ensemble de ce secteur soit possible. Nous discutons des résultats de notre étude en regard de ces éléments.

1. Il existe des différences marquées et significatives de la performance des exploitations biologiques et conventionnelles en matière d'utilisation d'énergie et d'émissions de GES.

La production biologique présente généralement une utilisation d'énergie et des émissions de GES plus faibles par hectare, un meilleur ratio intrants/extrants énergétiques par unité de produit, mais ses résultats sont plus variables lorsque l'utilisation d'énergie et les émissions de GES sont exprimées par unité de produit. Les systèmes biologiques – malgré une certaine variabilité des résultats en grandes cultures, en production porcine et dans certaines productions fruitières et légumières – ont constamment une meilleure efficacité énergétique que les systèmes conventionnels, dépassant le seuil de 20 % de différence lorsque les mesures sont exprimées par unité de surface et par unité de produit. De même, leurs émissions de GES sont constamment plus faibles – avec encore une fois une certaine variabilité pour les mêmes productions –, mais il arrive plus souvent que le seuil de 20 % de différence ne soit pas dépassé par comparaison à l'efficacité énergétique relative des systèmes, surtout lorsque les données sont exprimées par unité de produit où les résultats sont alors souvent très variables. En revanche, la production de volaille et de fruits favorise généralement les systèmes conventionnels, ou sinon le seuil de 20 % n'est habituellement pas dépassé. La meilleure performance de la production biologique s'explique principalement par le fait qu'elle ne fait pas appel à des engrais azotés de synthèse et qu'elle utilise beaucoup moins de concentrés pour nourrir le bétail. Des études démontrent invariablement que le fait de ne pas employer la plupart des produits agrochimiques de synthèse en production biologique est une raison majeure de la réduction de l'utilisation d'énergie et des émissions. Ce constat n'est pas surprenant, car les engrais azotés représentent environ 1 % des émissions mondiales de GES anthropogéniques et 10 % des émissions directes en agriculture (Sciaballa et Müller-Lindenlauf, 2010). Selon les calculs de Williams et al. (2006), 56 % du total de l'énergie primaire nécessaire à la production conventionnelle de blé au Royaume-Uni est attribuable aux engrais minéraux et 11 % aux pesticides. Pimentel (2006) a constaté des résultats similaires pour le maïs aux Etats-Unis, où 30 à 40 % de l'énergie nécessaire utilisée est attribuable à la fertilisation et de 9 à 11 % aux produits phytosanitaires. Leur élimination en production biologique modifie considérablement l'utilisation d'énergie et les émissions de GES. Le travail du sol en production biologique ne semble pas être un participant important à l'utilisation d'énergie en agriculture, contrairement aux arguments fréquemment invoqués par les détracteurs de l'agriculture biologique. Notre étude n'a pas permis de trouver des données cohérentes qui prouvent que le travail du sol pratiqué en agriculture biologique entraîne une diminution du carbone dans le sol. En fait, d'après les constats, l'inverse est souvent vrai; les engrais verts et les fourrages diminuent le carbone dans le sol des fermes biologiques qu'importe la pratique de travail du sol. En outre, les données rassemblées n'ont pas permis d'appuyer les allégations de la critique qui prétendent que les producteurs biologiques sont de grands consommateurs de diesel.

2. L'approche doit être cohérente dans la manière de présenter les émissions, que celles-ci soient exprimées par unité de surface ou par unité de produit.

Comme on discute encore beaucoup dans la littérature des meilleures façons d'exprimer les résultats et de la variabilité des résultats comparatifs, cela indique qu'il s'agit d'une question importante qu'il reste encore à régler. En raison des différences de rendement des régions qui font de la production conventionnelle intensive (c.-à-d. en Europe), les comparaisons par unité de produit désavantagent plus souvent la production biologique, notamment en matière d'émissions de GES. Quoique les détracteurs de l'agriculture biologique soutiennent souvent que ses rendements inférieurs sont une raison suffisante pour ne pas appuyer ce mode de production, de nombreuses régions du Sud de la planète obtiennent de meilleurs rendements en biologique qu'en conventionnel (Pretty et Hines, 2002). Dans les régions où les rendements du conventionnel dépassent considérablement ceux du biologique, il n'est pas évident que cette « surproduction » soit complètement avantageuse, compte tenu des défis financiers permanents en agriculture, des mesures qui ont des effets de distorsion sur les échanges au détriment des producteurs des régions moins « productives » et de la surconsommation alimentaire dans ces mêmes régions surproductrices.

3. L'approche doit être cohérente quant à savoir si les estimations incluent ou non un crédit pour la séquestration de carbone dans le sol.

Même si les comparaisons favorisent constamment la production biologique, ce ne sont pas toutes les études qui tiennent compte de la séquestration de carbone dans le sol. Les opinions sont partagées quant à la permanence de la séquestration de carbone dans le sol agricole et certains sont réticents à inclure la séquestration de carbone par le sol dans les mécanismes de développement propres (MDP) et d'autres normes relatives à la séquestration de carbone (Niggli et al., 2008). Dans certains systèmes, il n'y a que la séquestration de carbone qui semble avantager la production biologique, en particulier si elle est mesurée sur la base des extrants (Niggli et al., 2008), donc il s'agit d'un facteur important.

4. L'approche doit être cohérente à l'égard des émissions de N₂O qui découlent de la fixation biologique d'azote par les légumineuses.

Des études plus anciennes, qui utilisaient alors les coefficients courants du GIEC, ont probablement surestimé les émissions attribuables aux légumineuses dans les systèmes biologiques. Cependant, tant que les résultats de ces études ne seront pas recalculés, il est impossible qu'en quantifier les incidences.

5. Il faut des mesures reconnues pour la détermination des différences.

Comme Mondalaers et al. (2009) l'avaient constaté, il n'existe aucune approche cohérente de métaanalyse pour les comparaisons de systèmes de production biologique et conventionnelle. Nous avons recensé cinq ou six grandes approches pour la réalisation de telles études, dont les résultats ne sont pas toujours comparables entre eux. D'après Gomiero et al. (2008:243), « souvent, les résultats des évaluations énergétiques sont difficilement comparables en raison des diverses méthodologies et méthodes de comptabilisation employées ».

Van der Werf et al. (2007) ont examiné cinq différentes approches européennes de comparaison des productions biologiques, naturelles et conventionnelles afin d'en dégager

l'efficacité de comparaison. Ils ont constaté que les modèles d'évaluation avaient des résultats significativement différents.

6. En général, on s'entend pour dire que ces différences se répètent invariablement; autrement dit, qu'elles ne varient pas assez variables dans le temps et l'espace pour qu'aucun modèle cohérent ne s'en dégage.

Les résultats varient selon le territoire, et sont habituellement déterminés par le type de comparateur utilisé en pratiques conventionnelles (production intensive ou extensive). Cela signifie que les comparaisons internationales sont plus difficiles, mais qu'elles sont possibles à l'échelle régionale.

7. Les changements représentent une amélioration permanente. L'hypothèse sous-jacente à de telles comparaisons est que l'écart entre la production biologique et la production conventionnelle vis-à-vis de ces mesures demeure constant.

La récidive est rare en production biologique et les exigences d'inspection annuelle signifient que la plupart des pratiques, une fois qu'elles ont été adoptées pour l'obtention de la certification biologique, sont maintenues. Cependant, les discussions se poursuivent concernant la permanence des puits de carbone dans le sol.

8. Les différences entre les exploitations biologiques et conventionnelles sur le plan de l'utilisation d'énergie et du PRP représentent un gain différentiel réel qu'il vaut la peine de promouvoir dans le contexte de l'atténuation des émissions des GES et de l'efficacité énergétique du système alimentaire dans son ensemble.

En supposant, comme dans l'étude américaine de Canning et al. (2010) (il y a un grand manque de données canadiennes), que l'utilisation d'énergie à la ferme représente une moyenne brute de 35 % de l'utilisation totale d'énergie de la filière alimentaire et qu'elle continue de s'accroître, un gain d'efficacité énergétique de 20 % ou plus au moyen de pratiques agricoles biologiques représenterait une réduction de 7 % ou plus de l'utilisation d'énergie de la filière alimentaire. Dans la pratique, comme le rapport de l'utilisation d'énergie à la ferme sur celle de la filière alimentaire entière varie beaucoup selon le secteur (de 17 à 54 % dans l'étude de Canning et al. (2010)), les avantages des pratiques agricoles biologiques pourraient être encore plus grands pour l'ensemble de la filière. Dans la chaîne d'approvisionnement alimentaire en aval de l'agriculture, les étapes de la vente en gros et au détail (dont le refroidissement et l'emballage) et de la transformation sont aussi des facteurs importants de l'ensemble de la chaîne d'approvisionnement alimentaire, car ils sont souvent responsables de 30 % ou plus des coûts totaux en énergie du système alimentaire. Ainsi, et tel que déjà mentionné à la section sur les aliments transformés, il serait possible de réaliser d'autres économies d'énergie dans le système alimentaire en se concentrant sur la réduction de la transformation et la consommation d'aliments entiers. Les protocoles de transformation des produits biologiques, qui visent à réduire au minimum les additifs et à limiter le nombre d'ingrédients ainsi que les procédés de transformation qui altèrent les aliments, peuvent déjà s'avérer efficaces, alors cet aspect mérite d'être étudié davantage. Enfin, la réduction du transport présente un potentiel additionnel, quoique plus petit, d'économie d'énergie et de réduction des émissions de GES (encore une fois, il y a un manque de données canadiennes sur le système alimentaire). De nombreux travaux ont déjà comparé l'efficacité de divers

moyens de transport au niveau de la consommation énergétique et des émissions de GES. Enfin, il est important que le secteur biologique sache que des gains d'efficacité obtenus en agriculture peuvent être annulés en aval de la chaîne d'approvisionnement alimentaire par les inefficacités d'autres étapes, notamment au cours de la transformation, du transport et de la vente en gros et au détail. Ce phénomène est particulièrement important pour le secteur horticole nord-américain, qui compte beaucoup sur le transport par camion (dont les émissions de GES/tonne sont supérieures à celles du transport par train et par bateau) et le refroidissement des produits tout au long de la chaîne d'approvisionnement (voir Weber et Matthews, 2008; Garnett, 2006; Masanet et al., 2008). Dans l'étude américaine de Miesterling et al. (2009), tel que déjà discuté à la section sur les grandes cultures, le PRP d'un pain de blé biologique d'un kilo contenait environ 30 g d'équivalent CO₂ de moins qu'un pain de blé conventionnel. Toutefois, lorsque le blé biologique était transporté 420 km plus loin, les deux systèmes avaient des impacts semblables. Ainsi, en supposant que les systèmes de transport locaux sont efficaces^{xx}, la promotion d'aliments locaux, entiers et biologiques présente le plus grand potentiel de gains, sans compter la réduction des coûts énergétiques que représente l'offre d'aliments biologiques aux consommateurs.

Enfin, les différences entre la production biologique et conventionnelle, bien qu'elles soient significatives, peuvent être relativement petites comparativement aux réductions qu'il est possible d'obtenir à d'autres paliers du système alimentaire, notamment en incitant la population à réduire sa consommation de viande (voir l'argument invoqué par Weber et Matthews, 2008). Cependant, ces avantages au niveau de l'agriculture sont un gain différentiel qui, combiné à des améliorations importantes de l'utilisation et de l'efficacité énergétiques à l'étape de la transformation, ainsi qu'à des améliorations à un degré moindre dans les étapes du transport, du refroidissement et de l'emballage des chaînes d'approvisionnement conventionnelles, s'ajouteront encore aux avantages à l'échelle de l'exploitation agricole des pratiques biologiques. Il est bon de noter que les données sur la consommation énergétique du système alimentaire canadien sont encore très limitées.

9. Qu'il soit possible d'effectuer certaines mesures de vérification à l'échelle du secteur ou de l'exploitation agricole, selon la nature de l'image de marque.

Des mesures sont en train d'être introduites et des lignes directrices sont en cours d'élaboration. Il existe des postes d'inspecteurs en matière de changement climatique, mais ce genre de travail est encore tout nouveau. Des vérifications de la consommation énergétique agricole s'effectuent dans certains territoires au moyen de plans agroenvironnementaux provinciaux. La consignation régulière de tous les intrants et souvent des rendements par les exploitations agricoles biologiques est un élément important de tout système de vérification de la consommation et de l'efficacité énergétique à la ferme.

En résumé, notre étude a permis de constater que le nombre et le type d'études comparatives des systèmes de production biologique et conventionnelle varient considérablement selon le secteur (voir le tableau 8).

Tableau 8. Abondance de la littérature par secteur agricole

Secteur agricole	Abondance de la littérature **
Grandes cultures	√ √ √ √
Production bovine	√ √
Production laitière	√ √ √
Production porcine	√ √
Production avicole	√
Production légumière	√ √ √
Production fruitière	√ √ √
Production en serre	√

**De toutes sources ou provenances

Seule la promotion d'une image de marque de la production biologique fondée sur l'utilisation d'énergie à la ferme semble être justifiée compte tenu des preuves suffisamment rigoureuses à son endroit, à l'exception de la production avicole et fruitière où les données actuelles, bien que très limitées, favorisent plutôt la production conventionnelle ou encore les différences ne dépassent pas notre seuil de 20 %. La promotion d'une image de marque fondée sur les réductions d'émissions de GES est quant à elle prématurée, compte tenu de la variabilité des approches et des constats qui se dégagent des études actuelles. Cependant, l'obtention de données comparatives plus rigoureuses sur les émissions de GES et la mise à jour des coefficients d'émissions pourraient permettre d'envisager à moyen terme de faire une promotion sur la base des émissions de GES par hectare. Une promotion fondée sur les émissions de GES par produit est un enjeu à plus long terme, car il faut soit (a) augmenter les rendements biologiques en améliorant les connaissances et les performances à la ferme, soit b) soumettre la production conventionnelle à l'internationalisation des coûts, en émettant des signaux de marché qui incitent les producteurs conventionnels à réduire leurs rendements à des niveaux moins dommageables. Ces résultats ne pourront probablement être obtenus qu'à long terme.

Une question importante est de savoir s'il serait possible de faire la promotion d'une image de marque sur la base d'un domaine relativement restreint de la performance du système alimentaire. Même si une allégation d'efficacité serait plus justifiable dans le contexte nord-américain, où la production est plus extensive, le fait que les aliments biologiques proviennent de partout sur la planète et que le marché canadien compte actuellement sur les importations pour répondre à la demande, signifie qu'une promotion axée sur la production

nationale risque d'être problématique. Et comme l'utilisation d'énergie à la ferme n'est qu'un des éléments de la question du changement climatique, le dégagement de facteur pourrait être vu comme une tentative de manipulation des consommateurs.

Cela soulève la question de la copromotion de l'image de marque. Si la production biologique qui évite l'utilisation des engrais azotés^{xxi}, la production locale – lorsque le transport des marchandises est efficace et surtout que la production est biologique – et la consommation d'aliments entiers qui sauve de la transformation, permettent de réduire les émissions de GES, alors peut-être que le secteur biologique pourrait trouver un point commun où les aliments biologiques, les aliments locaux et les aliments entiers se rejoignent.

La présente enquête a aussi permis de recenser des pistes importantes de recherches :

- Les données comparatives canadiennes sur les productions biologiques et conventionnelles sont généralement limitées, sauf en grandes cultures et en production laitière. Les besoins d'études sont grands aussi dans d'autres types d'élevage et de productions horticoles.
- Il manque aussi d'analyses sur l'utilisation d'énergie et les émissions de GES des systèmes de production, en regard des évaluations de PGB, manquent aussi.
- Il est particulièrement important de peaufiner les coefficients de PRP pour les exploitations biologiques afin de mieux comprendre le rendement de la production biologique.
- Le rendement en énergie et en GES de la production biologique parmi les chaînes d'approvisionnement. Peu d'études examinent les éléments biologiques des intrants jusqu'à la production, la distribution, la transformation et la vente au détail. Les chaînes d'approvisionnement de produits biologiques sont-elles supérieures à celles des produits conventionnels? Aussi, comme les pertes d'aliments peuvent représenter d'importants gains d'efficacités énergétiques (Smil, 2001), sont-elles aussi élevées dans les filières biologiques que conventionnelles?
- Enfin, il y a les grandes questions en lien avec les émissions de GES et les coûts énergétiques des rotations simples et des monoélevages en confinement, conventionnels ou biologiques. Lorsque les exploitations biologiques ou conventionnelles dévient des bonnes pratiques agronomiques fondamentales ou des pratiques normales agricoles, elles compromettent leur capacité de réduction des émissions de GES et des coûts énergétiques à long terme ou deviennent trop fragiles et incapables de s'ajuster à la hausse des coûts en carbone et en énergie. Il est important de mieux comprendre ces dynamiques.

Bibliographie

- Alonso A. M., and G. J. Guzman. 2010. Comparison of the efficiency and use of energy in organic and conventional farming in Spanish agricultural systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 34:312–338.
- Angers, D.A., Edwards, L.M., Sanderson, J.B., and Bissonnette, N. 1999. Soil organic matter quality and aggregate stability under eight potato cropping sequences in fine sandy loam of Prince Edward Island. *Revue canadienne de la science du sol = Can. J. Soil Sci.* 79: 411-417.
- Arnqvist, G. and D. Wooster. 1995. Meta-analysis – synthesizing research findings in ecology and evolution. *Trends in Ecology & Evolution* 10(6): 236-40.
- Arsenault, N., P. Tyedmers, and A. Fredeen. 2009. Comparing the environmental impacts of pasture-based and confinement-based dairy systems in Nova Scotia (Canada) using life cycle assessment. *International Journal of Agricultural Sustainability* 7:19-41.
- Azeez, G.S.E. 2008. The comparative energy efficiency of organic agriculture. *Organic agriculture and climate change: the contribution that organic agriculture and dietary choices can make to the mitigation of global warming* April 17th- 18th, 2008, ENITA, Clermont-Ferrand, Lempdes, Auvergne, France ftp://ftp.fao.org/paia/organicag/brochure_enita_en.pdf
- Bertilsson, G., H. Kirchmann and L. Bergstrom. 2008. Energy analysis of conventional and organic agricultural systems In: Kirchmann, H. and L. Bergstrom (Eds) *Organic Crop Production – Ambitions and Limitations*. the Netherlands: Springer Dordrecht.
- Bokkers, E.A.M and L.J.M. de Boer. 2009. Economic, ecological, and social performance of conventional and organic broiler production in the Netherlands. *British Poultry Science* 50(5): 546-557.
- Bos, J.F.F.P., J.J. de Haan, W. Sukkel and R.L.M. Schils. 2007. Comparing energy use and greenhouse gas emissions in organic and conventional farming systems in the Netherlands. 3rd *QLIF Congress*, Hohenheim, Germany, March 20-23, 2007 Archived at Organic E-Prints http://orgprints.org/view/projects/int_conf_qlif2007.html
- HM Government (UK). *Food 2030* London, DEFRA <http://www.defra.gov.uk/foodfarm/food/pdf/food2030strategy.pdf>
- Office des normes générales du Canada. 2006. *Systèmes de production biologique : principes généraux et normes de gestion*. CAN/CGSB-32.310-2006. Ottawa, Office des normes générales du Canada.
- Canning, P., C.A. Charles, S.Huang, K.R.Polenske and Waters, A. 2010. *Energy Use in the U.S. Food System*. Economic Research Report No. 94. Washington: United States Department of Agriculture.

- Carlsson-Kanyama, A. 1998. Climate change and dietary choices-how can emissions of greenhouse gases from food consumption be reduced? *Food Policy* 23: 277-293.
- Carter, M.S., Albert, K., Ambus, P. 2009. Is organic farming a mitigation option? – a study on N₂O emissions from winter wheat. *Poster presented at International Scientific Congress on Climate Change*, Copenhagen, March 10-12, 2009.
- Casey, J. W. and Holden, N. M. 2006. Greenhouse gas emissions from conventional, agri-environmental scheme, and organic Irish suckler-beef units. *J. Environmental Quality* 35:231–239.
- Castellini, C. S. Bastianoni, C. Granai, A. Dal Bosco and M. Brunetti. 2006. Sustainability of poultry production using the emergy approach: comparison of conventional and organic rearing systems. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 114:343-350.
- Cavigelli, M.A., M. Djurickovic, C. Rasmann, J.T.Spargo, S.B. Mirsky and J.E. Maul. 2009. Global warming potential of organic and conventional grain cropping systems in the Mid-Atlantic Region of the US In: *Proceedings of the Farming System Design Conference*, Monterey, California. Aug. 25, 2009.
- Clements D.R., S.F. Weise, R. Brown, D.P. Stonehouse, D.J. Hume, C.J Swanton. 1995. Energy analysis of tillage and herbicide inputs in alternative weed management systems *Agriculture, Ecosystems and Environment* 52 (2/3):119-128.
- Dalgaard, T., N.Halberg and J. R. Porter. 2001. A model for fossil energy use in Danish agriculture to compare organic and conventional farming. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 87:51-65.
- Dalgaard, T., N. Halberg, and J. Fenger. 2002. Can organic farming help to reduce national energy consumption and emissions of greenhouse gases in Denmark? In: *Economics of sustainable energy in agriculture*, eds. E.C. van Ierland & A.O. Lansink, 191-204. Dordrecht, Netherlands: Kluwer.
- Dalgaard, T., M. Kelm, M. Wachendorf, F. Taube and R. Dalgaard. 2003. Energy balance comparison of organic and conventional farming. In: OECD (ed.). *Organic farming: sustainability, policies and markets*. UK: CABI Publishing, pp. 127-138.
- De Bakker, E. J. Aertsens, S. Vergucht and W. Steurbaut. 2009. Assessing the ecological soundness of organic and conventional agriculture by means of life cycle assessment (LCA): a case study of leek production. *British Food Journal* 111(10): 1028-1061
- Degre, A. C. Debouche and D. Verheve. 2007. Conventional versus alternative pig production assessed by multicriteria decision analysis. *Agronomy for Sustainable Development* 27: 185–195.
- Deike, S. B. Palutt and O. Christen. 2008. Investigations on the energy efficiency of organic and integrated farming with specific emphasis on pesticide use intensity. *European J. Agronomy* 28: 461–470.

- Dorais, M. 2007. Organic production of vegetables: state of the art and challenges. *Revue canadienne de phytotechnie = Canadian Journal of Plant Science* 87: 1055-1066.
- Drinkwater, L. E., P. Wagoner and M. Sarrantonio. 1998. Legume-based cropping systems have reduced carbon and nitrogen losses. *Nature* 396:262-265.
- Dyer, J.A., and R.L. Desjardins. 2005. A simple meta-model for assessing the contribution of liquid fossil fuel for on-farm fieldwork to agricultural greenhouse gases in Canada. *J. Sustainable Agriculture* 27: 71-90.
- European Commission. 2006. *Environmental Impact of Products: Analysis of the Life Cycle Environmental Impacts Related to the Final Consumption of the EU-25*. Technical Report EUR 22284 EN. Spain: European Commission, Joint Research Centre, Institute of Prospective Technological Studies.
- Falchowsky, G. and S. Hachenberg. 2009. CO₂-footprints for food of animal origin – present stage and open questions. *J. Verbr. Lebensm.* 4: 190-198.
- Flessa, H., R. Ruser, P. Dörsch, T. Kamp, M.A. Jimenez, J.C. Munch and F. Beese. 2002. Integrated evaluation of greenhouse gas emissions (CO₂, CH₄, N₂O) from two farming systems in southern Germany. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 91: 175-189.
- Franzlubbers, A. J., J. A. Stuedemann, H. H. Schomberg and S. R. Wilkinson. 2000. Soil organic C and N pools under long-term pasture management in the Southern Piedmont USA. *Soil Biology and Biochemistry* 32: 469-478.
- Garnett, T. 2006. *Fruit And Vegetables & UK Greenhouse Gas Emissions: exploring the relationship*. Centre for Environmental Strategy, University of Sussex, Sussex, UK.
- Garriguet, D. 2006. *Vue d'ensemble des habitudes alimentaires des Canadiens, 2004*. Ottawa, Statistique Canada. <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-620-m/82-620-m2006002-fra.pdf>.
- Gomiero, T., M. Paoletti and D. Pimentel. 2008. Energy and environmental issues in organic and conventional agriculture. *Critical Reviews in Plant Sciences* 27(4):239-254.
- Goodland, R. and J. Anhang. 2009. Livestock and climate change. *WorldWatch* Nov/Dec: 10-19.
- Gundogmus, E. 2006. Energy use on organic farming: A comparative analysis on organic versus conventional apricot production on small holdings in Turkey. *Energy Conversion and Management* 47: 3351–3359.
- Gündogmus, E. and Z. Bayramoglu. 2006. Energy input use on organic farming: a comparative analysis on organic versus conventional farms in Turkey. *Journal of Agronomy* 5(1): 16-22.

- Haas, G., F. Wetterich and U. Köpke, 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 83:43–53.
- Halberg, N., R. Dalgaard, J.E. Olesen and T. Dalgaard. 2008. Energy self-reliance, net energy production and GHG emissions in Danish organic cash crop farms. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23: 30-37.
- Halberg, N., J.E. Hermansen, I. S. Kristensen, J. Eriksen, N. Tvedegaard, and B.M. Petersen. 2010. Impact of organic pig production systems on CO₂ emission, C sequestration and nitrate pollution. *Agronomy for Sustainable Development* On-line: DOI: 10.1051/agro/2010006
- Haas, G., Wetterich, F., and Köpke, U. 2001. Comparing intensive, extensified and organic grassland farming in southern Germany by process life cycle assessment. *Agric., Ecosys. and Environ.* 83: 43–53.
- Helmers, G.A., M.R. Langemeier and J. Atwood 1986. An economic analysis of alternative cropping systems for east-central Nebraska. *American Journal of Alternative Agriculture* 1:153-158.
- Hepperly, P. 2008. Food and agriculture offer world of opportunity to combat global greenhouse gases. *Organic agriculture and climate change: the contribution that organic agriculture and dietary choices can make to the mitigation of global warming* ENITA, Clermont-Ferrand, Lempdes, Auvergne, France, April 17th- 18th, 2008.
- Hoepfner, J., M. Hentz, B. McConkey, R. Zentner, and C. Nagy. 2006. Energy use and efficiency in two Canadian organic and conventional crop production systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 21:60-67.
- Honeyman, M.S. 1991. Sustainable swine production in the U.S. corn belt. *American Journal of Alternative Agriculture* 6(2):63-70.
- Hortenhuber, S., T. Lindenthal, B. Amon, T. Markut, L. Kirner and W.Zollitsch. 2010. Greenhouse gas emissions from selected Austrian dairy production systems - model calculations considering the effects of land use change. *Renewable Agriculture and Food Systems* On-line: doi:10.1017/S1742170510000025.
- IPCC, 1997. Greenhouse gas reference manual: revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories. Reference Volume 3. J.T. Houghton, L.G. Meira Filho, B. Lin, K. Treanton, A. Mamaty, Y. Bonduky, D.J. Briggs and B.A. Callander (eds). Available: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/invs6c.htm>
- IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) 2007. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K. B. Averyt, M. Tignor and H. L. Miller (eds.)]. (Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA) <http://www.ipcc.ch/>.

- Janzen, H.H., M. Boehm, R. Desjardins, P. Rochette, D. Angers, M. Bolinder and J. Dyer. 2006. A proposed approach to estimate and reduce net greenhouse gas emissions from whole farms. *Revue canadienne de la science du sol = Canadian J. Soil Science* 86: 401-418.
- Kavagiris, S.E., A.P. Mamolos, C.A. Tsatsarelis, A.E. Nikolaidou, and K.L. Kalburtji. 2009. Energy resources' utilization in organic and conventional vineyards: Energy flow, greenhouse gas emissions and biofuel production. *Biomass and Bioenergy* 33:1239 – 1250.
- Khakbazan, M., R.M. Mohr, D.A. Derksen, M.A. Monreal, C.A. Grant, R.P. Zentner, A.P. Moulin, D.L. McLaren, R.B. Irvine and C.N. Nagy. 2009. Effects of alternative management practices on the economics, energy and GHG emissions of a wheat-pea cropping system in the Canadian prairies. *Soil Tillage Research* 104:3-38.
- Kramer, S.B., J.P. Reganold, J.D. Glover, B.J.M. Bohannan and H.A. Mooney 2006. Reduced nitrate leaching and enhanced denitrifier activity and efficiency in organically fertilized soils. *Proceedings National Academy of Science* 103: 4522-4527.
- Kumm, K. 2002. Sustainability of organic meat production under Swedish conditions. *Agriculture Ecosystems and Environment* 88: 95–101.
- Kustermann, B. and K.J. Hulsbergen. 2009. Emission of climate-relevant gases in organic and conventional cropping systems. *16th IFOAM Organic World Congress, Modena, Italy, June 16-20, 2008*.
- Kustermann, B., Kainz, M. and Hulsbergen, K. J. 2008. Modeling carbon cycles and estimation of greenhouse gas emissions from organic and conventional farming systems. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23: 38-52.
- LaSalle, T and P. Hepperly. 2008. *Regenerative 21st century farming: a solution to global warming*. Emmaus PA: The Rodale Institute. <http://www.rodaleinstitute.org>
- Little, S., J. Lindeman, K. MacLean et H. Janzen. 2008. *Holos : un outil pour estimer et réduire les GES émis par les fermes*. Méthodologie et algorithmes pour la version 1.1.x. Ottawa, Agriculture et Agroalimentaire Canada.
- Lotter, D.W. 2003. Organic agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 21:59-128.
- Lynch, D. H., R. Cohen, A. Fredeen, G. Patterson and R. C. Martin. 2005. Management of Canadian prairie region grazed grasslands: soil C sequestration, livestock productivity and profitability. *Revue canadienne de la science du sol = Canadian J. Soil Science* 85: 183-192.
- Lynch, D. H., Z. Zheng, B. J. Zebarth and R. C. Martin, 2008. Organic amendment effects on tuber yield, plant N uptake and soil mineral N under organic potato production. *Renewable Agriculture and Food Systems* 23: 250-259.
- Lynch, D. 2009. Environmental impacts of organic agriculture: A Canadian perspective. *Revue canadienne de phytotechnie = Canadian J. Plant Science* 89: 621-628.

- MacGregor, R & Boehm, M. 2004. Climate change mitigation policy for agriculture in Canada: horizontal policy integration. *UNFCCC Workshop*, Bonn, Germany June 19.
- MacRae, R.J. and G.R. Mehuys. 1985. The effect of green manuring on the physical properties of temperate-area soils. *Advances in Soil Science* 3:71-94.
- MacRae, R. R. Martin, A. Macey, P. Doherty, J. Gibson and R. Beauchemin. 2004. *Does the adoption of organic food and farming systems solve multiple policy problems? a review of the existing literature*. Truro, NS: Organic Agriculture Centre of Canada.
- MacRae, R., B. Frick and R.C. Martin. 2007. Economic and social impacts of organic production systems. *Revue canadienne de phytotechnie = Canadian J. Plant Science* 87(5):1037-1044.
- MacRae, R., D. Lynch and R.C. Martin. 2010 (in press). Improving energy efficiency and GHG mitigation potentials in Canadian organic farming systems. *J. Sustainable Agriculture* 34(5).
- MAFF. 2000. Energy use in organic farming systems. *Report number OF0182*. London: MAFF. http://orgprints.org/8169/1/OF0182_181_FRP.pdf.
- Main, M.H. 2001. Development and application of the Atlantic Dairy Sustainability Model (ADSM) to evaluate effects of pasture utilization, crop input levels, and milk yields on sustainability of dairying in Maritime Canada. *M.Sc. Thesis*. Halifax, NS: NSAC and Dalhousie University.
- Main, M.H., D. Lynch, R.C. Martin and A. Fredeen. 2002. Sustainability profiles of Canadian dairy farms. *Presentation to the IFOAM Scientific Congress*, Victoria BC. August 2002;
- Mallory, E.B. and Porter, G.A. 2007. Potato yield stability under contrasting soil management strategies. *Agronomy Journal* 99: 501-510.
- Marriot, E.E. and M.W. Wander. 2006. Total and labile soil organic matter in organic and conventional farming systems. *Soil Science Society of America Journal* 70:950-959.
- Masanet, E. et al. 2008. *Energy Efficiency Improvement and Cost Saving Opportunities for the Fruit and Vegetable Processing Industry: an Energy Star Guide for Energy and Plant Managers*. Ernest Orlando Lawrence Berkeley National Laboratory, University of California, Berkeley, CA.
- Meisterling, K., C. Samaras and V. Schweizer. 2009. Decisions to reduce greenhouse gases from agriculture and product transport: LCA case study of organic and conventional wheat. *Journal of Cleaner Production* 17: 222–230.
- Mondalaers, K., J. Aertsens and G. Van Huylenbroeck. 2009. A meta-analysis of the differences in environmental impacts between organic and conventional farming. *British Food Journal* 111(10): 1098-1119.
- Mummey D.L. J.L Smith and G. Bluhm. 1998. Assessment of alternative soil management practices on N₂O emissions from US agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 70: 79-87.

- Nagy, C. 2000. *Energy and Greenhouse Gas Emission Coefficients for Inputs used in Agriculture*. Saskatoon, SK: Report to the Prairie Adaptation Research Collaborative (PARC), Centre for Studies in Agriculture, Law and the Environment (CSALE), Canadian Agricultural Energy End-use Data and Analysis Centre (CAEEDAC).
- Needelman, B.A. 1999. Interaction of tillage and soil texture: biologically active soil organic matter in Illinois. *Soil Science Society of America Journal* 63:1326-1334.
- Nelson, K. L., D. H. Lynch and G. Boiteau. 2009. Assessment of changes in soil health throughout organic potato rotation sequences. *Agriculture, Ecosystem and Environment* 131: 220-228.
- Nelson, A. G., J. C. Froese and M. H. Entz. 2010. Organic and conventional field crop soil and land management practices in Canada. *Revue canadienne de phytotechnie = Canadian J. Plant Science* 90: 339-343.
- Nemecek, T., O. Huguenin-Elie, D. Dubois and G. Gaillard (2005). Ökobilanzierung von Anbausystemen im Schweizerischen Acker- und Futterbau. *Schriftenreihe der FAL* 58. FAL Reckenholz, Zürich.
- Niggli, U., H., Schmid and A. Fliessbach. 2008. *Organic Farming and Climate Change*. A report prepared for the International Trade Centre (ITC) of the United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) and the World Trade Organization (WTO). Published by ITC, UNCTAD/WTO, Geneva, Switzerland, pp. 30.
- Odum, H.T. 1996. *Environmental accounting. energy and environmental decision making*. New York: John Wiley & Sons.
- Olesen, J. E., K. Schelde, A. Weiske, M. R. Weisbjerg, W. A. H. Asman and J. Djurhuus. 2006. Modelling greenhouse gas emissions from European conventional and organic dairy farms. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 207-220.
- Öko-Institut (2007): *Arbeitspapier: Treibhausgasemissionen durch Erzeugung und Verarbeitung von Lebensmitteln*. Authors: Fritsche U. and Eberle U. Öko-Institut Darmstadt. Available at: <http://www.oeko.de/aktuelles/dok/544.php>
- Pattey, E., M.K. Trzcinski and R.L. Desjardins. 2005. Quantifying the reduction of greenhouse gas emissions as a result of composting dairy and beef cattle manure. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 72: 173-187.
- Pelletier, N., N. Arsenault and P. Tyedmers. 2008. Scenario modeling potential eco-efficiency gains from a transition to organic agriculture: life cycle perspectives on Canadian canola, corn, soy, and wheat production. *Environmental Management* 42: 989-1001.
- Peters, C., N. Bills, J. Wilkins and R. Smith. 2002. *Vegetable consumption, dietary guidelines and agricultural production in New York State: implications for local food economies*. Ithaca, NY: College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University;

- Peters, C., N. Bills, J. Wilkins and R. Smith. 2003. *Fruit consumption, dietary guidelines and agricultural production in New York State: implications for local food economies*. Ithaca, NY: College of Agriculture and Life Sciences, Cornell University.
- Peters, G.M., H. Rowley, N.S. Wiedemenn, R. Tucker, M. Short and M. Schulz. 2010. Red meat production in Australia: Life cycle assessment and comparison with overseas studies. *Environmental Science and Technology* 44: 1327–1332.
- Petersen, S.O., K. Regina, A. Pöllinger, E. Rigler, L. Valli, S. Yamulki, M. Esala, C. Fabbri, E. Syväsalö and F.P. Vinther. 2006. Nitrous oxide emissions from organic and conventional crop rotations in five European countries. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 112: 200-206.
- Pimentel, D., G. Berardi and S. Fast. 1983. Energy efficiency of farming systems: organic and conventional agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 9:359–372.
- Pimentel, D., P. Hepperly, J.Hanson, D. Douds, and R Seidel. 2005. Environmental, energetic and economic comparisons of organic and conventional farming systems. *BioScience* 55:573-582.
- Pimentel, D. 2006. *Impacts of Organic Farming on the Efficiency of Energy Use in Agriculture*. The Organic Center, Cornell University, Ithaca, NY.
- Pimentel, D. and M. Pimentel. 2008. *Food Energy and Society*, 3rd ed. Boca Raton, FL.: CRC Press.
- Pimentel, D. S. Williamson, C. E. Alexander, O. Gonzalez-Pagan, C. Kontak and S. E. Mulkey. 2008. Reducing energy inputs in the US food system. *Human Ecology* 36:459-471.
- Pizzigallo, A.C.I., C. Granai and S. Borsa. 2008. The joint use of LCA and emergy evaluation for the analysis of two Italian wine farms. *J. Environmental Management* 86: 396–406.
- Point, E. 2008. Life cycle environmental impacts of wine production and consumption in Nova scotia, Canada. *MES*. Halifax: Dalhousie University.
- Poirier, V. D.A. Angers, P. Rochette, M.H. Chantigny, N. Ziadi, G. Tremblay and J. Fortin. 2009. Interactive effects of tillage and mineral fertilization on soil carbon profiles. *Soil Science Society of America Journal* 73:255-261.
- Pretty, J. and R. Hine. 2001. *Reducing Food Poverty with Sustainable Agriculture: a Summary of New Evidence*. Final report from the ‘SAFE World’ Research Project, University of Essex. <http://www.essex.ac.uk/ces/esu/occasionalpapers/SAFE%20FINAL%20-%20Pages1-22.pdf>.
- Reganold, J., J. Glover, P. Andrews and H. Hinman. 2001. Sustainability of three apple production systems. *Nature* 410: 926–929.

Roberts, C. J., D. H. Lynch, R. P. Voroney, R. C. Martin and S. D. Juurlink. 2008. Nutrient budgets of Ontario organic dairy farms. *Revue canadienne de la science du sol = Canadian J. Soil Science* 88: 107-114.

Robertson, G. P., E. A. Paul and R. R. Harwood. 2000. Greenhouse gases in intensive agriculture: contributions of individual gases to the radiative forcing of the atmosphere. *Science* 289 (15 Sept):1922-1925.

Rochette, P., and Janzen, H.H. 2005. Towards a revised coefficient for estimating N₂O emissions from legumes. *Nutrient Cycling Agroecosystems* 73: 171-179.

Sanchez, J.E., Harwood, R.R., Willson, T.C., Kizilkaya, K., Smeenk, J., Parker, E., Paul, E.A., Knezek, B.D., and Robertson, G.P. 2004. Managing soil carbon and nitrogen for productivity and environmental quality. *Agron. J.* 96: 769-775.

Scialabba, N.E. and C. Hattam. (eds). 2002. *Organic agriculture, environment and food security*. Environment and Natural Resources Service Sustainable Development Department. FAO, Rome

Scialabba, N.E. and M. Muller-Lindenlauf. 2010. Organic agriculture and climate change. *Renewable Agriculture and Food Systems* 25(2):158-169.

Smil, V. 2001. *Feeding the world: a challenge for the Twenty-First Century*. Cambridge MA: MIT Press.

Smith, P. et al. 2007. Policy and technological constraints to implementation of greenhouse gas mitigation options in agriculture. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118:6-28.

Synder, C and D. Spaner. 2010. The sustainability of organic grain production on the Canadian Prairies – a review. *Sustainability* 2:1016-1034.

Sonesson, U., C. Cederberg and M. Berglund. 2009a. Greenhouse gas emissions in hog production: decision support for climate certification. 2009-5 Climate Change for Food <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/underline-reports/>

Sonesson, U., C. Cederberg and M. Berglund. 2009b. Greenhouse gas emissions in chicken production: decision support for climate certification 2009-6 Climate Change for Food <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/underline-reports/>

Sonesson, U., C. Cederberg and M. Berglund. 2009c. Greenhouse gas emissions in egg production: decision support for climate certification. 2009-7. Climate Change for Food <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/underline-reports/>

Sonesson, U., C. Cederberg and M. Berglund. 2009d. Greenhouse gas emissions in beef production: decision support for climate certification. 2009-4 Climate Change for Food <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/underline-reports/>

Sonesson, U., C. Cederberg and M. Berglund. 2009e. Greenhouse gas emissions in milk production: decision support for climate certification. 2009-3 Climate Change for Food <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/underline-reports/>

Statistique Canada. 2006. *Rapports sur la santé* 17(3). <http://www.statcan.gc.ca/pub/82-003-x/82-003-x2005003-fra.pdf>.

Statistique Canada. 2009. *L'activité humaine et l'environnement : statistiques annuelles*. Statistique Canada, Ottawa. <http://www.statcan.gc.ca/pub/16-201-x/16-201-x2009000-fra.pdf>

Steinfeld, H., P. Gerber, T. Wassenaar, V. Castel, M. Rosales, C. De Haan. 2006. *Livestock's Long Shadow: Environmental Issues and Options*. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations.

Stockdale, E. A., N.H. Lampkin, M. Hovi, R. Keatinge, E.K.M. Lennartsson, D. W. Macdonald, S. Padel, F.H. Tattersall, M.S. Wolfe and C. A. Watson. 2001. Agronomic and environmental implications of organic farming systems. *Advances in Agronomy* 70:261-327.

Stolze, M., A. Piorr, A. Haring and S. Dabbert. 2000. The environmental impact of organic farming in Europe In: *Organic Farming in Europe: Economics and Policy*. University of Hohenheim, Germany.

Teasdale J.R., C.B. Coffman and R.W. Mangum. 2007.. Potential long-term benefits of no-tillage and organic cropping systems for grain production and soil improvement. *Agronomy Journal* 99: 1297-1305.

Thomassen, M.A., K.J. van Calker, M.C.J. Smits, G.L. Iepema and I.J.M. de Boer. 2008. Life cycle assessment of conventional and organic milk production in the Netherlands. *Agricultural Systems* 96:95-107.

van der Werf, H.M.G., J. Tzilivakis, K. Lewis and C. Basset-Mens. 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118: 327–338.

Verge, X.C.P., J.A. Dyer, R.L. Desjardins and D. Worth 2008. Greenhouse gas emissions from the Canadian beef industry. *Agricultural Systems* 98:126-134.

Wander, M.M. 1998. Tillage impacts on depth distribution of total and particulate organic matter in three Illinois soils. *Soil Science Society of America Journal* 62:1704-1711.

Weber, C.L. and H.S. Matthews. 2008. Food-miles and the relative impacts of food choices in the United States. *Environmental Science and Technology* 42: 3508–3513.

Weis, T. 2007. *The Global Food Economy: the battle for the future of farming*. Zed Books, London, UK.

Welsh, R. 1999. *The economics of organic grain and soybean production in the US mid-west*. PSPR#13. Beltsville, MD: Henry A. Wallace Institute for Alternative Agriculture.

Williams, A.G., Audsley, E. and Sandars, D.L. 2006. *Determining the environmental burdens and resource use in the production of agricultural and horticultural commodities*. Main Report. Defra Research Project IS0205. Bedford: Cranfield University and Defra. Available on www.silsoe.cranfield.ac.uk, and www.defra.gov.uk

Willson, T. C., E. A. Paul, R. R. Harwood. 2001. Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems. *Applied Soil Ecology* 16:63-76.

Wood, R., M. Lenzen, C. Dey and S. Lundie. 2006. A comparative study of some environmental impacts of conventional and organic farming in Australia. *Agricultural Systems* 89: 324–348.

World Wildlife Fund Canada (WWF). 2002. *Discussion paper: WWF Canada's proposals for climate change initiatives in agriculture: meeting our Kyoto targets*. Toronto, ON: WWF-Canada, July 2002.

Zentner, R.P., G.P. Lafond, D.A. Derksen, C.N. Nagy, D.D. Wall and W.E. May. 2004. Effects of tillage method and crop rotations on non-renewable energy use efficiency for a thin Black Chernozem in the Canadian Prairies. *Soil and Tillage Research* 77: 125-136.

Zentner, R.P., S.A. Brandt, C.N. Nagy and B. Frick. 2009. *Economics and Energy Use Efficiency of Alternative Cropping Strategies for the Dark Brown Soil Zone of Saskatchewan*. Project 20070029. Final Report to Saskatchewan Agriculture Development Fund. January 14, 2009. 87pp.

Ziesemer, J. 2007. *Energy use in organic food systems*. FAO, Rome
<http://www.fao.org/docs/eims/upload/233069/energy-use-0a.pdf>

Notes en fin d'ouvrage

ⁱ La digestion anaérobie est généralement découragée, car le fumier produit est considéré comme sous-optimal pour les organismes du sol. Des exceptions peuvent être permises si une exploitation conventionnelle en conversion a déjà suffisamment investi dans des systèmes anaérobie ou si le système produit aussi des biogaz.

ⁱⁱ Voir l'étiquette à http://www.freshplaza.com/news_detail.asp?id=39542

ⁱⁱⁱ Voir l'information vidéo à <http://www.youtube.com/watch?v=ZzuWyW-t7CM>

^{iv} en français l'Association de surveillance technique, dont le siège social se trouve en Allemagne

^v <http://www.klimatmarkningen.se/in-english/>

^{vi} Matt Holmes. 2010. Canadian Organic Brand – Executive Summary. Ottawa: OTA.

^{vii} Ibid.

^{viii} Nous ne présentons pas de comparaisons de systèmes de production inexistante au Canada.

^{ix} Les systèmes de production dont les nombreux éléments de production sont interreliés, par opposition à de nombreuses exploitations conventionnelles dont les éléments sont plutôt gérés distinctivement, sans avoir une idée globale de leurs interrelations.

^x L'analyse du cycle de vie (ACV), selon la définition qu'en donne l'Organisation internationale de normalisation en 2006 dans la norme ISO 14040, est la « compilation et l'évaluation des intrants et des extrants, ainsi que les impacts environnementaux potentiels d'un système de produit tout au long de son cycle de vie ».

^{xi} La méta-analyse, selon la définition d'Arnqvist et Wooster (1995), est une série donnée de méthodes statistiques quantitatives visant à comparer et à synthétiser les résultats de nombreuses études.

^{xii} Cinq séquences de rotation ont été utilisées pour mesurer le N₂O (adaptation de Petersen et al., 2002)

Bio 1 Orge de printemps – orge - pois/ graminées seigle graminées graminées

Bio 2 Graminées - trèfle et orge – graminées pois + avoine blé

Bio 3 Blé d'automne betterave orge luzerne

Bio 4 Pommes de terre avoine / graminées graminées maïs

Bio 5 Prairie permanente

Con 1 Orge de printemps orge - pois/ graminées seigle graminées graminées

Con 2 Graminées -trèfle orge/ graminées pois + avoine blé

Con 3 Blé d'automne betterave orge luzerne

Con 4 Pommes de terre avoine/graminées graminées maïs

Con 5 Prairie permanente

Bio=biologique, Con=conventionnel

^{xiii} Voir les pratiques à la ferme Polyface, <http://www.polyfacefarms.com/products.aspx>

^{xiv} La consommation énergétique des machineries et des équipements est attribuée à quatre facteurs : la production de matières premières, la transformation, les réparations et l'entretien, et la consommation de carburant.

^{xv} Asperge, laitue, melon, céleri, chou-fleur, pomme de terre, brocoli et oignon

^{xvi} Pomme, poire, prune, tangerine, orange, mangue, raisins, banane, figue, pêche, abricot et avocat

^{xvii} Olives, vignes, noisettes et amandes

^{xviii} Nota : il est bien établi que les taux de séquestration de carbone diminueront dans le temps et approcheront l'état d'équilibre.

^{xix} Selon Sonesson et al (2009b), le fumier de volaille pourrait constituer une exception.

^{xx} Des travaux intéressants sont en cours sur de nouveaux systèmes de distribution à l'échelle locale qui seraient plus efficaces en matière de consommation énergétique et de réduction des émissions de GES.

^{xxi} À noter que l'économie réalisée au niveau du transport des intrants est aussi un facteur très important dans les améliorations d'émissions de GES, et qu'elle n'est généralement pas comptabilisée dans les calculs d'efficacité de la production biologique (voir Weber et Matthews, 2008).

