



HAL
open science

Evaluer les impacts environnementaux de l'agriculture biologique : l'analyse du cycle de vie doit faire mieux.

Marie Trydeman Knudsen, Christel Cederberg, Hayo van Der Werf

► To cite this version:

Marie Trydeman Knudsen, Christel Cederberg, Hayo van Der Werf. Evaluer les impacts environnementaux de l'agriculture biologique : l'analyse du cycle de vie doit faire mieux.. Innovations Agronomiques, 2020, 80, pp.113-121. 10.15454/hwyc-yb48 . hal-03235152v1

HAL Id: hal-03235152

<https://hal.inrae.fr/hal-03235152v1>

Submitted on 25 May 2021 (v1), last revised 3 Feb 2022 (v2)

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

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



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

Evaluer les impacts environnementaux de l'agriculture biologique : l'analyse du cycle de vie doit faire mieux

van der Werf H.M.G.¹, Knudsen M.T.², Cederberg C.³

¹ SAS, INRAE, Institut Agro, Rennes, France

² Département d'Agroécologie, Université d'Aarhus, Tjele, Danemark

³ Division de Théorie de Ressources Physiques, Chalmers Université de Technologie, Göteborg, Suède

Correspondance : hayo.van-der-werf@inrae.fr

Résumé

L'analyse du cycle de vie (ACV) est la méthode la plus utilisée pour évaluer les impacts environnementaux des produits agricoles. La méthodologie et les études actuelles d'ACV ont tendance à favoriser les systèmes agricoles intensifs utilisant beaucoup d'intrants et à donner une image inexacte des systèmes agroécologiques moins intensifs tels que l'agriculture biologique. Cela est dû en partie à l'approche de l'ACV, qui se focalise sur les produits, sans prendre en compte les autres services écosystémiques des systèmes agricoles, et en partie parce que l'ACV prend rarement en compte les aspects que l'agroécologie vise à améliorer (santé des sols, état de la biodiversité, impacts de l'utilisation des pesticides). Nous identifions trois domaines clés (indicateurs supplémentaires, perspective plus large, effets indirects) pour lesquels nous proposons des recommandations pour les praticiens de l'ACV et des priorités de recherche.

Mots-clés : Agroécologie, Analyse du cycle de vie, Biodiversité, Dégradations de sols, Impacts environnementaux, Pesticides, Services écosystémiques.

Abstract : Assessing environmental impacts of organic farming: life cycle assessment must do better

Life cycle assessment (LCA) is the method most widely used to assess environmental impacts of agricultural products. Current LCA methodology and studies tend to favour high-input intensive agricultural systems and misrepresent less intensive agroecological systems such as organic agriculture. This is due partly to LCA's approach, which focuses on products, without considering other ecosystem services from agricultural systems, and partly because LCA rarely considers aspects that agroecology aims to improve (soil health, biodiversity status, pesticide use impacts). We identify three key areas (additional indicators, broader perspective, indirect effects) for which we propose recommendations for LCA practitioners and priorities for research.

Keywords: Agroecology, Life cycle assessment, Biodiversity, Land degradation, Environmental impacts, Pesticides, Ecosystem services.

Introduction

L'analyse du cycle de vie (ACV) est la méthode la plus utilisée pour l'évaluation environnementale des systèmes agricoles et leurs produits (van der Werf et al., 2020). L'ACV évalue l'impact environnemental d'un produit en considérant toutes les étapes de son cycle de vie, du début (extraction des matières premières), via sa production et son utilisation jusqu'à sa mise en déchet ou recyclage (JRC IES, 2010). La méthode quantifie les émissions de polluants et les utilisations de ressources pour chaque étape du

cycle de vie du produit pour établir un inventaire de cycle de vie (ICV). Ces données d'ICV sont ensuite agrégées en un nombre limité d'indicateurs d'impact (changement climatique, eutrophisation, utilisation d'énergie, occupation de terres...).

L'ACV propose un cadre méthodologique qui permet une évaluation environnementale multicritère des systèmes de production agricoles et de leurs produits. De par son caractère multicritère l'ACV permet de mettre en évidence d'éventuels transferts de pollution. Il sera possible, par exemple, d'observer que le passage d'un système de production de porc sur caillebotis vers un système de production sur paille permet de réduire l'impact eutrophisation (dû notamment aux émissions de nitrate et ammoniacque), mais au prix d'une augmentation de l'impact changement climatique, dû à une émission accrue du protoxyde d'azote, un gaz à effet de serre puissant (Basset-Mens et van der Werf, 2005). La méthode est transparente, normalisée et basée sur un consensus international.

Il existe deux principaux types d'ACV, en fonction des objectifs de l'étude. L'ACV attributionnelle fournit des informations sur les impacts des processus directement associés au cycle de vie d'un produit, tandis que l'ACV conséquentielle considère les conséquences de changements dans le niveau de production d'un produit, y compris les effets indirects en dehors du cycle de vie du produit (Zamagni et al., 2012). L'ACV conséquentielle s'appuie généralement sur des modèles de simulation pour capturer les relations entre la demande d'intrants, les élasticités des prix, l'offre, etc. (Yang et Heijungs, 2017), mais elle peut aussi utiliser des modèles biophysiques plus simples (Schmidt et al., 2015). Une ACV attributionnelle permet par exemple de comparer les impacts environnementaux de lait à base de maïs ensilage et soja à ceux de lait à base d'herbe, tandis qu'une ACV conséquentielle aura comme ambition d'évaluer les impacts environnementaux du passage d'un système de production de lait à base d'ensilage et soja à un système à base d'herbe. Pour ce faire l'ACV conséquentielle tente de prendre en compte les conséquences environnementales d'effets indirects *via* les marchés, telles que le besoin de plus de surface agricole pour produire une même quantité de lait quand une ferme « passe à l'herbe » (Nguyen et al., 2013).

Dans un article dans la revue *Nature Sustainability* (van der Werf et al., 2020) nous faisons le constat que dans son application l'ACV, qu'elle soit attributionnelle ou conséquentielle, tend à favoriser les systèmes intensifs utilisant beaucoup d'intrants, et qu'elle néglige bien souvent des questions essentielles telles que la biodiversité, la qualité des sols, les impacts des pesticides ou les changements sociaux. Cela pose notamment problème quand on utilise l'ACV pour comparer des systèmes de production de niveaux d'intensification différents, comme lors d'une comparaison de systèmes conventionnels à des systèmes en agriculture biologique, qui ont des rendements moins élevés, mais qui offrent d'autres avantages (Figure 1).

Cela ne veut pas dire que nous sommes d'avis qu'il ne faut pas utiliser l'ACV pour l'évaluation environnementale des systèmes et produits agricoles. Nous sommes d'avis que l'ACV est parmi les meilleures méthodes d'évaluation environnementale, mais qu'il faut encore l'améliorer, notamment pour qu'elle soit apte à guider la nécessaire transition agroécologique de l'agriculture. Dans cet article nous identifierons des lacunes de la méthodologie ACV par rapport à l'évaluation de systèmes agroécologiques, avec des exemples pour l'agriculture biologique. Nous présenterons de façon concise les améliorations méthodologiques et de mise en œuvre de l'ACV telles que proposées dans van der Werf et al. (2020).

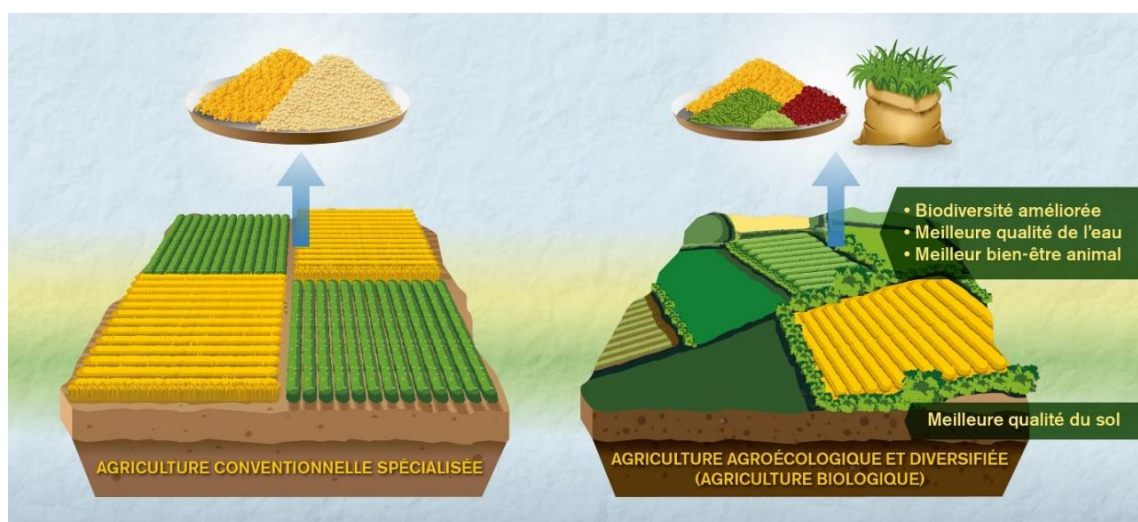


Figure 1 : L'agriculture conventionnelle produit des rendements plus élevés, mais l'agriculture biologique offre d'autres avantages. Illustration: Yen Strandqvist / Chalmers Université de Technologie, Suède.

1. Une vision limitée des fonctions de l'agriculture

L'ACV évalue les impacts environnementaux d'un système agricole en considérant les émissions de polluants, l'utilisation de ressources parmi lesquelles les sols, en prenant en compte les intrants utilisés par le système étudié (par exemple les engrais, les tracteurs, les aliments pour les animaux). Ce système peut être une parcelle, un troupeau, une ferme, ou encore un territoire. Les émissions de polluants et les utilisations de ressources sont quantifiées à travers des indicateurs qui sont exprimés par une unité fonctionnelle, c'est à dire l'unité de référence qui permet de quantifier la performance du système. Pour les études de systèmes agricoles l'unité fonctionnelle est généralement une quantité de produit (voir Figure 2).

Ainsi l'ACV considère le système agricole uniquement sous l'angle de la production de biomasse (par exemple des cultures, des animaux). Cette vision limitée des fonctions de l'agriculture pose problème pour l'évaluation de systèmes agricoles multifonctionnels, tels que l'agriculture biologique et d'autres systèmes alimentaires agroécologiques. Dans la littérature scientifique, il y a eu de nombreuses tentatives pour définir les principes de l'agroécologie. Un groupe d'experts des Nations Unies a récemment suggéré un ensemble de treize principes agroécologiques. Ceux-ci sont organisés autour de trois principes opérationnels qui sous-tendent la durabilité des systèmes alimentaires : (1) améliorer l'efficacité d'utilisation des ressources (recyclage, réduction des intrants); (2) renforcer la résilience (santé du sol, santé et bien-être des animaux, biodiversité, synergies, diversification économique) et (3) assurer l'équité / la responsabilité sociale (co-création des connaissances, valeurs sociales et types d'alimentation, équité, connectivité, gouvernance des terres et des ressources naturelles, participation) (HLPE, 2019). Les méthodes ACV actuelles évaluent bien les deux principes d'efficacité des ressources, mais ne prennent pas suffisamment en compte bon nombre des principes agroécologiques conçus pour renforcer la résilience des systèmes alimentaires. Ceci illustre la perspective limitée que l'ACV fournit sur les systèmes alimentaires.

Le cadre méthodologique des services écosystémiques correspond à une autre vision d'un système agricole, en considérant le paysage de la ferme entière voire d'une région agricole. Les services écosystémiques sont exprimés par unité de surface (Figure 2). Ce cadre considère la fourniture de services d'approvisionnement, de services de régulation et de services culturels (Burkhard et al., 2013).

L'agriculture biologique a moins d'impacts environnementaux par unité de surface agricole occupée que l'agriculture conventionnelle (Meier et al., 2015). Cependant, du point de vue de l'ACV l'agriculture

biologique n'est pas la réponse évidente aux problèmes environnementaux de l'agriculture conventionnelle, parce que les études ACV expriment les impacts par unité de produit par défaut. Par conséquent, pour elle les solutions qui réduisent les impacts par quantité de produit sont à préférer. Bien que l'agriculture biologique a moins d'impact par unité de surface, elle peut avoir autant ou plus d'impact par unité de produit, parce que ses rendements sont plus faibles (Meier et al., 2015). Ainsi, une évaluation par ACV basée uniquement sur les impacts par unité de produit peut entraîner des décisions en faveur de l'agriculture conventionnelle, et ainsi contribuer à un niveau d'impacts environnementaux élevé à l'échelle d'une région agricole (Salou et al., 2017).

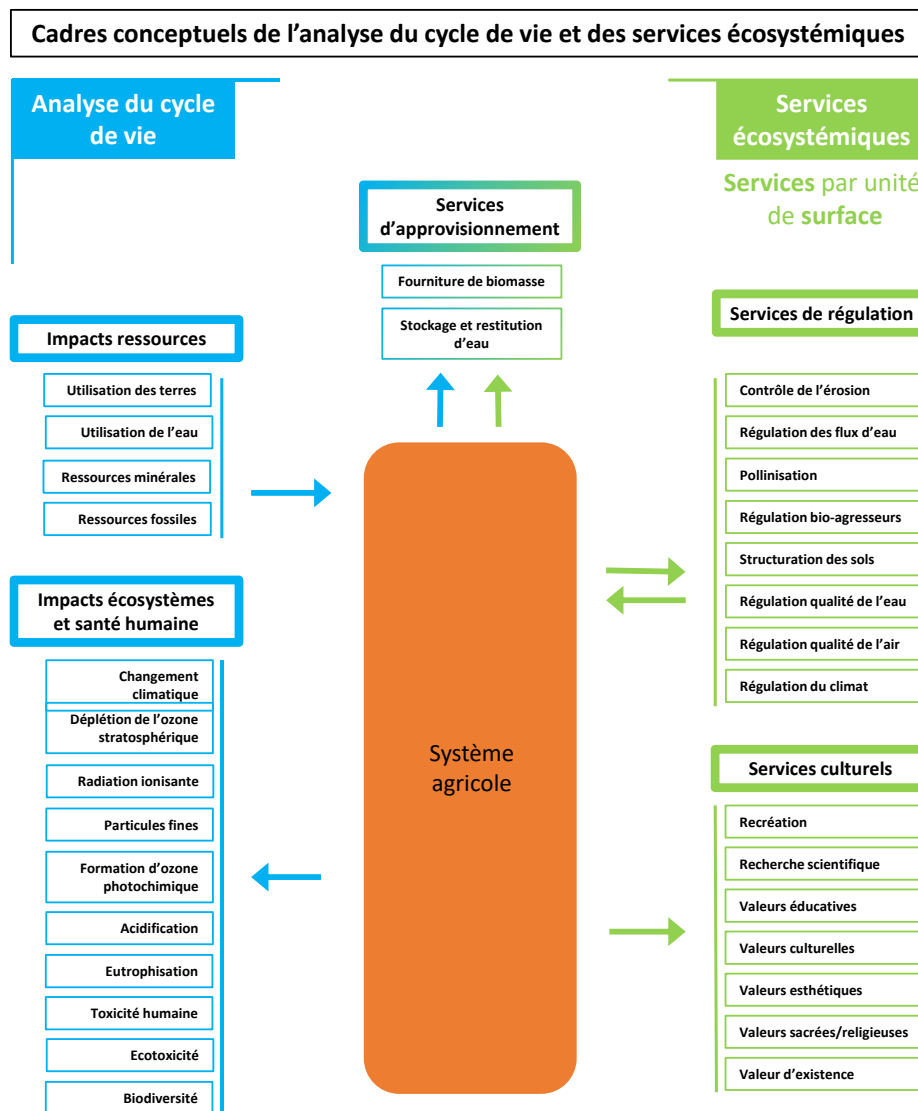


Figure 2 : Cadres conceptuels de l'analyse du cycle de vie (en bleu) et des services écosystémiques (en vert). Le panneau central représente un système agricole, c'est-à-dire une ferme ou une région agricole, y compris les habitats semi-naturels. L'ACV évalue les impacts environnementaux du système en tenant compte de l'utilisation des ressources et des émissions de polluants, à la fois sur site et hors site (associées aux intrants). L'utilisation des ressources, les impacts sur les écosystèmes et sur la santé humaine sont quantifiés à l'aide d'un ensemble d'indicateurs exprimés par unité de produit. Les services écosystémiques évaluent les services d'approvisionnement, de régulation et culturels fournis par le système. D'autres écosystèmes fournissent des services écosystémiques de régulation au système agricole. Les services écosystémiques sont quantifiés à l'aide d'un ensemble d'indicateurs exprimés par unité de surface. L'ACV et les services écosystémiques ont un terrain d'entente, par ex. les émissions et la séquestration des gaz à effet de serre sont prises en compte dans l'impact changement climatique (ACV) et dans le service de régulation du climat (services écosystémiques). Cette comparaison révèle également des « angles morts » : l'ACV ne prend pas en compte les services écosystémiques autres que d'approvisionnement, alors que les services écosystémiques ne tiennent pas compte de l'utilisation des ressources et des effets des intrants.

2. Des questions environnementales négligées

Étonnamment, les études ACV des systèmes agricoles et de leurs produits considèrent rarement des questions importantes telles que l'érosion de la biodiversité, la dégradation des sols, et les effets des pesticides.

2.1 L'érosion de la biodiversité

La biodiversité est d'une importance cruciale pour la santé et la résilience des écosystèmes. Cependant, elle est en déclin dans le monde et l'agriculture intensive s'est avérée être l'une des principales causes des tendances négatives observées, telles que le déclin des insectes et des oiseaux (IPBES, 2019). L'agriculture occupe plus du tiers de la superficie terrestre mondiale. Tous les liens entre les pertes de biodiversité et l'agriculture sont donc extrêmement importants. Les champs conduits en agriculture biologique supportent des niveaux de biodiversité environ 30% plus élevés que les champs conduits en agriculture conventionnelle (Tuck et al., 2014). Cependant, seulement 12% des études ACV qui ont comparé les agricultures conventionnelle et biologique ont pris en compte l'impact sur la biodiversité (Meier et al., 2015). Même les études ACV prochaines auront du mal à prendre en compte l'impact sur la biodiversité de différents systèmes de production, parce que le modèle qui est proposé par la communauté ACV pour l'évaluation de l'impact sur la biodiversité (Chaudhary et Brooks, 2018) est recommandé uniquement pour l'identification des « points chauds » au sein des systèmes, mais pas pour comparer des produits ou des systèmes de production.

2.2 La dégradation des sols

La dégradation des sols est un problème sérieux et omniprésent, comprenant des processus tels que l'érosion, le compactage, la salinisation et les pertes de carbone organique du sol. La gestion non durable des terres agricoles est un facteur dominant de la dégradation des sols (GIEC, 2019). Malgré les efforts pour améliorer l'évaluation des impacts dus à l'utilisation des terres, les propriétés et les fonctions du sol sont peu prises en compte dans les études ACV (Vidal-Legaz et al., 2017). D'après sa définition, l'agriculture biologique doit soutenir et améliorer la santé du sol (c'est-à-dire la capacité du sol à remplir ses fonctions écosystémiques), qui est considéré comme un élément clé du système de production. Dans la plupart des études ACV des systèmes agroalimentaires, l'information sur la pression humaine sur la terre est exprimé à travers l'indicateur simple « surface de terre utilisée par unité fonctionnelle et par an ». Ainsi, les effets sur la qualité du sol de pratiques clé de l'agriculture biologique, telles que la diversification des rotations et l'utilisation des cultures intermédiaires, sont largement ignorés dans les études ACV.

2.3 Les effets des pesticides

Malgré les effets négatifs que les pesticides peuvent avoir sur la santé humaine (Sabarwal et al., 2018) et les écosystèmes (Sánchez-Bayo et Wyckhuys, 2019), les études ACV de produits agroalimentaires les prennent rarement en compte. Par exemple, l'écotoxicité a été considéré dans seulement 14% de 173 études ACV sur les systèmes d'élevage (McClelland et al., 2018), tandis que l'(éco)toxicité a été considérée dans seulement 26% de 34 études comparant l'agriculture biologique et conventionnelle (Meier et al., 2015). L'interdiction par l'agriculture biologique des pesticides de synthèse afin de préserver la santé des sols, des écosystèmes et des êtres humains peut être considérée comme une application du principe de précaution. Les tentatives de la méthodologie ACV pour évaluer les impacts potentiels sur l'environnement et la santé de l'utilisation des pesticides sont louables, mais l'expérience suggère qu'il faudra souvent 20 à 30 ans pour découvrir les dangers toxicologiques de nouveaux pesticides qui semblaient relativement inoffensifs à leur introduction.

3. Le problème de l'inclusion des effets indirects en ACV

En ACV conséquentielle, la modélisation des conséquences de la conversion à des systèmes agricoles moins intensifs (tels que l'agriculture biologique) nécessite des informations complexes sur de nombreux facteurs. Il faudrait considérer les changements des pratiques de production, les niveaux de rendement et les changements de régime alimentaire, les changements des niveaux de prix ainsi que les chaînes causales d'utilisation des terres aux niveaux local et mondial. Ainsi, une quantification et une modélisation significatives des effets indirects nécessitent une perspective globale du système alimentaire plutôt que de considérer uniquement les niveaux de rendement.

Les tentatives de modélisation des effets indirects dans l'ACV conséquentielle se sont jusqu'à présent concentrées uniquement sur les niveaux de rendement et une simplification des chaînes causales en faisant valoir que des rendements inférieurs en agriculture biologique entraîneraient une déforestation dans les tropiques (Smith et al., 2019). Cependant, les chaînes causales associées à ce type de transition vers l'agriculture biologique sont mal comprises et les modèles utilisés simulent au mieux la dynamique d'une manière qui reflète les modèles historiques d'expansion-intensification. Ces modèles supposent que les individus maximisent l'utilité et excluent d'autres facteurs de changement sociétal tels que les considérations éthiques (comme la réduction de la consommation de viande chez les consommateurs biologiques) et les effets des instruments politiques. La simplification des effets indirects du passage aux modes de production biologique est donc problématique.

4. Pistes de progrès

L'ACV évalue les systèmes agroécologiques de manière inadéquate pour trois raisons: i) un manque d'indicateurs opérationnels pour trois problèmes environnementaux clés, ii) une perspective étroite sur les fonctions des systèmes agricoles et iii) une modélisation incohérente des effets indirects. Ainsi, nous proposons des recommandations et des priorités pour trois domaines clés de recherche sur l'évaluation environnementale des systèmes agricoles. Des recommandations destinées aux praticiens de l'ACV évaluant les systèmes agricoles sont résumées dans l'Encadré 1.

Encadré 1 : Recommandations pour l'évaluation des systèmes agricoles par ACV.

- Utilisez des unités fonctionnelles basées sur la quantité de produit et sur la surface occupée.
- Évaluez l'érosion de la biodiversité, la dégradation des terres, et les effets des pesticides, et faites-le en utilisant les meilleures méthodes disponibles
- Complémentez l'ACV avec d'autres cadres conceptuels, tels que celui des services écosystémiques, pour une analyse plus complète des fonctions des systèmes agricoles.
- Prenez en compte de façon détaillée les pratiques agricoles et les caractéristiques locales du sol, du climat et des écosystèmes.
- Lorsque vous étudiez les effets indirects de la transition vers les systèmes agroécologiques, ne considérez pas uniquement le changement indirect d'utilisation des terres.
- Si les effets indirects sont inclus, les résultats doivent être interprétés très prudemment en raison de la forte incertitude.

4.1 Indicateurs supplémentaires

L'érosion de la biodiversité, la dégradation des terres, et les effets négatifs des pesticides sont de graves problèmes associés à la production agricole. À ce jour, les études d'ACV ont rarement pris en compte ces processus néfastes, et l'ACV manque encore d'indicateurs pour les quantifier de façon exhaustive

lors de l'évaluation des impacts environnementaux des systèmes alimentaires. Par conséquent, les décideurs reçoivent actuellement des informations déséquilibrées, car les compromis entre les différents aspects environnementaux ne sont pas suffisamment mis en évidence, ce qui entraîne le risque évident que les évaluations environnementales des systèmes alimentaires ne parviennent pas à détecter les synergies dans les options de gestion des terres.

4.2 Une vision élargie

L'ACV a été initialement développée pour évaluer les impacts environnementaux des produits industriels, et de ce fait elle se concentre sur la réduction des impacts par unité de produit. Lorsqu'elle est appliquée à l'agriculture, cette approche tend à favoriser des systèmes plus intensifs, qui ont des rendements plus élevés mais aussi des impacts plus élevés par unité de surface occupée. Cette approche basée sur les produits, cependant, ne convient pas pour évaluer les impacts sur les services écosystémiques importants qui doivent être gérés à l'échelle du paysage. En outre, une évaluation adéquate des systèmes agroécologiques, qui sont beaucoup plus dépendants des ressources locales et adaptés au contexte local que les systèmes à forte utilisation d'intrants, nécessite une approche fine, qui intègre les caractéristiques locales du sol, du climat et des écosystèmes, ainsi qu'une représentation détaillée des pratiques agricoles. Ces variables doivent être intégrées dans les ACV. Enfin, la méthodologie ACV actuelle n'étant pas adéquate pour évaluer les systèmes agricoles multifonctionnels avec leurs paysages environnants, elle doit être complétée et intégrée à d'autres cadres d'évaluation environnementale, comme celui des services écosystémiques (Alejandre et al., 2019).

4.3 Effets indirects

La modélisation des conséquences de la transition vers des systèmes agricoles moins intensifs nécessite une perspective globale du système alimentaire plutôt que de traiter uniquement les niveaux de rendement et les émissions potentielles de CO₂ dues au changement d'affectation des sols indirect. Une quantification des effets indirects qui fait sens exige que nous améliorions nos connaissances sur la manière dont les facteurs du changement sociétal et les instruments politiques peuvent affecter les conséquences du passage d'une l'alimentation conventionnelle à une alimentation biologique. Davantage de recherches systémiques sont nécessaires sur les facteurs régissant le changement d'affectation des terres, les transitions alimentaires (du conventionnel au biologique, ainsi que le passage à une alimentation plus végétale) et la réduction du gaspillage alimentaire pour limiter l'utilisation des terres et restreindre les pressions sur l'utilisation des ressources et les écosystèmes (Muller et al., 2017). La recherche et la politique doivent se concentrer sur des solutions concrètes, telles que l'augmentation des rendements des systèmes agroécologiques et l'arrêt de la déforestation grâce à une meilleure gouvernance des terres et des forêts.

Conclusion

Les études ACV ont tendance à favoriser les systèmes agricoles intensifs à forte utilisation d'intrants qui fournissent des rendements plus élevés mais moins de services écosystémiques que les systèmes moins intensifs. L'évaluation environnementale des systèmes agricoles doit adopter une perspective plus large, prendre en compte les effets négatifs des pesticides et tenir compte des effets des pratiques agricoles sur la qualité des sols et la biodiversité. En outre, des recherches supplémentaires sont nécessaires pour permettre une modélisation cohérente du changement d'affectation des sols et d'autres effets indirects.

Références bibliographiques

- Alejandre E.M., van Bodegom P.M., Guinée J.B., 2019. Towards an optimal coverage of ecosystem services in LCA. *J. Clean. Prod.* 231, 714-722.
- Basset-Mens C., van der Werf H.M.G., 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. *Agr., Ecosyst. Env.* 105, 127-144.
- Burkhard B., Crossman N., Nedkov S., Petz K., Alkemade R., 2013. Mapping and modelling ecosystem services for science, policy and practice. *Ecosyst. Serv.* 4, 1-3.
- Chaudhary A., Brooks T.M., 2018. Land use intensity-specific global characterization factors to assess product biodiversity footprints. *Environ. Sci. Technol.* 52, 5094–5104.
- GIEC, 2019. Résumé à l'intention des décideurs, Changement climatique et terres émergées: rapport spécial du GIEC sur le changement climatique, la désertification, la dégradation des sols, la gestion durable des terres, la sécurité alimentaire et les flux de gaz à effet de serre dans les écosystèmes terrestres.
- HLPE, 2019. Approches agroécologiques et autres approches novatrices pour une agriculture et des systèmes alimentaires durables propres à améliorer la sécurité alimentaire et la nutrition. Rapport du Groupe d'experts de haut niveau sur la sécurité alimentaire et la nutrition du Comité de la sécurité alimentaire mondiale, Rome.
- IPBES, 2019. Résumé à l'intention des décideurs du rapport de l'évaluation mondiale de la biodiversité et des services écosystémiques de la plateforme intergouvernementale scientifique et politique sur la biodiversité et les services écosystémiques (IPBES). Díaz S., Settele J., Brondízio E.S., Ngo H.T., Guèze M., Agard J., Arneth A., Balvanera P., Brauman K.A., Butchart S. H. M., Chan K. M. A., Garibaldi L. A., Ichii K., Liu J., Subramanian S. M., Midgley G. F., Miloslavich P., Molnár Z., Obura D., Pfaff A., Polasky S., Purvis A., Razaque J., Reyers B., Roy Chowdhury R., Shin Y.J., Visseren-Hamakers I.J., Willis K.J., Zayas C.N. (Eds.). IPBES secrétariat, Bonn, Allemagne. 56 pages. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3553579>
- JRC IES, 2010. International reference life cycle data system (ILCD) handbook: general guide for life cycle assessment—detailed guidance, First edn. Ed Joint Research Center, Ispra, Italie.
- McClelland S.C., Arndt C., Gordon D.R., Thoma G., 2018. Type and number of environmental impact categories used in livestock life cycle assessment: A systematic review. *Livest. Sci.* 209, 39-45.
- Meier M.S., Stoessel F., Jungbluth N., Juraske R., Schader C., Stolze M., 2015 Environmental impacts of organic and conventional agricultural products – Are differences captured by life cycle assessment? *J. Environ. Manag.* 149, 193-207.
- Muller A., Schader C., El-Hage Scialabba N., Brüggemann J., Isensee A., Erb K.H., Smith P., Klocke P., Leiber F., Stolze M., Niggli U., 2017. Strategies for feeding the world more sustainably with organic agriculture. *Nat. Comm.* 38, 1290.
- Nguyen T.T.H., Corson M.S., Doreau M., Eugène M., van der Werf H.M.G., 2013. Consequential LCA of switching from maize silage-based to grass-based dairy systems. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18: 1470–1484.
- Sabharwal A., Kumar K., Singh R.P., 2018. Hazardous effects of chemical pesticides on human health – cancer and other associated disorders (review). *Environ. Toxicol. Phar.* 63, 103-114.
- Salou T., Le Mouel C., van der Werf H.M.G., 2017. Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters! *J. Clean. Prod.*, 140: 445-454.
- Sánchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G., 2019. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.* 232, 8-27.
- Schmidt J.H., Weidem, B.P., Brandão M., 2015. A framework for modelling indirect land use changes in life cycle assessment. *J. Clean. Prod.* 99, 230-238.
- Smith L.G., Kirk G.J., Jones P.J., Williams A.G., 2019. The greenhouse gas impacts of converting food production in England and Wales to organic methods. *Nat. Comm.* 10(1), 1-10.
- Tuck S.L., Winqvist C., Mota F., Ahnström J., Turnbull L.A., Bengtsson J., 2014. Land-use intensity and the effects of organic farming on biodiversity: a hierarchical meta-analysis. *J. Appl. Ecol.* 51, 746-755.

van der Werf H.M.G., Trydeman Knudsen M., Cederberg C., 2020. Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nat. Sustain.* 3, 419-425.

Vidal Legaz B., Maia De Souza D., Teixeira R.F.M., Anton A., Putman B., Sala S., 2017. Soil quality, properties, and functions in life cycle assessment: an evaluation of models. *J. Clean. Prod.* 140, 502–515.

Yang Y., Heijungs R., 2017. On the use of different models for consequential life cycle assessment. *Int. J. Life Cycle Assess.* 23, 751-758.

Zamagni A., Guinée J., Heijungs R., Masoni P., Raggi A., 2012. Lights and shadows in consequential LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 17, 904-918.

Cet article est publié sous la licence Creative Commons (CC BY-NC-ND 3.0).



<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/3.0/fr/>

Pour la citation et la reproduction de cet article, mentionner obligatoirement le titre de l'article, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue « Innovations Agronomiques », la date de sa publication, et son URL ou DOI).