HAL open science

Agriculture et limites environnementales. Comment étudier les impacts environnementaux des systèmes agricoles ?

Hayo van Der Werf

▶ **To cite this version:**

Hayo van Der Werf. Agriculture et limites environnementales. Comment étudier les impacts environnementaux des systèmes agricoles ?. Sciences du Vivant [q-bio]. Université de Rennes 1, 2016. tel-02799475

HAL Id: tel-02799475

https://hal.inrae.fr/tel-02799475

Submitted on 5 Jun 2020

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

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

Distributed under a Creative Commons Attribution - ShareAlike 4.0 International License

Mémoire pour l'obtention de l'Habilitation à Diriger des Recherches

Agriculture et limites environnementales

Comment étudier les impacts environnementaux des systèmes agricoles ?

Hayo M G van der Werf

Soutenue le 29 septembre 2016 à AGROCAMPUS OUEST Rennes,
devant le jury composé de :

Luc Aquilina	Professeur de l'Université Rennes 1	Examinateur
Véronique Bellon-Maurel	Directrice du département Ecotechnologies, IRSTEA	Rapporteuse
Jean-Marc Meynard	Directeur de recherche INRA	Rapporteur
Philippe Pointereau	Directeur Agro-environnement Solagro	Examinateur
Walter Rossing	Professeur Université de Wageningen	Rapporteur
Anne Ventura	Directrice chaire génie civil eco-construction, Université de Nantes	Examinatrice

UMR Sol Agro et hydroSystème, INRA, Agrocampus Ouest, Rennes, France

We had entered an era of limitlessness, or the illusion thereof, and this in itself is a sort of wonder. My grandfather lived a life of limits, both suffered and strictly observed, in a world of limits. I learned much of that world from him and others, and then I changed; I entered the world of labor-saving machines and of limitless cheap fossil fuel. It would take me years of reading, thought, and experience to learn again that in this world limits are not only inescapable but indispensable.

Wendell Berry (2009), Bringing it to the Table: Writings on Farming and Food

Le problème est que toute limite, toute norme est arbitraire ; les frontières sont donc toujours incertaines. Il y a des limites à ne pas franchir, mais encore faudrait-il les connaître.

Serge Latouche (2012), L'âge des limites

Pour citer ce mémoire :
Van der Werf, Hayo M. G., 2016 Agriculture et limites environnementales. Comment étudier les impacts environnementaux des systèmes agricoles ? Habilitation à Diriger des Recherches, Université Rennes 1. INRA, UMR Sol Agro et hydroSystème, Rennes, France, 72 p. Disponible en ligne : https://www6.rennes.inra.fr/umrsas/Media/Fichiers/these/HDR-Hayo-van-der-Werf

Sommaire

Préface 5
Remerciements 6
Glossaire 7

1 Cursus et activités d'animation et d'encadrement 8
1.1 Cursus 8
1.2 Activités d'animation de la recherche 8
1.3 Activités d'encadrement et d'évaluation de la recherche 9

2 Introduction 12
2.1 Les années de formation : 1957-1980 12
2.2 Les années PAGV à Lelystad 14
2.3 Les années CABO à Wageningen 11

3 Quelle méthode ? 18
3.1 Postdoc « Indicateurs » à l'INRA de Colmar 18
3.2 Expérimentation système à l'INRA de Rennes 22
3.3 Comparaison de méthodes : une revue bibliographique 23

4 Analyse de systèmes de production 30
4.1 Au commencement, des aliments pour porcs 30
4.2 Sources d'incertitude 31
4.3 Indicateur Utilisation de la Productivité Primaire Nette 32
4.4 Les aliments pour animaux, la suite 32

5 Analyse au niveau du territoire 33
5.1 Revue bibliographique et méthodologie 33
5.2 Développement d'EDEN, un outil exploitation 34
5.3 Interactions entre exploitations 34
5.4 Intégration au niveau du territoire 35

6 Extension du périmètre du système 36
6.1 Le Brésil : poulet, soja et déforestation 36
6.2 Les bovins : oméga-3, reboisement et ACV conséquentielle 36
6.3 Combiner ACV et modèles économiques 37
6.4 De la ferme à la fourchette 38

7 Développement de l'analyse environnementale 39
7.1 D'abord publier 39
7.2 Contribuer au développement d'outils 39
7.3 AGRIBALYSE : création d'une base de données 40
7.4 Conférence internationale LCA-Food 2012 à Saint-Malo 36

8 Sécurité alimentaire durable : faire ce qu'on peut ou faire ce qu'il faut ? 41
8.1 Limites environnementales 41
8.2 Intensification écologique, la solution miracle ? 42
8.3 Points de vue sur la sécurité alimentaire durable 42
8.4 Les réponses proposées par les agronomes 43
8.5 Efficience versus limites planétaires 45

9 Quelles questions de recherche ? 47
9.1 L'extension du périmètre du système 47
9.2 Caractériser la résilience des systèmes agroalimentaires 48
9.3 Analyse environnementale 49

10 Epilogue : à quoi a-t-elle servi, cette démarche HDR ? 51
10.1 La science 51
10.2 La culture 52

11 Thèses 54
12 Références 55
Annexe 1 : Liste des travaux 61

Préface

Longtemps, je me suis dit qu'écrire un mémoire d'Habilitation à Diriger les Recherches (HDR) ne présentait pas d'intérêt. Depuis dix ans, j'ai subi une pression plus ou moins subtile pour que je m'y attèle. D'abord j'ai fait la sourde oreille, puis j'ai résisté, en essayant d'expliquer que cette étape HDR ne représentait rien pour moi. A l'époque, autant j'avais eu envie de montrer que j'étais capable de faire une thèse, autant cela ne me disait rien d'écrire un mémoire de HDR. Cela me semblait l'anti-défi total, je préférais de loin m'embarquer dans de nouveaux projets, plutôt que de partir *à la recherche du temps perdu*.

Je ne sais pas trop ce qui s'est passé ensuite, mais il se trouve que l'envie d'écrire ce mémoire de HDR s'est manifestée. C'est peut-être mon sens du devoir, inculqué depuis la plus jeune enfance, qui a eu le dessus, mais il n'y a pas que cela. L'âge a probablement aidé, je commence à avoir beaucoup de passé, et à être mûr pour faire le point sur mon parcours intellectuel et scientifique. Le lecteur constatera que j'ai également tenté d'analyser mes motivations et comment elles se sont constituées.

Me voilà donc le 9 juillet 2013 derrière un ordinateur anglais dans une grande « salle stagiaires » assez vide de l'*Environmental Change Institute* de l'Université d'Oxford, Angleterre, où je ponds les premiers paragraphes de ce mémoire. Le lecteur peut se demander pourquoi je me planque à Oxford pour écrire. Eh bien, il ne fallait pas que je sois perturbé par toutes sortes de distractions, et puis je n'ai pas (encore) de cabane au fond de mon jardin. Quitte à m'éloigner de Rennes, j'ai préféré Oxford à la Station Biologique de Paimpont.

De quoi s'agira-t-il dans ce document ? Cela va, entre autres, beaucoup parler d'Analyse du Cycle de Vie (ACV). Un des points forts et fascinants de cette méthode est qu'elle relie ce qui se passe ici et maintenant, d'une part à ce qui s'est passé précédemment et ailleurs (notamment lors de la production des intrants du système étudié) et d'autre part à ce qui pourrait se passer plus tard, ici et ailleurs (estimation des impacts potentiels). Ce texte se focalise principalement sur la période 1995-2015, qui est celle de mes travaux de recherche à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA). Je tiens cependant à remonter à ce qui s'est passé précédemment et ailleurs, comme c'est l'habitude dans une « pensée cycle de vie ».

En effet, au fil de l'écriture je me suis rendu compte qu'il y avait plusieurs histoires à dérouler. Ce que je décris et tente d'analyser n'est pas seulement un itinéraire technique et scientifique, mais aussi un itinéraire géographique (du nord vers le sud) et puis un itinéraire culturel, de l'Europe germanique vers l'Europe latine, d'approches plutôt pragmatiques vers des approches plus conceptuelles et théoriques. J'ai toujours eu un goût pour l'altérité, ce qui explique probablement qu'en tant que citadin né aux Pays-Bas j'ai été attiré par le monde rural et la France et ses habitants. Cette position d'observateur extérieur permet de mieux comprendre ; car, comme l'a si bien dit le DS Peter Boyd : *You can't understand a picture when you are inside the frame.*

Remerciements

Au fil du parcours professionnel et scientifique décrit dans ce mémoire j'ai côtoyé beaucoup de personnes qui m'ont inspiré, aidé, permis d'apprendre des choses, voire avec qui j'ai eu simplement beaucoup de plaisir de travailler. La rédaction de ce mémoire m'a permis de me rappeler combien les rencontres avec ces personnes ont été essentielles dans ce parcours. Je tiens à les remercier en les mentionnant ici.

Pendant mes années de formation aux Pays-Bas j'ai beaucoup appris de Jonkheer Hubert van Nispen van Sevenaer et Joyce van Katwijk ; j'ai été très heureux de connaître Loek uit het Broek. Lors de mon premier emploi au PAGV à Lelystad j'ai eu le privilège de côtoyer et de travailler avec des collègues sympathiques et généreux, je veux remercier notamment Frans Aarts, Jan Boer, Willem Meijer, Jaap Schröder, Hubert Spiertz, Ben ten Hag, Wim van den Berg, David van der Schans, Mathijs Tollenaar, Wim van Geel et Pieter Vereijken. Pendant mes travaux de thèse au CABO à Wageningen j'ai eu beaucoup de plaisir à travailler avec Etienne de Meijer, Jan-Egbert Harsveld van der Veen, Anton Haverkort, Els Mathijssen, David Pate, Paul Struik, Marjoleine ten Cate, Wim van Geel, Marian Wijlhuizen.

Mon postdoc à l'INRA de Colmar a été une expérience pleinement réussie, grâce à Philippe Girardin (qui a bien voulu relire une première version de ce manuscrit, merci !) et Christian Bockstaller. Comme Christian aime le rappeler, nous avions été surnommés « les trois mousquetaires des indicateurs ». La contribution de Christophe Zimmer aux résultats du postdoc a été essentielle.

Je tiens à remercier Jean Boiffin, qui m'a fait confiance en me proposant un poste INRA à Saint Pol sur Ternoise. Grâce à la dissolution parlementaire de 1997 voulue par Jacques Chirac (Merci !) j'ai finalement atterri à l'INRA de Rennes où c'est Philippe Leterme qui m'a accueilli. C'est avec beaucoup de plaisir que j'ai travaillé les premières années avec Jean Petit, Claver Kanyarushoki et Claudine Basset-Mens, qui ont quitté l'UMR SAS depuis, mais avec qui l'amitié demeure. Au fil des années à l'UMR SAS j'ai eu le privilège et le plaisir de travailler au quotidien avec Joël Aubin, Michael Corson, Jean-Marie Paillat, Françoise Vertès, Aurélie Wilfart, Thierry Trochet, Elisabeth Samson, Julie Auberger. Le travail avec les doctorants, postdocs, stagiaires et collègues en CCD a toujours été très stimulant : merci à Ivonne Acosta-Alba, Andy Andrianandraina, Angel Avadi, Yannick Biard, Carla Coelho, Lucie Deltour, Emmanuelle Garrrigues, Wenjie Liao, Santiago Lopez-Ridaura, Thi Tuyet Hanh Nguyen, Elias Papatryphon, Sylvain Payraudeau, Franck Pernollet, Vamilson Prudencio da Silva, Françoise Roger, Olivier Roussel, Joost Sanders, Thibault Salou, Fabienne Seguin, Lea Turunen, Pierre Zambon.

Je souhaite également remercier les collègues et amis en dehors de l'UMR SAS avec qui j'ai eu le plaisir de travailler : Olivier Béhérec, Vincent Colomb, Michel Doreau, François Fuchs, Gérard Gaillard, Tara Garnett, Peter Koch, Chantal Le Mouël, Cathy Lewis, Jérôme Mousset, Christophe Naudin, Bruno Notarnicola, Tommie Ponsioen, Barbara Redlingshöfer, Christel Renaud, John Tzilivakis, Anne Ventura, Douglas Warner.

Naturellement je tiens à remercier les membres du jury pour avoir accepté ce travail supplémentaire pour évaluer mon travail, je les remercie d'avance pour leurs remarques, qui me permettront sans doute d'aller plus loin.

Enfin je veux remercier mes parents, qui m'ont toujours encouragé et donné le bon exemple, ils m'ont laissé toute liberté de choisir ma voie. Un grand merci aussi à ma chère Agnès, qui m'a fait découvrir la France et plein d'autres choses.

Glossaire

ACV :	Analyse du Cycle de Vie
ACVA :	Analyse du Cycle de Vie Attributionnelle
ACVC :	Analyse du Cycle de Vie Conséquentielle
ACTA :	Association de Coordination Technique Agricole
ADEME :	Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie
ANR	Agence Nationale de la Recherche
C :	carbone
CABO :	Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (Centre de Recherches Agro Biologiques)
CEP :	Concentrations Environnementales Prédites
CEPIA :	département Caractérisation et Elaboration de Produits Issus de l'Agriculture de l'INRA
CIRAD :	Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement
DS :	Detective Superintendent
EA :	département Environnement et Agronomie de l'INRA
HDR :	Habilitation à Diriger les Recherches
ICV :	Inventaire de Cycle de Vie
INRA :	Institut National de la Recherche Agronomique
IPCC :	Intergovernmental Panel on Climate Change (GIEC)
IE :	Intensification écologique
ISO :	Organisation Internationale de Standardisation
LCA :	Life Cycle Assessment
MEANS :	MulticritEria AssessmeNt of Sustainability, plateforme pour l'analyse multicritère de la durabilité
MIA :	département Mathématiques et Informatique Appliquée de l'INRA
N :	azote
PAGV :	Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond (Station de Recherche pour les Grandes Cultures et les Cultures Légumières de Plein Champ)
PHASE :	département Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage de l'INRA
SAD :	département Sciences pour l'Action et le Développement de l'INRA
SAE2 :	département Sciences sociales, Agriculture et Alimentation, Espace et Environnement de l'INRA
SPE :	département Santé des Plantes et Environnement de l'INRA
UE :	Union Européenne
UMR SAS :	Unité Mixte de Recherche INRA Agrocampus Ouest Sol, Agro et hydroSystème
ZES	Zone en Excédent Structurel

1 Cursus et activités d'animation et d'encadrement

1.1 Cursus

Haye Maria Gerhardus van der Werf

Né le 19 juin 1957 à Deventer, Pays-Bas.

Cursus académique

1994	**Docteur en Sciences Agronomiques et Environnementales** Université de Wageningen, Pays-Bas
1989	**Master of Science en écophysiologie** Université de Guelph, Canada

Carrière professionnelle

1997-maintenant	**Ingénieur de Recherche,** INRA, Rennes, France. *Analyse environnementale des systèmes de production agricole*.
1995-1997	**Postdoc,** INRA, Colmar, France. *Evaluation des impacts environnementaux des pesticides*.
1990-1994	**Chercheur**, Centre de Recherche Agrobiologique, Wageningen, Pays-Bas. *Ecophysiologie du chanvre*.
1989	**Manager technique**, Pioneer Hi-Bred Pays-Bas/Belgique. *Evaluation agronomique des variétés de maïs.*
1981-1988	**Ingénieur de recherche**, Station de Recherche pour les Grandes Cultures, Pays-Bas. *Agronomie du maïs.*

Activités d'enseignement récentes

ESA Angers Domaine d'Approfondissement Agroécologie et Innovations Agronomiques
Méthodes pour l'analyse environnementale des systèmes de production agricoles. 3 h, 2005-2015
Agrocampus Ouest M2 Ingéniérie zootechnique
Méthodes pour l'analyse environnementale des systèmes de production agricoles. 3 h, 2008-2013
Agrocampus Ouest M1 Ecoconception et Industries Agroalimentaires
Méthodes pour l'analyse environnementale des systèmes de production agroalimentaires. 3 h, 2015

1.2 Activités d'animation de la recherche

Contrats et coordination de projets de recherche

2007-2009 : projet CASDAR *PaRMÉELÍ, Partenariat Régional pour la Maîtrise de l'Energie et de l'Eau en production de Lait et dans l'Industrie laitière*. J'ai assuré la coordination des travaux d'analyse environnementale dans ce projet réunissant onze partenaires de la recherche, du développement, de l'enseignement et professionnels.

2007-2010 : ANR ADD projet *SPADD, Systèmes de production animale et développement durable*. J'ai assuré la coordination du work package *Evaluation environnementale*, un des sept work packages de ce projet interdisciplinaire entre sciences biotechniques et sciences sociales. Le projet rassemblait 12 équipes de recherche de l'INRA, du CIRAD, de l'Université de Rennes 1 et de l'EHESS.

2010-2013 : Programme de recherche ADEME AGRIBALYSE. A la demande de l'ADEME le programme Agri-BALYSE (2010-2013) a été lancé avec l'objectif de créer une base de données ACV publique des produits agricoles. J'ai fortement contribué à la construction de ce programme, en impliquant entre autres les collègues Suisses d'Agroscope (Zürich). J'ai codirigé ce programme, impliquant INRA, Agroscope, CIRAD, ACTA et onze Instituts Techniques agricoles. Ce travail a produit une base de données ACV publique ainsi qu'une méthodologie consensuelle pour la création d'ACV des produits agricoles français.

2012-2016 : ANR ADD projet *AGRALID, Evaluation nutritionnelle, environnementale et socioéconomique de plusieurs menus vers une évolution durable des pratiques agricoles et des recommandations nutritionnelles*. J'ai assuré la coordination du work package *Evaluation environnementale*, un des sept work packages de ce projet interdisciplinaire entre sciences biotechniques, sciences sociales et acteurs du monde économique. Le projet rassemble neuf partenaires issus de la recherche et de l'industrie agroalimentaire.

Responsabilités d'animation et administratives

2010-2011 : Coordination d'une mission confiée par les chefs de départements EA, PHASE, SPE et SAD de l'INRA à six scientifiques : *Evaluer la faisabilité et définir les missions possibles d'une future plateforme d'appui à la mise en œuvre des méthodes ACV à l'INRA*. Un premier rapport a été produit en Janvier 2011, un deuxième en Juin 2011.

2010-2012 : Coordination de l'organisation de la conférence internationale *LCA-FOOD 2012*, qui a eu lieu du 1-4 octobre 2012 à Saint Malo, 430 participants.

2012-présent : membre du Directoire puis Conseil de plateforme de la *plateforme MEANS* (MulticritEria AssessmeNt of Sustainability). MEANS a pour mission de développer et mettre à disposition des outils de calcul et des bases de données aux ingénieurs et scientifiques de l'INRA, pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes de production animale, végétale et de transformation des produits agricoles.

1.3 Activités d'encadrement et d'évaluation de la recherche

Encadrements d'étudiants M1 et M2

1987 **Bert Muller**, M1 Ecole Supérieure d'Agriculture de Dronten, Pays-Bas. *Estimation of yield of silage maize dry matter from volume harvested or by sampling harvested trailer loads.* Encadrant principal.

1991 **Frederik Wanink**, M1 Ecole Supérieure d'Agriculture de Deventer, Pays-Bas. *Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in the Netherlands.* Encadrant principal.

1991 **Anne-Marie Bouma**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *Quality of hemp (*Cannabis sativa L.*) stems as a raw material for paper*. Encadrant principal.

1992 **Kor Brouwer**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *The effect of temperature on leaf appearance and canopy establishment in fibre hemp (*Cannabis sativa L.*)* Encadrant principal.

1992 **Bart van Gils**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *Nitrogen fertilization and row width affect self-thinning and yield of fibre hemp (*Cannabis sativa L.) Encadrant principal.

1992 **Erik Haasken**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa L.*).* Encadrant principal.

1993 **Harald van der Hoek**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa L.*).* Encadrant principal.

1993 **Maarten van Mensvoort**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa L.*).* Encadrant principal.

1993 **Jeroen de Schutter**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *Plant density and self-thinning affect yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa L.*).* Encadrant principal.

1998 **Olivier Roussel**, M2, Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes. *Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effect of pesticides applied to field crops.* Encadrant principal.

2000 **Joost Sanders**, M2, Université de Wageningen, Pays-Bas. *L'évaluation des systèmes de production animale :L'analyse de cycle de vie peut-elle servir à construire des indicateurs environnementaux pour l'alimentation porcine ?.* Encadrant principal.

2000 **Françoise Dardoize**, DESS, Université de Rennes 1. *Les objectifs sociaux dans les projets d'agriculture durable : quelle méthode pour les intégrer à l'évaluation ? Un exemple : la filière porcine en Bretagne, quels objectifs environnementaux ?* Co-encadrant.

2001 **Claver Kanyarushoki**, DESS, Université de Rennes 1. *Evaluation de l'impact environnemental des bâtiments porcins. Application de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV).* Co-encadrant.

2002 **Pierre Zambon**, M2, Ecole Supérieure d'Agriculture de Purpan. *Evaluation environnementale des systèmes de production aquacole : Application de l'Analyse du Cycle de Vie aux différentes stratégies de fabrication de l'aliment pour poisson.* Encadrant principal.

Co-encadrements de thèses

2002-2005 : Claudine Basset-Mens. Thèse de doctorat de l'Ecole Nationale Supérieure d'Agronomie de Rennes. *Propositions pour une adaptation de l'Analyse de Cycle de Vie aux systèmes de production agricole. Mise en œuvre pour l'évaluation environnementale de la production porcine.* Co-encadrant.

2007-2010 : Ivonne Acosta-Alba. Thèse de doctorat d'Agrocampus Ouest. *Quelles valeurs de référence pour l'analyse de la durabilité environnementale des systèmes de production animale. Méthode de détermination et application aux exploitations laitières de Bretagne.* Co-encadrant.

2007-2011 : Vamilson Prudencio da Silva. Thèse de doctorat de l'Université Fédérale de Santa Catarina, Brésil et d'Agrocampus Ouest. *Effect of intensity and scale of production on environmental impacts of poultry meat production chains. Life cycle assessment of French and Brazilian poultry production chains.* Co-encadrant.

2009-2012 : Thi Tuyet Hanh Nguyen. Thèse de doctorat de l'Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand. *Life cycle assessment of cattle production: exploring practices and system changes to reduce environmental impacts.* Co-encadrant.

2011-2014 : Andrianandraina. Thèse de doctorat de l'Ecole Centrale de Nantes. *Approche d'éco-conception basée sur la combinaison de l'analyse de cycle de vie et de l'analyse de sensibilité - Cas d'application sur le cycle de vie du matériau d'isolation thermique biosourcé, le béton de chanvre.* Co-encadrant.

2013-2016 : Thibault Salou. Thèse de doctorat d'Agrocampus Ouest. *Combiner Analyse du Cycle de Vie et modèles économiques pour l'évaluation ex-ante de systèmes de production laitiers* Co-encadrant.

Encadrements de postdocs

2002-2004 : Elias Papatryphon. *Environmental impact assessment of salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA).*

2003-2004: Sylvain Payraudeau. *Analysis of the uncertainty associated with the estimation of nitrogenous emissions from a group of farms.*

2005-2007: Santiago Lopez-Ridaura. *Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment.*

2013-2015: Wenjie Liao. *Improved environmental life cycle assessment of crop production at the catchment scale via a process-based nitrogen simulation model*

Rapporteur et examinateur de thèse

1997 *An integrated assessment of hemp (*Cannabis sativa L.*) and flax (*Linum usitatissimum L.*) as sources of fibre for newsprint production.* PhD thesis by Shaun Lisson, University of Tasmania, Australia. Rapporteur.

2005 *Multi-scale sustainability evaluation. A framework for the derivation and quantification of indicators for natural resource management systems.* PhD thesis by Santiago Lopez-Ridaura, Wageningen University, the Netherlands. Examinateur.

2012 *Qualité nutritionnelle et impact carbone des choix alimentaires individuels : le cas Français.* Thèse de doctorat par Florent Vieux, Aix-Marseille Université, France. Examinateur.

2014 *An Integrated Sustainability Assessment of Cotton Cropping Systems in Punjab, Pakistan: Techno-Economic Performances and Environmental Impacts.* PhD thesis by Asmat Ullah, Asian Institute of Technology, School of Environment, Resources and Development, Thailand. Rapporteur.

Activités d'évaluation et de diffusion d'information scientifique

1994-1999 **Journal of the International Hemp Association**. *Editor-in-Chief.*

2000-2016 **Relecteur d'articles:** Agriculture, Ecosystems and Environment, Environmental Impact Assessment, International Journal of Life Cycle Assessment, Ambio, Agricultural Systems, Ecological Economics, J Environmental Management, Livestock Science, J Cleaner production, Science,

2002-2008 **Journal of Industrial Hemp**. *Editor.*

2010-2012 **Coordination** de l'organisation de la **conférence internationale LCA-FOOD 2012**, du 1-4 octobre 2012 à Saint Malo, 430 participants.

2014 **Journal of Cleaner Production**. *Guest Editor pour le Special Volume Towards eco-efficient agriculture and food systems: Selected papers from the Life Cycle Assessment Food Conference, 2012, Saint Malo, France.*

2 Introduction

J'aime le mot du philosophe Alain : *On prouve tout ce qu'on veut, et la vraie difficulté est de savoir ce qu'on veut prouver* (Chartier, 1920). Ce mémoire de HDR présentera d'abord mes motivations, ce qui m'a inspiré, ce que j'ai voulu prouver au fil de mes travaux d'agronome. Il me permettra de dessiner l'évolution des thématiques et questions que j'ai abordées et ainsi d'identifier les constantes dans mes préoccupations. Ensuite je présenterai les résultats que j'ai pu obtenir et je finirai par une réflexion sur l'orientation de mes futurs travaux : ce que j'ai envie de faire maintenant.

Ce mémoire traite principalement de la période 1995-2015, qui est celle de mes travaux de recherche en France à l'Institut National de la Recherche Agronomique (INRA), qui ont débuté par un postdoc en 1995. Dans ce premier chapitre je tiens cependant à présenter la période 1957-1994, qui débute par ma naissance et se poursuit par celle de ma formation et de mes travaux de recherche aux Pays-Bas. Ceci dans une tentative de décrire la totalité de mon cycle de vie, depuis le berceau.

2.1 Les années de formation : 1957-1980

Je suis né en 1957 à Deventer[1], une ancienne ville hanséatique dans le centre-est des Pays-Bas. Mon père, Piet van der Werf, était comptable, ma mère, Betty Koedijk, exploitait une boulangerie-pâtisserie. Je suis né et j'ai grandi en ville.

Le début des années 70 a vu un fort développement des mouvements écologistes et environnementalistes dans le monde. A l'époque j'ai découvert ces questions avec beaucoup d'intérêt. Je lisais *Walden* (Thoreau, 1854), le rapport du club de Rome : *The limits to growth* (Halte à la croissance *;* Figure 1) Meadows et al., 1972), *Small is beautiful* (Schumacher, 1973), *Natuur uitschakelen, natuur inschakelen (*Eliminer la nature, engager la nature ; Le Roy, 1973).

Figure 1. Couverture de la version Néerlandaise de *The Limits to Growth*.

Figure 2. *What's ecology ?* Dessin par Ron Cobb, daté de 1967.

Pour les plus jeunes lecteurs je rappelle (dans le désordre) quelques mots clés du mouvement écologiste de cette époque : anti-nucléaire, anti-capitaliste, anti-produits toxiques, anti-autorité, anti-centralisation, anti société de consommation, autosuffisance, limites à la croissance, agriculture bio, retour à la terre, effondrement écologique global (Figure 2). Mon engagement « écolo » personnel à cette époque consistait principalement en la création, avec quelques copains de lycée, d'un *natuurtuin (jardin naturel)* où nous mettions en pratique les préceptes de Louis G. Le Roy (1973). Cet artiste et écrivain néerlandais proposait une forme de jardinage anarchiste où l'intervention humaine se limitait à la création de conditions initiales (empilements de briques recyclées, semis de plantes sauvages), pour ensuite laisser la nature à son libre cours. Cette approche située à l'opposé de la gestion de l'espace planifiée et efficace typiquement

[1] De 1811 à 1814 les Pays-Bas faisaient partie du Premier Empire français, Deventer se situait alors dans le département 120, Bouches de l'Yssel

néerlandaise, me plaisait beaucoup et choquait évidemment beaucoup de monde qui jugeait que la nature est là pour être maîtrisée par l'homme.

C'est à cette époque qu'au hasard de vacances avec mes parents, j'ai fait la connaissance de ma future épouse, Agnès Barcelo, dans le camping municipal de Millau. Ainsi j'ai non seulement découvert l'Amour, mais également la France. Pays où les lycéens se mettent en grève, et des néoruraux peuplent certains coins de campagne. En tant que « citadin de naissance », j'ai découvert le monde rural français et cela m'a fasciné. Cette découverte a enrichi mes lectures : *Pour s'installer et vivre à la campagne*, de L. Juvenson (1944), *Les paysans dans la lutte des classes* de Bernard Lambert (1970), *L'agriculture biologique. Pourquoi et comment la pratiquer* de Claude Aubert (1977), *Nouveaux voyages dans les campagnes françaises* de René Dumont et François de Ravignan (1977), *Energie et agriculture, le choix écologique* de Jean-Roger Mercier (1978), *Le retour à la nature. « Au fond de la foret… l'Etat »* de Danièle Léger et Bertrand Hervieu (1979).

Après le lycée je n'ai pas tout de suite voulu commencer des études supérieures et j'ai passé une année à faire différentes choses. Pendant plusieurs mois j'ai travaillé en tant que bénévole sur la ferme biologique du Jonkheer Hubert van Nispen van Sevenaer (Figure 3), figure atypique de la scène de l'agriculture bio des Pays-Bas. Jonkheer van Nispen était adepte d'une agriculture bio à intervention minimale (aucun traitement phytosanitaire, désherbage sélectif). L'expérience des travaux en production légumière bio a été formatrice, le fait de côtoyer Jonkheer van Nispen, Joyce van Katwijk et la flore adventice très diversifiée de cette exploitation m'ont permis de découvrir beaucoup de choses sur l'agriculture, la nature et l'état d'esprit d'un noble-agronome têtu et peu pragmatique. Cette expérience m'a également permis de me décider en ce qui concerne le sujet de mes études supérieures : ça serait l'agronomie plutôt que la médecine.

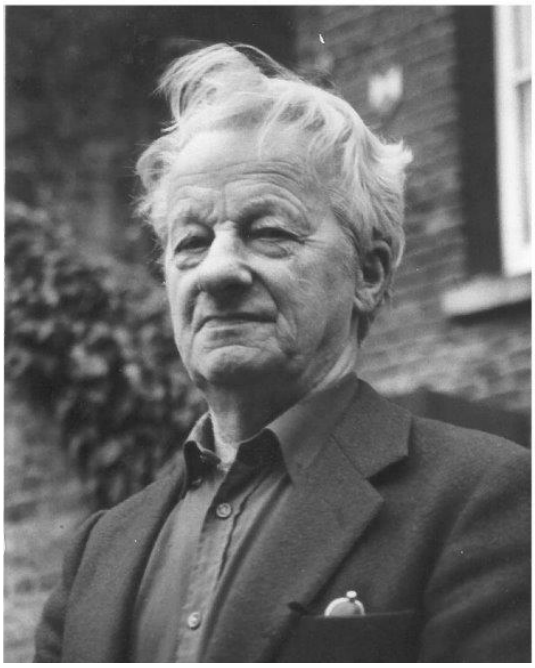

Figure 3. Jonkheer Hubert René Reinoud Louis van Nispen van Sevenaer

Cette période a été essentielle dans mon cheminement. J'ai découvert les questions écologiques sur un plan théorique à travers mes lectures et sur un plan pratique à travers le jardin naturel et la ferme bio de Jonkheer van Nispen. Ainsi cette période a été à l'origine de ma sympathie pour le mouvement écologiste et de mon amour de la terre et de la nature. L'envie de faire des études d'ingénieur agronome a découlé naturellement de ce double penchant. La découverte de la France a évidemment été un autre élément clé de l'itinéraire décrit dans ce mémoire.

J'ai fait mes études d'agronomie à la *Rijks Hogere Landbouwschool* (Ecole Supérieure Impériale d'Agriculture) à Deventer (1976-1980). Le diplôme d'ingénieur agronome de cette école correspond à un niveau Bachelor of Science. En 1989 j'ai obtenu un Master of Science en écophysiologie de *l'Université de Guelph* (Canada) et en 1994 un doctorat en sciences agronomiques et environnementales de *l'Université de Wageningen* (Pays-Bas).

Après avoir obtenu mon diplôme de la *Rijks Hogere Landbouwschool* en juin 1980 j'ai eu du mal à trouver du travail. C'était une époque de crise, le chômage augmentait rapidement. Je voulais trouver un poste dans les services de vulgarisation agricole, qui sont à peu près équivalents aux chambres d'agriculture en France. J'avais passé quelques entretiens pour ce type de postes, sans succès toutefois, les fils et filles d'agriculteurs étant mieux placés. C'est en élargissant mes recherches d'emploi que j'ai postulé à un poste d'ingénieur de recherche, il fallait bien que je trouve quelque chose. Tout ça pour dire que c'est plutôt par hasard que je suis « tombé » dans le monde de la recherche.

2.2 Les années PAGV à Lelystad

Expérimentation factorielle

En janvier 1981 j'ai commencé mon premier emploi comme ingénieur de recherches à la *Proefstation voor de Akkerbouw en de Groenteteelt in de Vollegrond* (PAGV, Station de Recherche pour les Grandes Cultures et les Cultures Légumières de Plein Champ) à Lelystad, aux Pays-Bas. J'y ai conduit des travaux d'expérimentation agronomique sur le maïs ensilage. Les sujets de recherche concernaient notamment les pratiques culturales telles que les doses d'engrais organique, la date de semis, l'utilisation du paillage plastique transparent (van der Werf, 1993), le travail du sol superficiel entre les rangs (van der Werf et al., 1991a ; 1991b ; van der Werf et Tollenaar, 1993) et la date de récolte (Figure 4). Je me suis également penché sur les problèmes de qualité des semences et de levée (van der Werf et al., 1989), les effets de la compaction du sol (Boone et al., 1986, 1987 ; Alblas et al., 1994), et l'estimation du rendement du maïs ensilage à partir du volume récolté (van der Werf et al., 1994a).

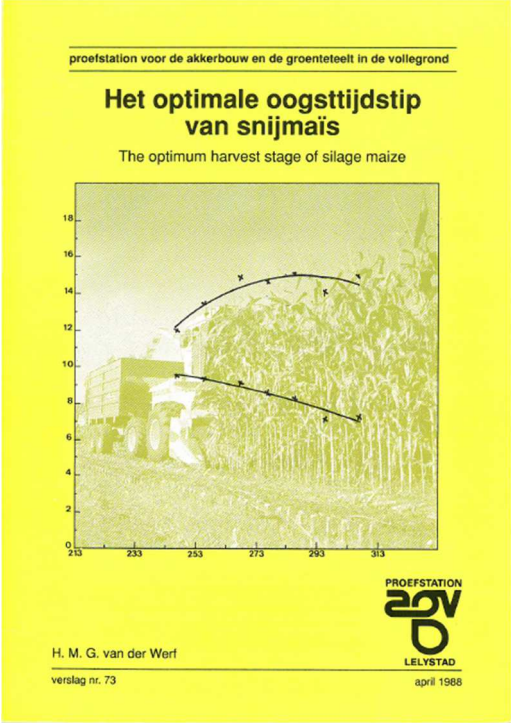

Figure 4. Rapport *La date optimale du maïs ensilage*. Proefstation AGV.

Ce travail m'a permis d'acquérir une solide expérience en tant qu'agronome, sur la conduite pratique et l'analyse statistique d'essais factoriels au champ. Bien qu'il s'agissait de recherche appliquée, telle que pratiquée en France par les instituts techniques, le niveau d'exigence élevé des « bonnes pratiques d'expérimentation et d'analyse » pratiquée au PAGV m'a beaucoup servi pour la suite de mes travaux.

Le premier essai qui m'a été confié quand je débutais était un essai sur l'effet d'apports répétés de lisier de bovin sur le rendement et la qualité du maïs ensilage, ainsi que sur les pertes de N (azote) vers l'environnement. La recherche agronomique néerlandaise ne faisant pas les choses à moitié, les niveaux annuels d'apport de lisier étaient de 0, 50, 100, 150, 200, 250 et 300 t/ha. Ce dernier niveau correspond à un apport d'à peu près 1550 kg de N/ha, dont environ un quart était perdu par lessivage. La conclusion de ces travaux a été que les rendements les plus élevées étaient obtenus à des apports de 200 à 300 t/ha de lisier, avec un petit effet négatif sur la valeur nutritionnelle (Schröder et Dilz, 1987). La principale question posée par cet essai (l'effet de forts apports de lisier sur le rendement et la qualité du maïs) reflète l'esprit de l'agronomie d'une certaine époque.

Figure 5. Pieter Vereijken, années 2000.

Expérimentation système

Au cours des années 80 le PAGV a été un lieu d'innovation et de débat autour des méthodes d'expérimentation agronomique. Un essai longue durée, initié en 1979, comparant trois systèmes de production : conventionnel, intégré et biologique était conduit sous la responsabilité de Pieter Vereijken (Figure 5), jeune chercheur au PAGV (Vereijken, 1986, 1989). Il mettait en œuvre une démarche d'expérimentation système, où une exploitation était divisée en trois micro

exploitations, chacune avec sa logique, afin de comparer et de développer de nouveaux systèmes agricoles. Cette démarche était vue par de nombreux collègues comme une démarche résolument non-scientifique. La démarche avait comme objectif de comparer des ensembles de pratiques cohérentes ayant chacun sa logique afin d'étudier des systèmes qui diffèrent pour un grand nombre de variables et sont ainsi trop complexes pour être abordés à travers des essais factoriels. Par conséquent, il devient difficile d'analyser la contribution de telle ou telle pratique aux résultats, puisqu'on ne peut pas appliquer une analyse de variance. Il était reproché à Vereijken qu'il « allait nulle part », puisqu'il lui serait impossible d'analyser ses résultats de façon rigoureuse, il ne pourrait rien démontrer de façon solide.

Les débats houleux autour de l'expérimentation système auxquels j'assistais en tant que jeune agronome m'avaient beaucoup impressionné et intéressé. P. Vereijken défendait de façon quasi héroïque (il était soutenu par très peu de collègues) la nécessité de développer l'expérimentation système pour mettre au point des systèmes de production ayant moins d'impacts environnementaux. Cela m'avait impressionné et je me rendais compte que j'étais témoin d'un débat important, autour de la question *Comment étudier les impacts environnementaux des systèmes agricoles ?*, question qu'une approche analytique par essai factoriel ne peut aborder que très partiellement.

2.3 Les années CABO à Wageningen

Après avoir passé une année intéressante mais peu concluante en tant responsable d'essais de comparaison de variétés de maïs dans le privé (chez *Pioneer Hi-Bred BeNeLux*), j'ai travaillé de 1990 à 1995 au *Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek* (CABO, Centre de Recherches Agro Biologiques) à Wageningen. J'ai été embauché en tant qu'écophysiologiste dans un important programme de recherche-développement visant à développer une filière de chanvre papetier aux Pays-Bas. Une des principales motivations pour ce programme était le souhait d'introduire une nouvelle culture peu demandeuse en pesticides dans une région du nord des Pays-Bas, caractérisée par des rotations très courtes (pommes de terre une année sur deux), très consommatrices de pesticides.

Ce poste m'avait séduit pour quatre raisons : i) il me permettait de revenir dans la recherche publique, ii) le CABO était à l'époque le centre d'excellence en recherche agronomique aux Pays-Bas, iii) je pouvais valoriser les travaux à travers une thèse, iv) le chanvre (*Cannabis sativa* L.) me semblait une culture intéressante, ayant fait l'objet de très peu de travaux de recherche. Les quatre années passées au CABO m'ont permis de passer d'une démarche de recherche appliquée, focalisée sur la quantification des effets des pratiques sur les rendements, à une démarche de recherche scientifique visant à comprendre les mécanismes écophysiologiques sous-jacents. J'ai beaucoup apprécié l'ambiance très stimulante intellectuellement du CABO et de « Wageningen » plus largement. La découverte de l'écophysiologie du chanvre (van der Werf et al., 1994b, 1994c, 1995a, 1995b, 1995c, 1995d ; Meijer et al., 1995 ; van der Werf et van der Berg, 1995 ; van der Werf et al., 1996) a été une aventure passionnante, complémentée par une brève exploration du potentiel du *Miscanthus sinensis*, autre plante à fibres (van der Werf et al., 1993).

Pieter Vereijken

Pendant mon séjour au CABO j'ai pu continuer à suivre le cheminement de P. Vereijken, qui était passé du PAGV au CABO quelques années auparavant. Dans le cadre d'une Action Concertée de l'Union Européenne (UE), il avait développé une méthode de conception (*prototyping*) de nouveaux systèmes de production intégrés et biologiques en grandes cultures (Vereijken, 1997).

Le prototyping a comme objectif le développement de systèmes de production durables, il implique l'ébauche et la mise à l'épreuve de systèmes de production en collaboration avec des agriculteurs ou des fermes expérimentales selon une approche méthodique. La démarche consiste en quatre phases : i) le diagnostic, ii) la conception, iii) la mise à l'épreuve et l'amélioration, iv) la diffusion.

Cette méthode part d'un jeu d'objectifs environnementaux, économiques et sociaux. La phase diagnostic devrait aboutir à une alliance stratégique des acteurs territoriaux avec une motivation commune d'ébaucher de nouveaux systèmes de production. Dans la phase de diagnostic les problèmes du système actuel sont identifiés, les objectifs du système de production à construire et leur pondération par les différents acteurs territoriaux sont établis. La méthode utilise des indicateurs nommés *paramètres multi-objectifs* pour quantifier ces objectifs. Ensuite des méthodes agricoles multi-objectifs (c'est à dire la succession culturale, la gestion des nutriments, la gestion des infrastructures écologiques, l'optimisation de la structure de l'exploitation) sont identifiées qui permettent de concevoir un prototype théorique d'un système de production permettant d'atteindre les objectifs fixés. Ce prototype est ensuite testé dans des stations de recherche et/ou des fermes pilotes et amélioré de façon itérative jusqu'à ce que les objectifs soient atteints. A la fin de cette phase les prototypes devraient avoir une performance acceptable à l'égard de tous les objectifs. Au cours de la phase de diffusion, les prototypes devraient être adopté par un nombre croissant d'agriculteurs ; au cours de cette phase le pilotage se fera initialement par les chercheurs, et sera progressivement repris par les services de développement.

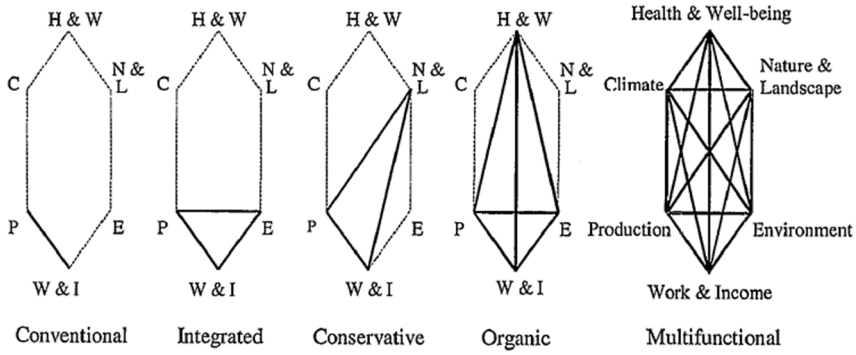

Figure 6. Transitions de visions et de fonctions des systèmes agricoles. Vereijken (2002).

A l'époque cette approche était innovante : le chercheur sort de sa tour d'ivoire pour devenir acteur. En 1997, lors d'un voyage d'étude aux Pays-Bas pour explorer le potentiel d'une certification environnementale comme moteur pour l'agriculture durable, j'avais rencontré Pieter Vereijken pour parler de son approche de prototyping. Il m'avait dit qu'il voulait utiliser cette méthode pour améliorer l'agriculture biologique sur le plan de l'impact environnemental et en ce qui concerne sa biodiversité et sa contribution à la qualité du paysage (Figure 6).

En 1994 la soutenance de ma thèse « Crop physiology of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.) » a bouclé cette période Wageningoise. Un des résultats clés de cette thèse concerne le phénomène d'*auto-éclaircissement* (*self-thinning* en anglais). Le chanvre est habituellement cultivé à des densités (nombre de plantes présentes par unité de surface) élevées afin d'améliorer la qualité de la tige et

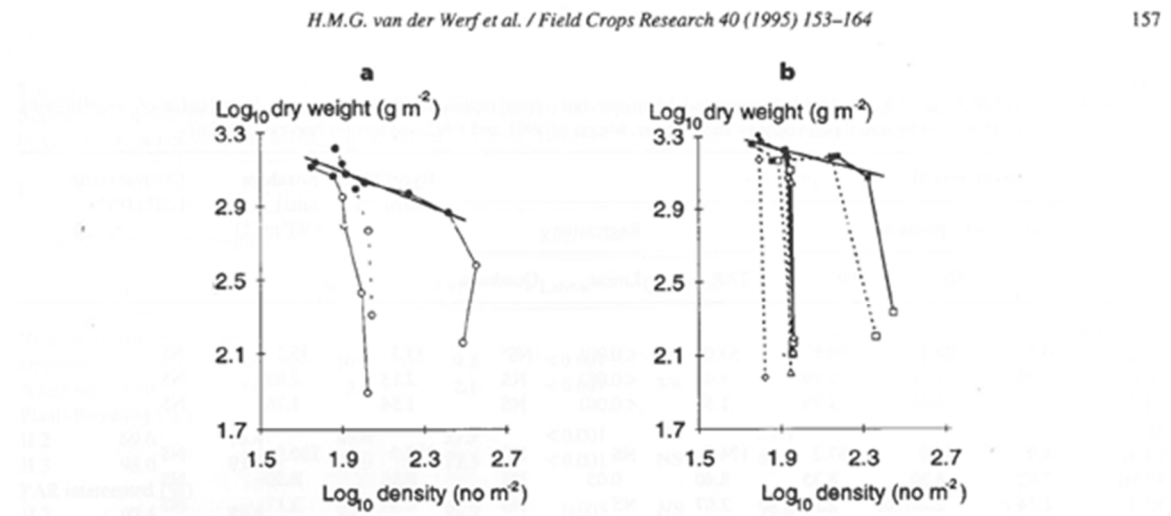

Figure 7. Auto-éclaircissement (*self-thinning*) dans des couverts de chanvre, illustrant la relation entre la biomasse des plantes constituant le couvert et la densité maximale du couvert. Figure issue de van der Werf et al. (1995c).

notamment sa fraction de fibre longues. Une densité élevée favorise également l'allocation de la matière sèche végétale vers la tige. Cependant, dans des couverts denses la compétition pour la lumière entre les plantes exacerbe la variabilité de la hauteur des plantes et entraine la mort des plus petites plantes, ce phénomène bien connu en écologie est désigné par le terme d'*auto-éclaircissement* (Figure 7). La loi de l'auto-éclaircissement établit une relation entre la biomasse des plantes constituant le couvert et la densité maximale du couvert. Cette loi s'applique pour une très large gamme de couverts végétaux, allant de semis de radis, jusqu'à des forêts contenant des arbres centenaires. Dans la thèse j'ai établi que pour le chanvre la densité optimale du point de vue agronomique correspond à la densité maximale possible qui permet d'éviter l'auto-éclaircissement. Etant donné qu'il existe une relation entre la biomasse du couvert (i.e. le rendement de la culture) et la densité maximale possible, cela implique que la densité optimale d'un couvert de chanvre est une fonction du rendement espéré.

3 Quelle méthode ?

Après avoir étudié le fonctionnement des couverts végétaux au niveau de la parcelle comme agronome à Lelystad et comme écophysiologiste à Wageningen, j'avais envie de passer à des recherches à un niveau d'intégration plus large, pour me focaliser sur les impacts environnementaux des systèmes agricoles. Par ailleurs j'avais envie de tenter ma chance en France, parce que ma femme avait envie de revoir son pays et moi j'avais envie de quitter les Pays-Bas, pour un pays moins densément peuplé et moins obsédé par l'efficience et l'organisation. Ainsi je cherchais un postdoc sur la thématique agriculture et environnement en France. Ce chapitre traite de la période 1995-2000 qui a été essentiellement dédiée à la découverte des méthodes d'analyse environnementale pour les systèmes agricoles.

3.1 Postdoc « Indicateurs » à l'INRA de Colmar

Philippe Girardin

Philippe Girardin de l'INRA de Colmar s'est avéré un interlocuteur intéressé et motivé pour le montage d'un postdoc sur la thématique agriculture et environnement. J'avais déjà été en contact avec lui à la fin des années 80, pour une éventuelle thèse sur l'écophysiologie du maïs. Ce projet n'avait pas abouti faute de financement.

J'avais repris contact avec lui, parce que je savais qu'il participait dans l'action concertée européenne sur l'agriculture intégrée coordonnée par P. Vereijken. Girardin occupait la même « niche écologique » au sein de l'INRA que Vereijken au sein de la recherche agronomique néerlandaise : celui de l'agronome écolo, ayant un côté visionnaire, prophète-dans-le-désert, et situé de ce fait à la marge du discours dominant de son institution. Dans son article *Agriculture intégrée : au-delà des mythes… un défi* Girardin (1993) cite les travaux de Vereijken, mais également un article de Miguel Altieri *Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture* (Altieri, 1989). Ce même Altieri a été invité en 2012 par les plus hautes instances de l'INRA dans le cadre du Chantier Agroécologie pour donner une conférence sur l'agroécologie. Il a donc fallu vingt ans pour que ce concept repéré par un chercheur à la marge - à l'avant-garde - de l'institution fasse son chemin pour intégrer le discours dominant de l'INRA.

Dans ce même article Girardin écrit : *Le défi, pour la recherche, va être de mettre au point des indicateurs permettant d'évaluer les performances économiques de l'agriculture intégrée en incluant les effets à court et long terme ainsi que les coûts sociaux et écologiques aujourd'hui non pris en compte.* Vaste programme !

Indicateurs agro-écologiques

Début 1994, quand j'ai pris contact avec Girardin pour lui proposer un projet de postdoc, il avait commencé, avec un jeune docteur du nom de Christian Bockstaller, à développer une méthode basée sur des indicateurs agro-écologiques pour évaluer les impacts environnementaux des systèmes de culture. Cette méthode s'inspirait de la matrice d'interaction proposée par Leopold et al. (1971) et visait à évaluer l'effet des pratiques de l'agriculteur sur des composantes de l'agroécosystème. Des modules d'évaluation caractérisant l'impact d'une pratique agricole sur une composante de l'environnement peuvent être agrégés afin de produire deux types d'indicateurs. Les *indicateurs agro-écologiques* traduisent les impacts d'une pratique sur l'ensemble des composantes concernées de l'environnement, tandis que les *indicateurs d'impact environnemental* traduisent les impacts de l'ensemble des pratiques concernées sur une composante de l'environnement (Figure 8, Girardin et al., 2000).

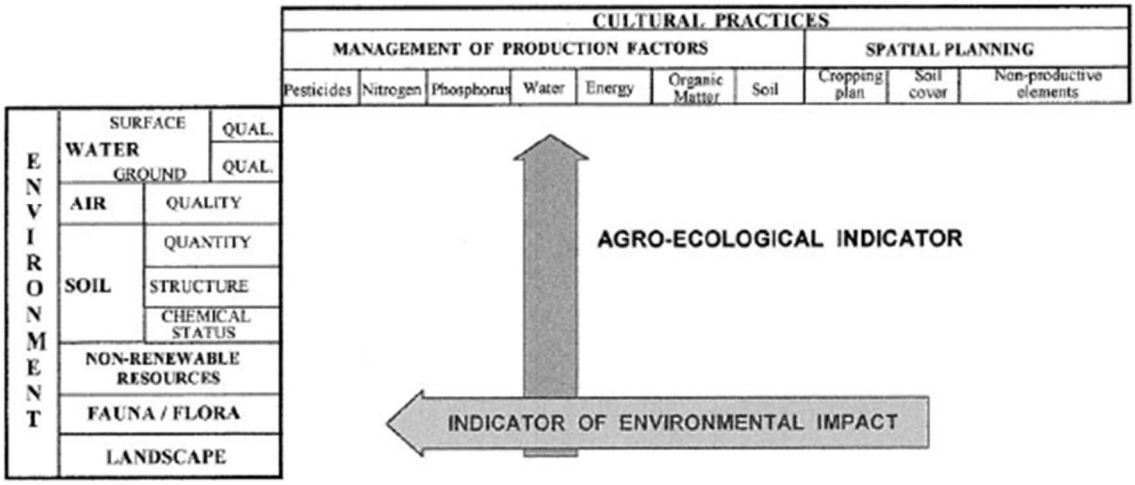

Figure 8. Les indicateurs agro-écologiques traduisent les impacts d'une pratique sur l'ensemble des composantes concernées de l'environnement, tandis que les indicateurs d'impact environnemental traduisent les impacts de l'ensemble des pratiques concernées sur une composante de l'environnement. Figure issue de Girardin et al. (2000).

Revue bibliographique : les impacts des pesticides

Mon projet postdoc (1995-1997), s'est intégré dans le programme de construction d'une méthode d'évaluation environnementale des systèmes de culture. Apres concertation avec Philippe Girardin et Christian Bockstaller, je me suis focalisé sur le développement d'un indicateur agro-écologique pour évaluer les impacts des pesticides sur l'environnement. Comme je ne savais pas grand-chose des pesticides, j'ai commencé par une analyse bibliographique qui avait pour objectif de répondre à deux questions : *Quels facteurs faut-il prendre en compte pour estimer les impacts environnementaux des pesticides ?* ; et *Comment quantifier ces impacts ?* (van der Werf, 1996).

En résumé cette revue bibliographique constate que l'impact environnemental d'une application d'un pesticide dépend : i) des caractéristiques du pesticide (par exemple de sa toxicité), ii) de celles du milieu (par exemple la nature du sol), et iii) du type d'application (par exemple en injection dans le sol ou en épandage sur le couvert). On s'accorde très généralement sur le fait que l'impact environnemental d'un pesticide dépend du degré d'exposition (résultant de sa dispersion et de sa concentration dans l'environnement) et de ses caractéristiques toxicologiques. L'exposition est souvent estimée à l'aide d'un modèle du devenir des pesticides. A partir des caractéristiques du pesticide, du milieu local et du type d'application, utilisés comme variables d'entrée dans la simulation, on calculera des Concentrations Environnementales Prédites (CEP) que l'on pourra relier à des concentrations sans effet et à des concentrations maximales admissibles.

Cette démarche par modélisation est intéressante, car les résultats, au moins en ce qui concerne les CEP, peuvent être validés ; elle fournit également un moyen élégant de combiner les trois types de variables d'entrée à prendre en compte. Elle a cependant des limites. En premier lieu, aucun des modèles du devenir des pesticides dans l'environnement disponibles en 1996 (lorsque je faisais cette analyse bibliographique) ne faisait jouer ensemble les phénomènes les plus importants : comportement dans le sol, volatilisation, dérive, ruissellement, lessivage, dégradation. En second lieu, leur degré de validation était en général faible. Enfin, il faut alimenter ces modèles avec de très nombreuses données pour leurs paramètres et variables d'entrée (propriétés du pesticide, caractéristiques du sol, données météorologiques), données souvent manquantes, imprécises (temps de demi-vie au champ, par exemple) ou encore entachées d'incertitude (comme le risque de ruissellement).

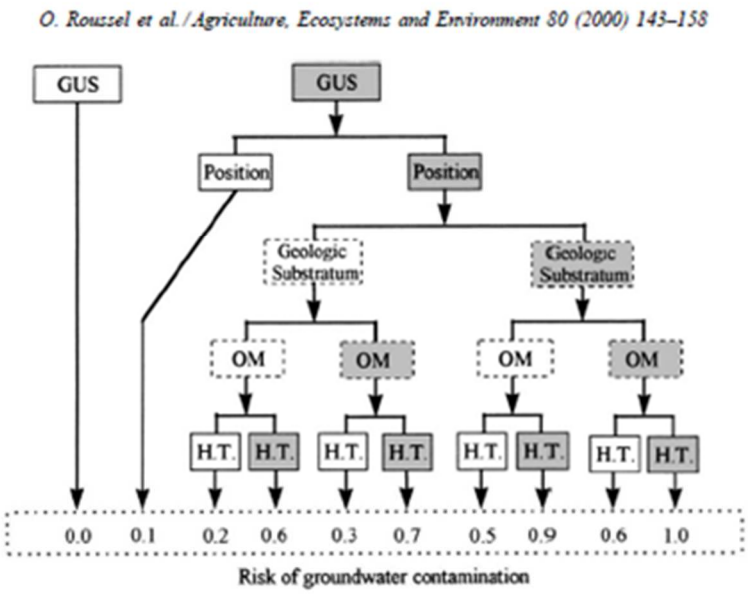

Figure 9. Les règles de décision du module *Risk of Groundwater contamination* de l'indicateur agro-écologique *Ipest*. Figure issue de Roussel et al. (2000).

Comment modéliser les impacts ?

Ce sont sans doute ces problèmes pratiques qui expliquent que parmi les six méthodes d'estimation de l'impact environnemental des pesticides que j'avais comparées dans la revue bibliographique, il n'y en avait qu'une basée sur un modèle de simulation. Les autres méthodes, plus simples, étaient basées sur des indices semi-quantitatifs, identifiant des variables liées à l'exposition et à la toxicité du pesticide, lesquelles, pour trois des cinq méthodes, étaient agrégées en un ou plusieurs indices. Les variables d'entrée étaient de nature, de dimension et de gamme de valeurs possibles très disparates. En général, les valeurs étaient transformées en notes condensées ultérieurement en un ou plusieurs indicateurs par des calculs de moyennes pondérées, voire par des multiplications – ce type de méthodes d'indexation pose des problèmes mathématiques.

Les modèles disponibles ne convenant pas et vu les limites des méthodes d'indexation, j'avais, avec Christophe Zimmer, ingénieur stagiaire, exploré une nouvelle voie et construit un indicateur agro-écologique « Ipest » basé sur un système expert utilisant la logique floue (Figure 9 ; van der Werf et Zimmer, 1998 ; Roussel et al., 2000). Ce type de système expert est un outil robuste, capable d'utiliser des données d'entrée incertaines ou imprécises et d'agréger ces données de façon uniforme. Il reflète une perception d'expert de l'impact environnemental possible engendré par un traitement pesticide d'une culture.

Approches d'analyse environnementale, difficultés et intérêt

Ce postdoc m'a permis de découvrir les difficultés et l'intérêt du travail de construction d'un outil d'analyse environnementale. Mon manque quasi-total de connaissances sur les pesticides et leurs impacts a été un avantage incontestable, puisqu'il m'a permis d'aborder avec une certaine candeur un sujet très compliqué. Il m'a également permis – obligé - à ne pas trop compliquer l'outil, afin qu'il soit opérationnel. En explorant la bibliographie sur les pesticides et les outils déjà proposés pour estimer leurs impacts, j'ai pu découvrir qu'il existait deux catégories : d'une part des outils très simples, faciles à mettre en œuvre, créés par des personnes ayant peu de connaissances sur le sujet et d'autre part des approches sophistiquées, basées sur des modèles de simulation, lourds à mettre en œuvre et généralement inadaptés pour une utilisation en tant qu'outil d'analyse environnemental. Le défi a été de mettre en œuvre une approche intermédiaire, pour créer un outil qui prenne en compte autant que

possible la complexité des phénomènes, dans les limites posées par les contraintes pratiques notamment de disponibilité de données d'entrée.

Cependant, la création d'outils de cette catégorie intermédiaire peut être assez inconfortable. Les amateurs d'outils très simples et très faciles à mettre en œuvre vous reprochent d'inutilement compliquer les choses, tandis que les vrais spécialistes du sujet trouvent que vous faites du bricolage et vous encouragent à revenir les voir dans dix ans quand leurs modèles seront perfectionnés, prendront en compte l'ensemble des phénomènes importants et auront été valides. Cette position inconfortable était évidemment aussi celle de l'équipe de Girardin et Bockstaller dans les années 90. J'avais l'impression – notamment après avoir assisté à l'évaluation du labo - que les travaux de Girardin et Bockstaller étaient tolérés par les responsables du département d'Agronomie de l'INRA d'alors, mais n'étaient pas vus comme très porteurs. *Est-ce bien de la Science ?* était clairement la question qui leur était posée. Ceci est évidemment le sort de ceux qui sortent des chemins battus, qui innovent, leurs pairs ont du mal à situer le type « d'ovnis » qui émergent.

Cette situation s'est améliorée vers la fin des années 90, début années 2000, quand les travaux de l'équipe de Colmar ont commencé à porter leurs fruits sous forme de publications (Bockstaller et al., 1997 ; Girardin et al., 1999 ; Arondel et Girardin, 2000 ; Weinstoerffer et Girardin, 2000 ; Pervanchon et al., 2002 ; Bockstaller et Girardin, 2003). Les travaux de développement d'outils d'analyse environnementale et de la durabilité se sont multipliés et ont désormais acquis une respectabilité évidente. Cela constitue évidemment une raison de satisfaction pour les pionniers de ces approches.

Entrée à l'INRA : de Saint Pol sur Ternoise à Rennes

Ce séjour postdoc a été une expérience très intéressante, autant sur le plan professionnel, scientifique, que sur le plan personnel. Il était très enthousiasmant de faire partie d'une équipe pionnière, innovante et sympathique. Sur le plan personnel ce postdoc avait été un test pour voir si le fait de travailler et vivre en France plaisait à ma femme, mes deux filles et moi-même. A la fin du postdoc ma famille et moi-même avions envie de rester en France.

J'ai passé trois concours de Chargé de Recherche et d'Ingénieur de Recherche INRA, avec un succès modeste : présence sur la liste complémentaire pour deux postes. Ensuite j'ai eu de la chance. D'abord le ministre de l'agriculture de l'époque, Philippe Vasseur (gouvernement Juppé II), avait décidé de créer une station de recherche sur les cultures légumières à Saint Pol sur Ternoise, commune dont il était maire. L'INRA devait fournir quelques agents pour cette station, et c'est ainsi que Jean Boiffin, chef du département Agronomie de l'INRA à cette époque, m'a demandé si ce poste pourrait m'intéresser. Après une visite à Saint Pol sur Ternoise – au cœur de la ville on trouve un carrefour des axes Nord-Sud et Est-Ouest, beaucoup de camions s'y croisent – j'avais décidé d'accepter l'offre, un peu à reculons quand même. Les collègues à Colmar avaient été très encourageants : *Ah, le Nord, oui, les gens sont très sympa et au bout de cinq ans tu peux demander ta mutation*. Ensuite, le Président de la République Jacques Chirac a décidé de dissoudre l'Assemblée Nationale, les élections qui ont suivi ont produit une majorité de gauche à l'Assemblée Nationale et le gouvernement Juppé II a démissionné le 2 juin 1997. Du coup j'ai raté une aventure dans le genre *Bienvenue chez les Ch'tis*, car le projet de station de recherche de Philippe Vasseur tombait à l'eau, mais entre-temps j'avais été embauché à l'INRA. Jean Boiffin m'a ensuite proposé de rejoindre l'unité d'Agronomie de l'INRA de Rennes-Quimper, dirigé par Philipe Leterme, proposition que j'ai acceptée sans hésitation.

3.2 Expérimentation système à l'INRA de Rennes

A mon arrivée dans l'unité Agronomie de l'INRA de Rennes-Quimper en septembre 1997, j'ai été chargé d'une étude expérimentale (en cours depuis 1996) ayant pour objectif la conception et l'évaluation de systèmes de culture à base de maïs et de blé. Il s'agissait de systèmes valorisant une quantité maximale de lisier (ce qui m'a rappelé mes débuts professionnels aux Pays-Bas quand j'explorais la tolérance du maïs au lisier) et permettant de produire en préservant la qualité des eaux en ce qui concerne la pollution par les nitrates et les pesticides. En 1999, les résultats de cette étude ont été présentés dans un rapport destiné au programme Bretagne Eau Pure, financeur de l'étude (van der Werf et al., 1999).

Combiner expérimentation système et règles de décision

Dans les années 90 l'expérimentation système, dont Vereijken avait été un des pionniers, suscitait l'intérêt des agronomes français. Cette nouvelle idée avait été combinée avec un autre concept, cette fois *made in France* : celui des règles de décision, ou règles d'action. Ce concept, proposé par Sebillotte et Soler (1988), postule que *chaque intervention technique de l'agriculteur est régie par un ensemble de règles de décision souvent implicites mais que l'agronome cherche à formaliser. Ces règles constituent le modèle d'action de l'agriculteur pour la conduite de ses cultures : elles tiennent compte de l'état du milieu et de la culture (parcelle), de la disponibilité en ressources (exploitation) et des réglementations extérieures sur l'usage de ces ressources (territoire). Le système de culture peut ainsi être vu comme le résultat de l'application d'un corps de règles de décision sur une surface agricole dans le cadre contraint des ressources (eau, matériel, main-d'œuvre) de l'exploitation* (Nolot et Debaeke, 2003).

Une méthodologie *d'Expérimentation système par règles de décision* en cinq étapes a été proposée (citée ici selon Debaeke et al., 2009) :

- Préciser l'ensemble d'objectifs et contraintes à satisfaire pour chaque système de production,
- Identifier une stratégie agronomique « candidate » pour chaque système de production,
- Spécifier, pour chaque système, un ensemble cohérent de règles de décisions en accord avec la stratégie,
- Mettre en œuvre et appliquer l'ensemble de règles de décision,
- Valider ou améliorer la stratégie et les règles.

L'intérêt d'une telle méthodologie serait de mettre en œuvre une expérimentation système « dynamique », qui permettrait de comparer non pas des modalités techniques figées, mais des systèmes définis par des objectifs et contraintes, systèmes dont la mise en œuvre pratique pourrait évoluer, selon l'affinement des règles de décision et l'évolution du contexte (marché, disponibilité des pratiques et intrants).

J'ai ainsi été responsable, pendant deux ans, d'un essai système que j'ai essayé de conduire selon cette méthodologie *Expérimentation système par règles de décision*. Cette expérience a été difficile et frustrante pour plusieurs raisons. D'abord je n'étais pas convaincu du bien-fondé de la méthodologie. L'inconvénient d'une comparaison de systèmes figés (en gros l'approche « Vereijken ») se conçoit aisément : dans la réalité les systèmes de culture évoluent en ce qui concerne les cultivars, les pratiques culturales, les successions de cultures pratiquées. Cependant, la comparaison de systèmes qui évoluent au fil du temps complique singulièrement - voire rend impossible - l'interprétation des résultats.

Un élément clef de cette méthodologie est l'idée d'une démarche itérative, où un ensemble de règles de décision est posé, et où la validité de chaque règle est testée. Si une règle n'est pas valide, elle est remplacée par une règle améliorée. A l'époque j'avais essayé de savoir comment on décide de la validité d'une règle de décision, sans trouver une réponse satisfaisante.

Il m'avait semblé que, pour juger de la validité d'une règle de décision A, il faudrait pouvoir la comparer à au moins une autre règle de décision B, et cela pendant plusieurs années afin de considérer la variabilité interannuelle. Techniquement cela semble difficilement faisable, puisqu'il faudrait comparer un nombre important de jeux de règles de décision, différent chacun pour une seule règle. Bref, il s'agirait d'un retour vers l'expérimentation factorielle. Ensuite il serait peut-être possible de conclure que la règle A serait meilleure que la règle B, mais encore sur quel critère ? ; et puis cela serait seulement une validation relative. En résumé, cette méthodologie de comparaison de systèmes de

culture définis par des jeux de règles de décision à valider de façon itérative me semblait une proposition floue, mal définie. Je ne voyais pas non plus le défi scientifique posé par l'affinement d'un jeu de règles de décision.

Concevoir ou évaluer, il faut choisir

A la fin du projet Expérimentation système à Rennes (1999) j'étais heureux de pouvoir passer à autre chose. Cependant, dans le cadre de la rédaction de ce mémoire, j'ai voulu connaître le devenir de la méthodologie *Expérimentation système par règles de décision*. La publication *Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review* (Debaeke et al., 2009) présente cette méthodologie et son application à trois essais : à Toulouse, Versailles et Dijon. L'article révèle que le problème de la validation des règles de décision a été résolu par la mise en place d'essais analytiques au sein des essais système. L'essai de Versailles comparait des systèmes très innovants et avait de ce fait une boucle d'amélioration assez courte pour les règles de décision (une ou quelques années), tandis que l'essai de Dijon comparait l'effet des systèmes sur la prolifération des adventices, critère qu'il faut évaluer sur le long terme, donc ici le jeu de règles de décision avait été maintenu quasiment stable.

De cet article il ressort que, selon le cas, la méthode a servi soit à mettre au point des systèmes en améliorant les jeux de règles de décision (le cas de Versailles), soit à comparer des systèmes (le cas de Dijon), soit à développer des outils pour améliorer les règles de décision (Toulouse). Implicitement les auteurs arrivent donc à la conclusion que la méthodologie ne permet pas simultanément d'améliorer des jeux de règles de décision définissant des systèmes et de comparer ces mêmes systèmes. Il faut faire l'un ou l'autre, voire d'abord l'un et puis l'autre. Il semble donc que cette méthodologie n'a pas rempli ses promesses. Dans une récente revue bibliographique intitulée *Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices* (Meynard et al., 2012) elle n'est d'ailleurs pas mentionnée.

3.3 Comparaison de méthodes : une revue bibliographique

Ayant terminé le projet expérimentation système en 1999, j'ai voulu réorienter ma thématique de recherche, et passer d'une approche analytique, de genèse de résultats par l'expérimentation vers une approche d'intégration de résultats dans un but d'évaluation globale des impacts environnementaux des systèmes de production agricoles. Ce nouveau cap direction analyse et évaluation environnementale a été motivé par deux éléments : d'une part par un intérêt personnel pour les questions concernant la durabilité environnementale des systèmes agricoles et d'autre part par un constat au niveau de l'équipe et du laboratoire qu'un besoin de méthodes d'évaluation des impacts des systèmes de production agricoles se faisait de plus en plus sentir.

L'objectif était double :

- La mise au point d'une telle méthode d'évaluation,
- L'application de cette méthode, afin de contribuer à l'élaboration de systèmes agricoles durables.

La première question à laquelle j'ai dû répondre pour remplir cette mission a été le choix de la méthode d'évaluation que j'allais mettre en œuvre. Pendant mon séjour postdoctoral à Colmar, je m'étais familiarisé avec la méthode d'évaluation environnementale développée par cette équipe (Girardin et al., 2000), et dont *l'Indicateur Pesticide* que j'y avais développé fait partie. J'aurais donc pu choisir cette méthode, qui a été élaborée pour les systèmes de production type grandes cultures, afin de la développer pour les systèmes de production animale qui prédominent dans l'Ouest de la France.

Je n'ai cependant pas fait ce choix. Après une période très enrichissante *mains à la pâte* lors du postdoc, j'ai voulu prendre du recul en faisant un inventaire (non-exhaustif) des différentes méthodes d'évaluation environnementale appliquées aux systèmes de production agricoles. Ensemble avec mon nouveau collègue Jean Petit, arrivé en 1999 dans l'unité d'Agronomie, nous avons comparé et analysé douze méthodes d'évaluation basées sur des indicateurs (van der Werf et Petit, 2002).

Cette publication a représenté un investissement en temps considérable. Rétrospectivement cet investissement a été rentable, parce qu'elle a été le fondement de mes travaux sur l'analyse

environnementale depuis 2001. Par ailleurs c'est actuellement aussi la plus citée de mes publications (163 citations dans le Web of Science). Je résume dans ci-dessous les principaux résultats de cette publication.

Objectifs de la revue bibliographique

Douze approches récentes, utilisant un jeu d'indicateurs pour évaluer l'impact environnemental de l'agriculture au niveau de l'exploitation agricole ont été comparées. Ont été retenues des méthodes qui étaient suffisamment différentes les unes des autres, dont la description était détaillée et qui avaient été utilisées ou au moins testées dans le cadre d'une étude d'évaluation environnementale. Certaines des méthodes analysées prenaient également en considération les dimensions sociale et économique des agroécosystèmes, toutefois la revue bibliographique s'est limitée à la partie de la méthode concernant les effets environnementaux.

L'étude n'avait pas pour objectif de classer les méthodes, mais plutôt de fournir une caractérisation de leurs composantes et de leur fonctionnement au niveau de la ferme. Lors de la conception d'une méthode d'évaluation, quelques questions majeures doivent être abordées :

- Quels problèmes environnementaux des agroécosystèmes actuels faut-il prendre en compte et quel type d'indicateur convient le mieux pour quantifier ces problèmes ?
- Faut-il utiliser des indicateurs des pratiques de l'agriculteur ou bien des indicateurs des effets environnementaux de ces pratiques ?
- Comment valider une méthode d'évaluation ?
- Comment aborder la recherche du compromis entre la simplicité et l'exhaustivité de la méthode d'évaluation ?

Les objectifs spécifiques de l'étude étaient de :

- Caractériser les méthodes en ce qui concerne les objectifs environnementaux pris en compte, le type d'indicateur utilisé, la validité et la faisabilité de la méthode ;
- Proposer des conseils pour l'évaluation des méthodes existantes et pour le développement de nouvelles méthodes.

Objet étudié, échelle de l'évaluation et objectifs

Pour les méthodes basées sur l'analyse du cycle de vie (ACV), l'objet d'étude est le produit, tandis que pour les autres méthodes, c'est la ferme (c'est-à-dire le lieu de production). C'est pourquoi les indicateurs utilisés par les méthodes basées sur l'ACV expriment les impacts par kg de produit. Les autres méthodes expriment les impacts par hectare de surface occupée. Ainsi, les méthodes basées sur l'ACV considèrent les fermes comme des systèmes de production, tandis que les autres méthodes les considèrent comme un mode d'occupation du sol. Ces deux points de vue sont complémentaires : Haas et al. (2000) proposent que les indicateurs exprimant les impacts par hectare sont les plus appropriés pour les impacts régionaux ou locaux (comme l'eutrophisation) et que les indicateurs exprimant les impacts par kg de produit sont les plus appropriés pour les impacts globaux (comme le changement climatique).

Toutes les méthodes comparées prennent en compte des impacts locaux. Des impacts globaux sont considérés par sept des douze méthodes. L'idéal serait qu'une méthode considère non seulement les impacts locaux mais également les impacts globaux, afin d'éviter d'aboutir par mégarde à une augmentation d'un impact global en essayant de réduire un impact local (ou vice versa).

Tableau 1. Les objectifs environnementaux considérés par douze méthodes d'évaluation environnementale basées sur des indicateurs. Tableau issu de van der Werf et Petit (2002).

Table 3
Characteristics of indicator-based evaluation methods: consideration of environmental objectives grouped in three classes: input related, emission related, related to the state of the system[a]

Objectives	Methods												
	FSI[b]	SEC	EP	LCAA	AEI	AESA	OS	MOP	EMA	SD	LCAE	IFS	Total
Input related													
Use of non-renewable energy ↓[c]		x		x	x				x	x	x	x	7
Use of other non-renewable resources ↓		x		x	x							x	4
Soil erosion ↓		x	x							x			3
Land use ↓		x		x		x					x		4
Water use ↓		x							x	x		x	4
Nitrogen fertiliser use ∩	x		x						x				3
Pesticide use ↓	x		x				x		x				4
Emission related													
Emission of greenhouse gases ↓		x		x							x		3
Emission of ozone depleting gases ↓		x									x		2
Emission of acidifying gases ↓		x		x							x		3
Emission of nutrifying substances ↓		x		x		x	x				x		5
Emission of pesticides ↓		x											1
Emission of substances contributing to POCP[d] ↓				x									1
Emissions concerning terrestrial ecotoxicity ↓				x							x		2
Emissions concerning aquatic ecotoxicity ↓				x							x		2
Emissions concerning human toxicity ↓				x							x		2
Waste production ↓ and utilisation ↑		x									x		2
System state related													
Landscape quality		x	x		x			x		x		x	6
Natural biodiversity		x			x			x	x	x		x	6
Agricultural biodiversity			x		x	x				x		x	5
Total system biomass						x							1
Air quality					x			x				x	3
Water quality					x			x		x		x	4
Soil quality					x			x	x	x		x	5
Food (product) quality								x					1
Animal welfare									x				1

[a] An 'x' indicates that the objective is taken into account.
[b] See Table 1.
[c] ↓: objective to be minimised; ∩: objective to be optimised; ↑: objective to be maximised.
[d] Photo-chemical oxidant creation potential.

L'examen des objectifs[2] considérés par les méthodes (Tableau 1) révèle une grande diversité en ce qui concerne la largeur de l'analyse : certaines méthodes ont une cible très restreinte et ne considèrent que deux objectifs, alors que d'autres méthodes considèrent dix objectifs, voire plus. Sur l'ensemble des 26 objectifs, certains sont pris en compte par six ou sept méthodes, tandis que d'autres sont considérés par une méthode seulement. Peu de méthodes exposent explicitement comment les objectifs ont été choisis, et une seule méthode examine si, dans un jeu d'objectifs, certains sont redondants.

Évaluation sur les effets ou sur les moyens ?

Parmi les méthodes passées en revue, sept utilisent des indicateurs basés sur les effets (les impacts), trois utilisent des indicateurs basés sur les moyens (les pratiques de l'agriculteur) et deux utilisent les deux types d'indicateurs. Les avantages des indicateurs basés sur les impacts sont évidents : le lien avec l'objectif est plus direct et le choix des meilleurs moyens ou pratiques pour atteindre l'effet désiré est laissé à l'agriculteur, qui peut prendre en compte la spécificité agronomique, économique et environnementale de sa situation. Le principal inconvénient des indicateurs basés sur les impacts par rapport aux indicateurs basés sur les pratiques est une collecte de données plus exigeante. Les cinq

[2] Ce terme désigne les points de préoccupation, ici les impacts environnementaux, qui sont considérés par la méthode.

méthodes demandant plus que deux jours par an pour collecter les données utilisent des indicateurs basés sur les impacts.

Puisque leur mise en œuvre est plus simple et coûte donc moins cher, les indicateurs basés sur les pratiques sont souvent préférés pour des méthodes d'évaluation utilisées pour la certification ou l'établissement de niveaux de rémunération, pour lesquelles la vérification et la mise en application jouent un rôle. Le défaut principal des méthodes utilisant des indicateurs basés sur les pratiques est qu'elles ne conviennent pas pour guider le changement des systèmes de production, parce qu'il est logiquement impossible d'évaluer la contribution d'une pratique à l'impact environnemental quand l'adhésion à cette pratique a servi comme critère pour évaluer l'impact environnemental (Hansen, 1996). Par conséquent, une évaluation utilisant des indicateurs basés sur les pratiques ne contribuera pas à reconnaître des erreurs et à améliorer les pratiques. En fait, les auteurs de ces méthodes savent déjà à quoi ressemblent les systèmes de production à faible impact ou durables. Cette approche ne tient pas compte de la nécessité d'adapter les technologies aux environnements spécifiques (Hansen, 1996) et ne favorisera pas l'émergence de nouvelles pratiques. Quand elles sont utilisées, les méthodes basées sur les pratiques doivent être dynamiques : les nouveaux résultats de recherche concernant les effets environnementaux des pratiques de l'agriculteur doivent être utilisés continuellement pour améliorer les indicateurs basés sur les pratiques.

Valeurs ou scores ?

Parmi les sept méthodes utilisant des indicateurs basés sur les impacts, six expriment les résultats sous forme de valeurs, une fournit des scores. Chacune des trois méthodes utilisant des indicateurs basés sur les pratiques exprime les résultats sous forme de scores. Les scores ont des unités sans dimension. C'est une caractéristique qui est indésirable, entre autres parce qu'un score ne peut pas être comparé à d'autres valeurs et qu'il complique l'utilisation d'observations du monde réel pour la validation de la méthode (Suter II, 1993). Alors, pourquoi utiliser des scores ? La première raison est que pour des indicateurs basés sur les pratiques les scores sont souvent la seule option, parce que cette approche permet « d'additionner » un ensemble de moyens ou de pratiques. Deuxièmement, certaines méthodes expriment les sorties sous forme de scores pour qu'elles soient plus facilement compréhensibles (par exemple, scores négatifs : *mauvais*, scores positifs : *bon*), ou bien pour permettre une agrégation ultérieure.

Seuils, pondération et agrégation

Parmi les sept méthodes utilisant des indicateurs basés sur les impacts, deux seulement ont défini des seuils ou valeurs de référence, une attribue des poids aux indicateurs et deux agrègent les indicateurs pour obtenir une seule valeur. Parmi les trois méthodes utilisant des indicateurs basés sur les pratiques, toutes ont des seuils, deux attribuent des poids aux indicateurs et les agrègent en additionnant des scores. La définition de seuils permettant la distinction de catégories (par exemple, *élevé*, *moyen*, *bas*) et l'attribution de poids suivi d'une agrégation visent, l'une et l'autre, une interprétation plus aisée des sorties par l'utilisateur. Ceci peut entraîner un coût : souvent la définition de seuils et de poids n'a pas de fondement scientifique, donc les choix sont basés sur des valeurs plus ou moins arbitraires. De même, l'agrégation facilite la prise de décisions, mais au prix d'une perte d'information, produisant un seul indice (Suter II, 1993 ; Maystre et al., 1994). Apparemment, les auteurs des méthodes basées sur les impacts ont moins tendance à inclure des éléments basés sur des jugements de valeur (définition de seuils, attribution de poids, agrégation d'indicateurs) que les auteurs des méthodes basées sur les pratiques.

Validité et faisabilité

Le but des méthodes passées en revue est l'identification de l'option la moins dommageable pour l'environnement parmi plusieurs solutions. La capacité d'une méthode à faire cela peut être compromise de deux façons : d'une part, l'analyse peut donner une réponse erronée et, d'autre part, l'analyse peut être impossible à conduire (Hertwich et al., 1997). Ceci soulève deux questions : est-ce que la méthode est valide et est-ce qu'elle est pratiquement faisable ? Une méthode peut donner une réponse erronée pour deux raisons : son jeu d'objectifs ne convient pas à son but ou bien ses objectifs sont mal quantifiés

par ses indicateurs. Une analyse peut être impossible à conduire parce que la méthode est trop compliquée, trop chère ou nécessite des données qui ne sont pas disponibles.

Dans les publications passées en revue, l'évaluation de la méthode par l'examen de sa validité est abordée seulement par les auteurs de trois méthodes, donc apparemment la plupart des auteurs ont peu réfléchi à la validation. Ceci est regrettable et en fort contraste avec des publications dans le domaine des modèles de simulation, où la validation des modèles est prise très au sérieux. Bockstaller et Girardin (2003) proposent une approche pour la validation des indicateurs qui est pertinente pour les méthodes analysées ici. Leur approche s'inspire des méthodes utilisées pour la validation des modèles de simulation, sans toutefois être identique à elles, puisqu'un indicateur et un modèle de simulation ont une nature et un but différents. L'idéal serait que la validation de la méthode consiste en un examen critique de son jeu d'objectifs et de ses indicateurs. Un jeu d'objectifs devrait être exhaustif, non-redondant et minimal (réduit au plus petit nombre possible), comme proposé par Schärlig (1985). Les indicateurs doivent quantifier les objectifs de façon pertinente, ceci peut être validé en confrontant les valeurs des indicateurs aux données du monde réel et/ou en soumettant la conception et les valeurs des indicateurs à un groupe d'experts.

La plupart des auteurs discutent la faisabilité de leur méthode. Les méthodes utilisant des indicateurs basés sur les pratiques ont une faisabilité particulièrement bonne, avec un faible temps de collecte de données. Les méthodes utilisant des indicateurs basés sur les impacts et, en particulier, celles basées sur l'ACV sont beaucoup plus exigeantes sur ce point. Il est évident que l'identification du compromis approprié entre les exigences contradictoires d'éviter les réponses erronées et de faisabilité constitue un des défis les plus importants pour le développement d'une méthode d'évaluation. Une piste pour relever ce défi pourrait être l'étude de cas d'agroécosystèmes bien documentés pour évaluer les effets d'une simplification des méthodes utilisant des indicateurs basés sur les impacts, sur leur tendance à donner des réponses erronées.

Exigences pour des méthodes d'évaluation

Cette analyse bibliographique a permis de formuler les exigences suivantes pour les méthodes d'évaluation environnementale au niveau de l'exploitation agricole. Elles valent pour l'évaluation de méthodes existantes et pour le développement de nouvelles méthodes.

- Pour évaluer réellement l'impact environnemental, une méthode d'évaluation doit prendre en compte une gamme d'objectifs environnementaux couvrant aussi bien des impacts locaux que globaux. Le nombre d'objectifs doit être suffisamment grand pour éviter la création par mégarde de nouveaux problèmes, et le plus petit possible pour préserver la faisabilité de sa mise en oeuvre ; les objectifs ne doivent pas être redondants. La procédure utilisée pour choisir les objectifs doit être énoncée.
- Des indicateurs permettant de quantifier le degré d'atteinte de ces objectifs doivent être identifiés ou construits. Des indicateurs basés sur les impacts sont à préférer, car le lien avec l'objectif est plus direct et le choix des moyens ou des pratiques est laissé à l'agriculteur. Des indicateurs basés sur les pratiques sont moins coûteux en collecte de données, mais ils ne permettent pas une réelle évaluation de l'impact environnemental et leur validation est problématique.
- Des indicateurs permettant l'expression des impacts aussi bien par unité de surface agricole occupée que par unité de produit sont préférables, puisqu'ils permettent d'évaluer les systèmes agricoles non seulement comme des modes d'occupation du sol mais aussi comme des systèmes de production.
- Les sorties des indicateurs peuvent avoir la forme de valeurs ou de scores. Les sorties sous forme de valeurs sont préférables, car les scores ont des unités sans dimension et ne peuvent donc pas être comparés à d'autres valeurs ou à des observations du monde réel.
- Si possible des valeurs seuils ou de référence doivent être définies pour les indicateurs. Dans l'idéal, ces valeurs doivent avoir un fondement scientifique.
- La méthode doit être validée par, d'une part, l'évaluation de la pertinence de son jeu d'objectifs par rapport à son but et, d'autre part, la confrontation des valeurs des indicateurs à des données du monde réel et/ou par la soumission de la conception et des valeurs des indicateurs à un groupe d'experts.

Choix de la méthode Analyse du Cycle de Vie

Parmi les 12 méthodes examinées, les trois méthodes basées sur l'Analyse du Cycle de Vie (ACV, Encadré 1) répondaient le mieux à ce cahier de charges, ainsi j'avais retenu l'ACV pour les travaux sur les systèmes de production agricoles que j'ai entrepris par la suite.

Les conclusions de cette revue bibliographique de 2002 sous forme d'exigences sont toujours valables, mais ayant pratiqué l'ACV pour analyser les systèmes agricoles depuis 2000, j'ai pu identifier

Encadré 1. La méthode Analyse du Cycle de Vie

L'ACV évalue l'impact environnemental d'un produit, d'un service ou d'un système en relation à une fonction particulière et en considérant toutes les étapes de son cycle de vie. Le cycle de vie d'un produit correspond à son parcours du berceau à la tombe, c'est-à-dire de l'acquisition des matières premières, à sa production, son utilisation et sa fin de vie (mise en déchet, recyclage). Selon les normes ISO 14040 et 14044, une étude ACV comprend quatre étapes.

1 Définition de l'objectif et du champ de l'étude

Ici sont définis les objectifs de l'étude, le système qui sera étudié, la fonction étudiée et les impacts qui seront pris en compte. Les objectifs de l'étude peuvent être diversifiés selon son commanditaire : technique, politique, ou scientifique. Par exemple, un chef d'entreprise peut chercher à évaluer la performance environnementale de ses produits, pour identifier des pistes d'amélioration. Un décideur politique peut chercher un outil d'aide à la décision pour l'octroi d'une subvention. Enfin, l'objectif peut être de faire progresser la compréhension des problèmes environnementaux liés à un produit, l'objectif est alors scientifique.

La définition du champ de l'étude découle de son objectif, notamment le système étudié et l'échelle concernée seront très différents entre l'ACV d'un chef d'entreprise (le système étudié est celui connecté à son produit) et celle commanditée par un ministre, qui pourra, par exemple, être réalisée à l'échelle d'un territoire. Le système de produits (l'ensemble des processus économiques pris en compte) est défini, c'est à dire que les limites du système sont posées à la fois par rapport à son environnement et par rapport aux autres systèmes de produits. Ce dernier point soulève la question de l'affectation des impacts entre les coproduits issus d'un même système (ex. entre huile et tourteau de colza).

L'objectif influence également le choix de la fonction étudiée et de l'unité fonctionnelle qui la caractérise. C'est à cette unité que les impacts environnementaux seront rapportés. Par exemple, *un kg de porc poids vif* est une unité fonctionnelle qui reflète la production de porc comme bien du marché, alors qu'*un hectare de surface agricole occupée pendant un an* peut représenter une fonction de production de biens non marchands (services environnementaux).

2 Analyse de l'inventaire du cycle de vie

Le but de l'inventaire du cycle de vie est de quantifier les émissions de polluants et les utilisations de ressources pour chaque étape du cycle de vie du produit. Une fois quantifiées, ces données d'inventaire (émissions de polluants et ressources utilisées) sont agrégées tout au long du cycle de vie et rapportées à l'unité fonctionnelle. Les caractéristiques spatiale (lieu d'émission) et temporelle (moment d'émission) de ces données sont généralement perdues lors de l'agrégation.

3 Evaluation de l'impact du cycle de vie

Le but de l'évaluation de l'impact est d'évaluer les impacts des émissions de polluants et des utilisations de ressources répertoriés dans l'inventaire. Des questions environnementales appelées catégories d'impact sont d'abord sélectionnées et un indicateur est défini ou choisi pour chaque catégorie d'impact ainsi qu'un modèle de caractérisation. Ce modèle permettra d'établir une relation quantitative entre les données d'inventaire et l'indicateur, au travers des facteurs de caractérisation. Pour une catégorie d'impact donnée, une méthode de caractérisation est ainsi mise au point ou choisie au travers d'un indicateur, d'un modèle de caractérisation et de facteurs de caractérisation issus du modèle.

La définition de l'indicateur, la mise au point des modèles de caractérisation et le calcul des facteurs de caractérisation ont fait l'objet de travaux scientifiques depuis plusieurs décennies et sont en cours d'élaboration ou d'amélioration pour certaines catégories d'impact comme la dégradation de la biodiversité ou la qualité du sol. Les praticiens peuvent choisir différents jeux de facteurs de caractérisation parmi ceux proposés par les équipes de recherche sur l'ACV. A partir des données d'inventaire nombreuses, on obtient ainsi un nombre limité de résultats d'impact.

4 Interprétation du cycle de vie

Le but de l'interprétation du cycle de vie est de dégager des conclusions et des recommandations aux décideurs, en cohérence avec l'objectif et le champ de l'étude. C'est la phase où l'on évalue la valeur et la robustesse de tous les résultats, choix et hypothèses. Les objectifs initiaux de l'étude sont repris pour évaluer les résultats et proposer des conclusions voire des recommandations adaptées.

des éléments supplémentaires à considérer à propos du choix d'une méthode d'évaluation environnementale des systèmes de production agricoles.

Les méthodes d'évaluation environnementale créées et utilisées par des agronomes (en France les représentants les plus connus de cette catégorie sont : *Indigo*, *Idea*, *Planete-Dia'terre*, *Dialecte*, *DEXiPM*, *MASC*) ont généralement comme objet d'application les seuls systèmes de production agricoles et sont souvent utilisées dans un seul pays ou aire linguistique (ex. les pays francophones). Ce type de méthodes, que je désignerai ici par le terme « agro-nationale » existe aussi dans d'autres pays : *KUL/USL* et *REPRO* (Bockstaller et al., 2009) en Allemagne et *EMA* et *FarmSmart* (van der Werf et al., 2007) au Royaume-Uni. La restriction de ces méthodes à un seul secteur économique et une seule aire nationale ou linguistique constitue un handicap pour leur développement. Contrairement à une méthode comme l'ACV, qui est appliquée dans l'ensemble des secteurs de l'économie et à travers le monde, ces méthodes « agro-nationales » sont moins l'objet de débats scientifiques et de développements méthodologiques. Les concepts théoriques développés dans le cadre de l'ACV (Encadré 1), tels que le *cycle de vie*, l'*unité fonctionnelle*, la *définition du système*, la séparation entre *analyse d'inventaire* et *analyse d'impact*, *l'affectation des impacts entre coproduits* font défaut à ces méthodes qui sont développées et utilisées dans une sorte d'autarcie sectorielle et nationale.

Par ailleurs, de par son caractère transversal, le développement de l'ACV a résulté dans la création d'importantes bases de données de référence (notamment sur les impacts associés aux intrants, tels que les systèmes de production d'énergie, les systèmes de transport, la production des engrais, pesticides, bâtiments) et de logiciels de mise en œuvre des calculs. En bref, non seulement le cadre conceptuel est plus riche, le débat scientifique implique une véritable communauté internationale, mais aussi la technologie utilisée (outils logiciels et bases de données), est de pointe.

Enfin j'ai pu constater que la mise en œuvre d'une méthodologie à vocation transversale, qui, à l'origine, n'a pas été développée par des agronomes pour des agronomes, oblige son utilisateur à porter un nouveau regard sur les systèmes qu'il pense si bien connaître. Comme l'a dit le DS Peter Boyd : *You can't understand a picture when you are inside the frame*. La mise en oeuvre de l'ACV amène son utilisateur à sortir du cadre de pensée habituel d'agronome et à poser des questions comme celle de la fonction du système quand il veut déterminer l'unité fonctionnelle appropriée. Les méthodes « agro-nationales » utilisent généralement l'hectare comme unité fonctionnelle. Ceci révèle le parti pris implicite des concepteurs de ces méthodes que la « vocation » des terres agricoles est d'être occupée par des systèmes agricoles. Une réflexion dans un cadre ACV amènera assez naturellement à définir plusieurs unités fonctionnelles : le kg de produit (fonction productrice), l'hectare (ha) de surface agricole occupée (fonction occupation d'un territoire) et peut-être l'Euro de valeur crée (fonction création de valeur économique).

4 Analyse de systèmes de production

Une fois que j'avais ainsi identifié l'approche méthodologique qui me semblait la plus prometteuse, il fallait trouver un champ d'application. Il s'est trouvé que, à cette époque, le programme *Porcherie Verte* était en gestation. Ce programme visait à contribuer au développement d'une production porcine plus en accord avec les demandes de la société, notamment sur le plan environnemental. Vu les possibilités de financement dans ce cadre, et le fait que la production de porc était riche en problèmes environnementaux, elle a été choisie comme premier champ d'application. Avant le démarrage effectif du programme Porcherie Verte, deux projets avaient été mis en route. Ces premiers travaux ont initié une série d'études ACV concernant les systèmes de production animale au niveau de l'atelier de production animale et ses intrants, ainsi que les filières associées, qui seront le sujet de ce chapitre.

4.1 Au commencement : des aliments pour porcs

En 2000, le projet *ACV des aliments pour porcs* a permis d'initier la mise en place des outils informatiques et de la base de données nécessaires pour la conduite pratique des études ACV. Etant donné que l'évaluation par ACV est basée non seulement sur les émissions de polluants et l'utilisation de ressources sur l'exploitation (dites *directes*), mais également sur celles associées à la production et le transport des intrants de l'exploitation (dites *indirectes*), il est évident que pour pouvoir faire une ACV « production de porc » il faut commencer par un travail de collecte et de mise en forme de données concernant l'intrant principal : l'aliment concentré. En d'autres termes, avant de pouvoir faire l'ACV du porc, il faut faire celui de l'aliment pour porc, et donc des cultures qui fournissent les matières premières entrant dans ces aliments (van der Werf et al., 2005).

Pour réaliser cette ACV, la première étape a été le choix d'un logiciel. Il existait à l'époque une trentaine d'outils informatiques réunissant les fonctions de base de données et d'outil de calcul, permettant de faire des ACV. Après consultation de documents et une prise de contact avec différentes équipes faisant des ACV des systèmes agricoles, le logiciel SimaPro a été retenu. Lors de ce choix, une des principales questions était : valait-il mieux acheter un logiciel disponible dans le commerce (comme SimaPro) ou bien plutôt se construire soi-même un outil en partant d'un tableur ou d'une base de données ? L'unique équipe française mettant en œuvre l'ACV dans le domaine agricole à cette époque (B. Gabrielle, G. Gosse et B. Leviel à Grignon) était d'avis qu'il fallait se construire soi-même son outil, pour un maximum de flexibilité. J'avais cependant opté pour un logiciel « du commerce », entre autres parce que je ne suis pas un féru d'informatique et de gestion de données.

Le projet *ACV des aliments pour porc* a ainsi servi un objectif technique : la mise en œuvre d'une première étude ACV, et l'apprentissage de l'utilisation d'un outil informatique dédié à l'ACV. Il s'est avéré que ce projet avait également un intérêt sur le plan scientifique, parce qu'il a comblé un manque : pour la plupart des intrants des systèmes agricoles comme les engrais, les machines agricoles ou les pesticides, les impacts avaient déjà été bien documentés, tandis que pour les aliments concentrés quasiment rien n'avait été publié. L'article issu de ce projet (van der Werf et al., 2005) a été le premier d'une série de travaux visant à combler cette lacune.

Production porcine et problèmes environnementaux

Pour nos travaux concernant l'évaluation environnementale de la production porcine, nous avions voulu mettre en place une procédure transparente concernant le choix des objectifs environnementaux qui seraient pris en compte, ainsi que pour la pondération de ces objectifs. Pour ne pas baser ces choix sur nos seules « compétences de scientifiques », nous (Jean Petit et moi-même) avions interrogé différents groupes d'acteurs concernés par la production porcine à travers une enquête. Sept groupes d'acteurs avaient été identifiés, allant des *éleveurs de porc* aux *militants écologistes* en passant par les *consommateurs* et les *scientifiques*. Les questions posées avaient pour objectif de savoir quels problèmes environnementaux il faudrait prendre en compte dans une évaluation des impacts de la production porcine, et quelle serait leur importance relative.

Il s'est avéré qu'il y avait peu de différences entre les groupes d'acteurs en ce qui concerne l'identification et l'importance relative des différents problèmes environnementaux. Les *odeurs désagréables* et la *qualité de l'eau* étaient considérés comme les problèmes les plus importants, suivis par la *pollution des sols*, la *raréfaction des ressources naturelles* et la *qualité du paysage*. Des problèmes comme le *changement climatique*, le *bien-être animal* et la *biodiversité* étaient considérés comme peu importants (Petit et van der Werf, 2003).

Ce travail a été novateur, parce qu'il a constitué un pas vers une « évaluation environnementale participative », où les choix cruciaux co-déterminant les résultats de l'analyse sont basés non seulement sur les avis de la communauté scientifique, mais également sur la perception des différents acteurs concernés. Les résultats de ce travail ont été très utiles lors de l'évaluation environnementale des différents modes de production de porc dans le cadre de la thèse de Claudine Basset-Mens.

4.2 Sources d'incertitude

Les moyens obtenus dans le cadre du programme Porcherie Verte ont permis de financer la thèse de Claudine Basset-Mens (2002-2005) *Propositions pour une adaptation de l'analyse du cycle de vie aux systèmes agricoles. Mise en œuvre pour l'évaluation environnementale de la production porcine*. Cette thèse a traité entre autres la question de la fiabilité des résultats des ACV appliquées aux productions agricoles. La production porcine a été le cas d'étude. Construite autour du fil conducteur de l'incertitude des résultats, celle-ci a eu pour objet de rechercher et hiérarchiser les sources d'incertitude, afin de contribuer à leur réduction.

Cette réduction de l'incertitude peut être atteinte par une meilleure prise en compte de la variabilité des systèmes anthropiques et environnementaux. A cette fin, des références ont été produites sur la performance environnementale et son incertitude (à l'aide de scénarios) pour trois modes de production de porc contrastés, répondant respectivement aux cahiers des charges de la production conventionnelle raisonnée, du label rouge fermier d'Argoat et de l'agriculture biologique (Basset-Mens et van der Werf, 2005). Le scénario label rouge est apparu comme une alternative intéressante au scénario conventionnel. Pour chaque scénario, des points faibles ont été mis en évidence, ainsi que d'importantes marges d'amélioration.

L'incertitude liée aux modèles d'évaluation des impacts a été étudiée en analysant dans un premier temps les concepts sous-jacents et modèles employés en ACV pour les catégories d'impact affectant les écosystèmes (eutrophisation, changement climatique, toxicité terrestre, acidification). Dans un second temps, une analyse des sources de variabilité principales pour la catégorie eutrophisation aquatique, impact prépondérant pour les systèmes de production agricoles, a permis de proposer un cadre d'amélioration pour son évaluation. La mise en œuvre de ces propositions pour l'étape du devenir du nitrate dans les bassins versants à travers l'utilisation d'un modèle de simulation hydrologique a confirmé l'existence d'une importante marge d'amélioration pour évaluer l'eutrophisation aquatique (Basset-Mens et al., 2006a). Des progrès méthodologiques significatifs ont été accomplis concernant l'établissement d'inventaires d'émissions pour les systèmes porcins (Basset-Mens et al, 2007).

A l'échelle courante de mise en œuvre de l'ACV, c'est à dire pour des systèmes de production à une échelle région/pays, la hiérarchisation des sources d'incertitude a permis d'identifier comme source principale d'incertitude, celle liée aux modèles d'évaluation des impacts (Basset-Mens et al., 2006b). Pour produire une ACV comparative pertinente d'exploitations réelles, la connaissance et la modélisation des émissions directes sur le site d'exploitation, tenant compte des pratiques et du milieu, devront être profondément améliorées.

La thèse de Claudine Basset a permis de progresser autant sur le plan du développement de la méthode, que concernant l'application de celle-ci. Sur le plan méthodologique, les travaux nous ont permis d'échanger avec des équipes à l'étranger (Suisse, Danemark, Royaume Unie) travaillant en analyse environnementale (Halberg et al., 2005, van der Werf et al., 2007).

4.3 Indicateur Utilisation de la Productivité Primaire Nette

L'arrivée en 1999 de Jean Petit a renforcé les travaux dédiés à l'évaluation des systèmes de production, notamment animale, dont le programme *Porcherie Verte* était un premier exemple. Les compétences de Jean Petit en systèmes de production aquacoles et le souhait d'aborder un deuxième champ d'application pour les approches d'évaluation environnementale, nous ont amenés à monter un projet postdoc sur l'adaptation et l'application de l'ACV aux systèmes de production piscicoles. Elias Papatryphon a été financé pendant deux ans par le département *Hydrologie et Faune Sauvage*[3] de l'INRA.

Ce projet a commencé par une ACV du principal intrant : l'aliment concentré (Papatryphon et al., 2004). Une analyse environnementale du système de production « truite » permet de découvrir assez rapidement que ce système se distingue du système « porc », non-seulement par le fait que les poissons se trouvent dans l'eau et non pas sur terre, mais aussi par l'aliment utilisé, qui est composé de farine et d'huile de poisson, plutôt que de produits d'origine végétale. Cette spécificité a pour conséquence que la quantité de protéines et de matières grasses animales entrant dans un élevage de truites est nettement supérieure à la quantité sortante de protéines et matières grasses. Ainsi on peut, d'une certaine façon, considérer un élevage de truite comme un système de destruction de « valeur alimentaire d'origine animale ».

Afin d'appréhender ce problème, nous avons entrepris un travail méthodologique : la création d'une nouvelle catégorie d'impact *Utilisation de la productivité primaire nette*. La prise en compte de celle-ci a permis, entre autres, de bien cerner l'intérêt environnemental de l'utilisation d'aliments concentrés dont une partie voire la totalité des ingrédients à base de poisson a été remplacée par des ingrédients d'origine végétale (Papatryphon et al., 2004).

Afin de mieux estimer les émissions des élevages de truite, un modèle nutritionnel (Cho and Kaushik, 1990) a été adapté au contexte des élevages de truite en France, et validé avec des données mesurées. Ce modèle a ensuite servi au calcul des émissions pour établir l'inventaire des émissions, qui permet ensuite de calculer les indicateurs ACV. Ce modèle a également été proposé comme outil de gestion environnementale dans le contexte réglementaire français (Papatryphon et al., 2005). Ainsi, ce projet a non seulement permis des avancées significatives sur le plan de la méthode et de la mise en œuvre de l'analyse environnementale des systèmes piscicoles, mais il a également contribué à faire avancer le débat sur l'évaluation dans le contexte réglementaire.

4.4 Les aliments pour animaux, suite

Au fil des années plusieurs travaux en collaboration ont été consacrés à l'analyse approfondie de la contribution des aliments pour animaux aux impacts des systèmes d'élevage. L'analyse d'une étude expérimentale sur l'effet de trois rations contrastées sur les émissions de méthane entérique de taurillons a révélé qu'une ration riche en maïs grain qui permet de réduire le méthane entérique induit des émissions plus fortes de N_2O et CO_2 (Doreau et al., 2011) et contribue plus à l'eutrophisation (Nguyen et al., 2012). Une étude visant à formuler des aliments pour volaille à faible impact a révélé qu'il est possible de réduire les impacts eutrophisation et changement climatique de ces aliments de 8 et 12% respectivement (Nguyen et al, 2011). L'utilisation d'acides aminés de synthèse permet également de réduire les teneurs en azote et les impacts des aliments pour porcs et volaille (Mosnier et al., 2011), ainsi que les impacts des animaux (Garcia-Launay et al., 2014). L'importance de cette réduction dépend cependant des impacts des autres matières premières constituant ces aliments. L'utilisation de matières premières d'origine végétale dans des aliments pour salmonidés en remplacement de farine et d'huile de poisson permet de réduire fortement l'utilisation de ressources halieutiques pour la production de salmonidés (Boissy et al., 2011).

[3] Par la suite ce département a été absorbée dans le département Physiologie Animale et Systèmes d'Elevage (PHASE).

5 Analyse au niveau du territoire

L'objet d'étude des projets « porc » et « truite » se situe au niveau de l'atelier de production et des filières associées. J'ai voulu changer d'échelle spatiale, pour aborder l'analyse environnementale au niveau de l'exploitation, mais surtout au niveau d'un ensemble d'exploitations ou d'un territoire. Pour faire cela, il faut prendre en compte les propriétés émergeantes à ce niveau, à travers, entre autres, les interactions entre les exploitations.

5.1 Revue bibliographique et méthodologie

Le postdoc de Sylvain Payraudeau (2003-2005) visait l'adaptation et la mise en œuvre de l'ACV à un ensemble d'exploitations. Comme il s'agissait d'aborder un sujet peu exploré jusqu'ici, nous avons choisi une approche largement méthodologique, qui a débuté par une étude bibliographique des méthodes utilisées pour l'évaluation environnementale au niveau d'un territoire agricole. Les conclusions de cette revue ont confirmé en partie celles de la revue bibliographique concernant les méthodes d'évaluation environnementale au niveau de l'exploitation (van der Werf et Petit, 2002), cependant, en plus des exigences déjà formulées, les méthodes appliquées au niveau du territoire doivent également (Payraudeau et van der Werf, 2005) :

- Quantifier l'incertitude des résultats (ce point s'applique évidemment aussi aux méthodes au niveau de l'exploitation, mais n'avait pas été mis en avant),
- Proposer des procédures permettant l'extrapolation d'indicateurs développés au niveau de l'exploitation vers le niveau supra-exploitation,
- Prendre en compte les interactions entre exploitations, plutôt que de se contenter d'une simple sommation des évaluations des exploitations du territoire.

Une évaluation environnementale au niveau de l'exploitation se base, le plus souvent, sur une analyse des processus au niveau des éléments constituant l'exploitation (parcelles, bâtiments, troupeau). Pour être pratiquement faisable, une approche d'évaluation au niveau supra-exploitation devra se baser sur une représentation moins détaillée, au niveau de l'ensemble de l'exploitation. Ainsi la première étape du travail a consisté à développer une méthodologie pour faire l'inventaire des émissions de polluants notamment azotés au niveau de l'exploitation, sans avoir à rentrer trop dans le détail des processus au niveau des parcelles et des bâtiments individuels. Nous nous sommes basés sur l'approche du bilan apparent de l'azote au niveau de l'exploitation. L'excédent de ce bilan, après déduction des pertes gazeuses estimées et la prise en compte des apports atmosphériques, est utilisé comme indicateur de la quantité d'azote potentiellement lessivable. La faisabilité de cette approche a été démontrée et validée globalement (Payraudeau et al., 2006).

Une approche Monte Carlo a permis de quantifier l'incertitude des flux azotés. Au niveau de l'ensemble des 24 exploitations analysées, l'incertitude était modeste. Au niveau des exploitations individuelles l'incertitude sur les flux de substances azotées était plus importante, notamment pour les exploitations pour lesquelles la fixation symbiotique de l'azote ou les importations de lisier étaient importantes (Payraudeau et al., 2007). La réduction de l'incertitude liée aux termes du bilan apparent passait notamment par une meilleure quantification des masses et teneurs en azote des produits échangés. L'incertitude portant sur la fixation symbiotique de l'azote semblait plus difficile à réduire lors de la phase d'enquête en exploitation.

Pour les paramètres induisant le plus de sensibilité sur les résultats, la réduction de l'incertitude passe par un travail expérimental d'acquisition de références. Une part importante de l'incertitude associée à ces paramètres d'émissions était en effet liée à l'utilisation de références trop globales (1) du point de vue spatial, comme l'utilisation d'une même référence pour l'ensemble d'un pays voire d'un continent ou (2) du point de vue temporel, comme l'utilisation d'une référence qui ne distingue pas la saisonnalité des processus.

5.2 Développement d'EDEN, un outil exploitation

Le travail de Claver Kanyarushoki (2003-2006) s'est effectué dans le cadre du Groupement d'Intérêt Scientifique (GIS) Agrotransfert Bretagne. Ce GIS était porté par les Chambres d'Agriculture de Bretagne et par l'INRA, et avait pour objectif la valorisation des acquis de la recherche concernant les relations entre l'agriculture et l'environnement. Le projet « Evaluation de la durabilité » a mis au point EDEN, un outil informatique pour l'analyse environnementale par ACV au niveau d'une exploitation agricole (van der Werf et al., 2009).

EDEN représentait une importante étape dans la conception d'un outil valide et convivial pour l'analyse environnementale de systèmes de production agricoles. Il distingue les impacts directs (sur la ferme) des impacts indirects (associés aux intrants), ce qui aide à identifier des stratégies d'amélioration pour la ferme et permet l'utilisation de facteurs de caractérisation spécifiques au site, en particulier pour des interventions environnementales directes contribuant aux impacts régionaux tels que l'eutrophisation. EDEN peut être utilisé pour évaluer un grand nombre de fermes à un coût raisonnable et constitue un outil précieux pour l'exploration de la variabilité inter-ferme des impacts environnementaux.

Le grand défi a été de simplifier l'approche, afin que le temps de collecte de données au niveau de l'exploitation ne dépasse pas une demi-journée. Cet outil était à l'origine destiné aux conseillers en entreprise, pour qu'ils puissent faire un diagnostic au niveau de l'exploitation, afin de proposer à l'agriculteur des voies d'amélioration de son système, en faveur de la durabilité environnementale. Dans la pratique l'outil s'est avéré n'être pas assez facile à utiliser pour le conseil agricole ; il a par contre été utilisé par des chercheurs, demandeurs d'un outil ACV relativement simple au niveau de l'exploitation.

5.3 Interactions entre exploitations

Le projet Postdoc de Santiago Lopez-Ridaura (2005-2007) a permis d'aborder l'analyse environnementale des interactions entre exploitations au sein d'un territoire. Nous avons analysé l'intérêt environnemental de deux scénarios de gestion de lisier excédentaire dans une Zone en Excédent Structurel (ZES) d'engrais organique. Le *Transfert* du lisier excédentaire vers une partie du territoire qui n'est pas en ZES, pour une utilisation comme fertilisant, a été comparé par ACV à la gestion par *Traitement biologique* permettant l'élimination de la plus grande partie de l'azote du lisier. Quatre indicateurs d'impact environnemental ont été calculés : l'eutrophisation, l'acidification, le changement climatique et l'utilisation d'énergie non-renouvelable. (Lopez-Ridaura et al., 2009).

Le *Transfert* des effluents hors ZES s'avère être le mode de gestion du lisier présentant le moins d'impacts sur l'environnement. Pour trois impacts (eutrophisation, acidification et consommation d'énergie), sa performance environnementale était supérieure à celle du *Traitement*, pour l'impact changement climatique, les scénarios ne différaient pas. D'autre part, quel que fut le mode de gestion du lisier, les émissions d'ammoniac étaient les principales responsables des impacts eutrophisation et acidification. Cependant, par tonne de lisier deux fois plus d'ammoniac était émis lors du *Traitement* que lors du *Transfert*. L'utilisation d'énergie non-renouvelable dans les deux scénarios était très contrastée et en faveur du scénario *Transfert*. L'utilisation globale d'énergie était négative en cas de *Transfert*. Le lisier était en effet utilisé à la place de l'engrais minéral et l'énergie économisée pour la fabrication et le transport de l'engrais minéral était supérieure à celle utilisée pour le transport et l'injection de lisier.

Cette étude a démontré l'intérêt d'une prise en compte des interactions entre exploitations agricoles au niveau d'un territoire. La considération d'une demande potentielle d'engrais organique au sein d'un territoire abritant différents types d'exploitations – ici exploitations porcines productrices de lisier et exploitations laitières capable de remplacer des engrais minéraux par du lisier – permet de valoriser les complémentarités entre types d'exploitations.

5.4 Intégration au niveau du territoire

Dans sa forme actuelle, l'ACV ne permet pas de juger si les valeurs des impacts environnementaux sont compatibles avec le développement durable. La thèse d'Ivonne Acosta-Alba (2007-2010) *Quelles valeurs de référence pour l'analyse de la durabilité environnementale des systèmes de production animale ? Méthode de détermination et application aux exploitations laitières de Bretagne* a été financée par l'Agence de l'Environnement et de la Maitrise de l'Energie (ADEME) et le projet ANR (Agence Nationale de la Recherche) *Systèmes de Production Animale et Développement Durable* (SPADD). Cette thèse avait comme objectif l'élaboration et la mise en œuvre d'une méthode pour l'établissement de valeurs *seuils* ou *de référence*, qui défissent pour chaque indicateur d'impact une valeur à ne pas dépasser, jugée compatible avec le développement durable. Une revue bibliographie des méthodes d'analyse environnementale existantes a permis d'élaborer une typologie des valeurs de référence et de formuler des recommandations pour l'utilisation des valeurs de référence dans les méthodes d'analyse environnementale (Acosta-Alba et van der Werf, 2011).

L'outil EDEN a été utilisé pour mettre en œuvre le concept de valeur de référence pour un groupe de 45 fermes lait-cultures (Acosta-Alba et al., 2012a). L'analyse comparative des exploitations vis-à-vis des valeurs de référence a permis de déceler des caractéristiques d'exploitations qui ont un faible impact sur l'environnement. Cependant, même ces exploitations n'atteignent pas les objectifs environnementaux visés. Pour explorer la possibilité de respecter les valeurs de référence les plus strictes au niveau d'un territoire, une typologie environnementale des fermes lait-cultures a été créée et les effets de la distribution des types de systèmes laitiers et de l'introduction de nouveaux usages des terres ont été simulés par programmation linéaire. Cette approche a permis de conclure qu'une évolution profonde des systèmes de production actuels et du tissu agricole doit être envisagée afin de satisfaire globalement les objectifs environnementaux (Acosta-Alba et al., 2012b).

6 L'extension du périmètre du système

Le chapitre 3 a présenté les travaux concernant l'atelier de production animale et les filières associées ; le chapitre 4 a abordé les études au niveau d'un ensemble d'exploitations ou d'un territoire. Dans le présent chapitre seront abordés les travaux les plus récents, où *l'extension du périmètre du système* sera le mot clé. Notamment à travers : la considération des changements d'utilisation des terres, la considération de stades du cycle de vie au-delà de la production agricole, et l'ACV conséquentielle.

Le terme *conséquentielle* nécessite une explication. L'ACV classique ou *attributionnelle* (ACVA) permet de comparer les impacts environnementaux de systèmes de production en se basant sur les flux physiques (ressources, matières, énergie, émissions) de ces systèmes. L'ACVA utilise typiquement des données moyennes pour les processus constituant le cycle de vie. L'ACV conséquentielle (ACVC) est un développement méthodologique plus récent, qui vise à étudier les impacts environnementaux du changement d'un système de production. Plutôt que de comparer les systèmes A et B de façon descriptive, c'est la transformation d'A en B qui est étudiée à travers l'analyse des changements des flux physiques. L'ACVC utilise des données ou des modèles économiques pour identifier les conséquences induites par le changement de système tels que par exemple les changements d'affectation des terres, comme la déforestation ou le reboisement.

6.1 Le Brésil : poulet, soja et déforestation

La thèse de Vamilson Prudencio da Silva (2007-2011) *Effect of intensity and scale of production on environmental impacts of poultry meat production chains* a été financée par un projet ANR intitulé *Filières Avicoles en France et au Brésil : impacts sur le développement durable des bassins de production et des territoires* (AVITER) et une bourse fédérale du Brésil. Cette thèse avait comme objectif l'analyse environnementale des filières brésiliennes et françaises d'élevage de volailles. Pour les deux filières, le soja du Brésil est un intrant majeur qui contribue de façon importante aux impacts du poulet sortant. Vamilson a passé une année de sa thèse en France et les autres années au Brésil. Cet ancrage au Brésil a permis une exploration détaillée de la variabilité des pratiques des agriculteurs et impacts environnementaux du soja brésilien. Nous avons mis en évidence des différences régionales quant aux pratiques de production, notamment entre le Centre-West du Brésil, où le soja contribue à la déforestation et le Sud du Brésil, où ce n'est pas le cas (Prudêncio da Silva et al., 2010). Par conséquent les impacts du soja du Centre-West sont plus élevés que ceux du soja du Sud.

Cette thèse a été pour moi une des premières études qui allait au-delà de la production agricole, car nous avons comparé les impacts de poulets français et brésiliens à la sortie de l'abattoir (Prudêncio da Silva et al., 2014).

6.2 Les bovins : oméga-3, reboisement et ACV conséquentielle

La thèse CIFRE (Conventions Industrielles de Formation par la Recherche) de Hanh Nguyen (2010-2012) *Etude des impacts environnementaux liés à l'enrichissement des rations du ruminant en matières premières riches en oméga 3* avec l'INRA de Theix et l'entreprise Valorex a porté sur l'étude des impacts environnementaux de systèmes de production bovins. Le premier objectif était d'analyser et de comparer les impacts environnementaux de systèmes de production de viande et de lait par ACV attributionnelle. Les effets de pratiques d'atténuation de ces impacts ont été évalués pour les systèmes de production de viande. Le second objectif était un développement méthodologique afin d'explorer les conséquences possibles d'une préférence accrue pour un lait produit à base d'herbe, par ACV conséquentielle.

Dans un système de production de viande par un troupeau allaitant (Nguyen et al., 2012), le méthane entérique a été identifié comme le principal contributeur à l'impact changement climatique, et la production de l'herbe a été la principale contributrice aux autres impacts (demande énergétique cumulée, eutrophisation, acidification, occupation des terres). L'atelier naisseur (vaches allaitantes et

leurs veaux, génisses) a contribué de manière majeure aux impacts du système allaitant dans son ensemble.

La pratique d'atténuation la plus efficace pour le système a été la diminution de l'âge au vêlage de 3 à 2 ans. L'enrichissement du régime en lipides riches en acides gras oméga-3 a très peu affecté les impacts du système. L'application simultanée de plusieurs pratiques d'atténuation compatibles entre elles réduit sensiblement les impacts. L'application de pratiques telles que la réduction du gaspillage d'herbe, l'engraissement des génisses non utilisées pour le renouvellement et la diminution de l'âge au vêlage augmentent la production par ha de terre occupé. Un usage alternatif des terres ainsi libérées tel que le reboisement, pour séquestrer du carbone dans la biomasse semble prometteur, car, en combinaison avec des pratiques favorisant l'efficience du système de production, il permet une réduction de l'impact changement climatique de près de 50% (Nguyen et al., 2013a).

L'étude de systèmes de production de lait a été centrée sur les comparaisons de systèmes à base d'herbe ou d'ensilage de maïs, d'une race spécialisée (Holstein) ou mixte (Normande) et sur l'effet du niveau de production laitière par ACV attributionnelle (Nguyen et al., 2013b). Quelle que soit la méthode d'attribution des impacts aux co-produits, les impacts par kg de lait ont été plus faibles pour les systèmes à base d'ensilage de maïs que pour les systèmes à base d'herbe, sauf pour l'eutrophisation. De même, le système Holstein à base d'herbe avait moins d'impact que le système Normande à base d'herbe. L'accroissement de la production de lait par vache grâce à une consommation d'énergie accrue et au vêlage à 2 ans a permis de réduire les impacts du lait et de son co-produit viande.

Les conséquences de la conversion d'une exploitation laitière utilisant beaucoup de maïs ensilage vers une exploitation utilisant de l'herbe comme unique source de fourrage pour répondre à une demande de lait produit à base d'herbe en France ont été évaluées par ACV conséquentielle (Nguyen et al., 2013c). Cette conversion entraîne des changements notables de l'utilisation des terres en dehors de l'exploitation, et de ce fait un fort accroissement des impacts du système dans son ensemble et du lait produit. Ainsi les approches attributionnelle et conséquentielle convergent : l'effet bénéfique souvent prôné d'un *retour à l'herbe* a été mis en doute.

6.3 Combiner ACV et modèles de simulation

La thèse de Thibault Salou (2013-2016) *Combiner Analyse du Cycle de Vie et modèles économiques pour l'évaluation ex-ante de systèmes de production agricoles* est financée par l'ADEME et les départements *Environnement et Agronomie* (EA) et *Sciences sociales, Agriculture et Alimentation, Espace et Environnement* (SAE2) de l'INRA et introduit un couplage ACV-modèle économique afin de mieux estimer les conséquences de changements de systèmes par ACV conséquentielle. L'objectif de cette thèse est d'évaluer *ex-ante* des changements de systèmes de production bovins lait, en réponse à une modification de politique publique, comme l'abandon des quotas laitiers suite à la réforme de la Politique Agricole Commune. Ce travail permettra l'identification de systèmes à haute performance environnementale dans un environnement économique donné. L'application est réalisée pour la France et, si possible, élargie à l'UE.

Dans un premier temps, le travail consiste à mettre au point une méthodologie d'évaluation *ex-ante* des systèmes de production. Pour ce faire, l'ACV attributionnelle permet de caractériser et de comparer les systèmes au travers de leurs impacts environnementaux et de leur potentiel de production alimentaire (Salou et al., 2016). Puis, l'ACV conséquentielle, s'appuyant sur MATSIM-LUCA[4], permettra d'estimer les conséquences de la libération des quotas laitiers sur les impacts environnementaux de la production laitière dans différents contextes de demande. Outre les conséquences sur les marchés et les prix, l'accent sera mis sur l'impact des changements en termes de changement d'affectation des terres et d'intensification. Dans un second temps, des scénarios alternatifs au scénario tendanciel seront testés, par exemple, le développement massif de systèmes de production de lait à l'herbe lié à la mise en place de politiques incitatives.

Lors de son postdoc (2013-2015) financé par une bourse du département EA de l'INRA complémentée par une bourse Agreenskills, Wenjie Liao a utilisé le modèle hydrologique TNT2

[4] MATSIM-LUCA est un modèle mondial de marchés et d'échanges agricoles développé à l'UMR SMART de l'INRA de Rennes.

développé à l'UMR SAS pour estimer les émissions de nitrate, ammoniac et protoxyde d'azote afin de comparer des scénarios d'occupation des terres pour un bassin versant agricole. Cette approche a été comparée à une approche classique utilisant des modèles d'émission simples et statiques pour ces polluants. L'utilisation du modèle hydrologique permet de mieux prendre en compte les effets des pratiques des agriculteurs, des conditions pédoclimatiques et des processus hydrologiques sur les émissions des substances azotées et leurs impacts environnementaux (Liao et al., 2015). Ce projet constitue un premier pas vers des couplages entre les plateformes MEANS (analyse multicritère de la durabilité) et RECORD (modélisation et simulation des agro-ecosystèmes).

6.4 De la ferme à la fourchette

Le projet ANR *Evaluation nutritionnelle, environnementale et socioéconomique de plusieurs menus vers une évolution durable des pratiques agricoles et des recommandations nutritionnelles* (AGRALID) a financé les contrats de Franck Pernollet (2013-2015) et Carla Coelho (2015-2016). Le projet AGRALID a pour objectif de faire l'évaluation nutritionnelle, environnementale et socioéconomique de plusieurs menus alimentaires afin de définir les meilleures stratégies alimentaires qui concilient la santé humaine, l'acceptabilité socio-économique et les impacts environnementaux de la production alimentaire. Le projet est centré sur le consommateur, dont les habitudes alimentaires sont difficilement modifiables. Dans le cadre de ce projet, le système s'étend de la production agricole jusqu'à la consommation alimentaire dans les ménages. Ce projet nécessite une importante collecte de données concernant le transport, la transformation, la distribution et la consommation des produits alimentaires, y compris les pertes et gaspillages le long du cycle de vie. L'identification de pistes pour réduire les impacts du système agro-alimentaire est l'un de ses objectifs clé.

7 Développement de l'analyse environnementale

Dans les chapitres 3, 4 et 5 j'ai présenté mes principaux travaux scientifiques depuis l'an 2000 à l'UMR SAS. Dans ce chapitre, je présente mes activités d'animation de la recherche et le volet d'ingénierie de mes activités. Le développement de l'analyse environnementale au sein de l'UMR SAS sur la période 2003 – 2015 a d'abord été le fait de quelques personnes ; au fil des années le nombre de personnes travaillant sur cette thématique a augmenté. Actuellement (début 2015) une quinzaine personnes (permanents et non-permanents) travaillent sur la thématique. De ce fait les activités décrites ci-dessous ont été le résultat d'un véritable travail d'équipe.

7.1 D'abord publier

En 2000, lorsque j'ai « découvert » le cadre conceptuel de l'ACV et soupçonné son potentiel pour l'évaluation environnementale des systèmes agricoles, le développement de cette thématique a été considéré d'un œil bienveillant au sein de l'UMR SAS. Par contre, au niveau du département EA de l'INRA, qui était l'unique tutelle de l'UMR SAS à cette époque, les démarches d'évaluation environnementale par indicateurs étaient observées avec un regard plus critique. Par rapport à la modélisation biophysique au niveau plante, animal ou parcelle, les démarches d'évaluation environnementale étaient perçues comme des activités plus techniques que scientifiques. Pendant la période 2000-2005 j'ai considéré que pour pouvoir développer cette thématique au sein de l'INRA, il était crucial de démontrer que l'analyse environnementale des systèmes agricoles par des méthodes issues du champ de l'écologie industrielle tels que l'ACV constituait une véritable démarche scientifique, devant être « équipée » par des outils (base de données, modèles, outils de calcul). Ma priorité a été de conduire des travaux méthodologiques et appliqués en analyse environnementale et de les publier dans les revues à comité de lecture, telles qu'*Agricultural Systems* et *Agriculture, Ecosystems & Environment*.

7.2 Contribuer au développement d'outils

L'ACV intègre les impacts *directs* des systèmes étudiés (émissions à la parcelle et au bâtiment) aux impacts *indirects* associés aux intrants (engrais, tracteurs, aliments concentrés) de ces systèmes. De ce fait sa mise en œuvre nécessite des modèles et outils de calcul ainsi que des bases de données de référence sur les émissions de polluants et les utilisations de ressources associées aux intrants. Dans le jargon ACV ce sont des bases de données d'*Inventaire de Cycle de Vie* (ICV). Ainsi, j'ai initié au sein de l'UMR SAS un travail d'acquisition, de construction et de développement d'outils de calcul et de bases de données ICV, nécessaires aux études ACV des systèmes agricoles. Ces outils et bases de données ont été enrichis au fil des années par l'ensemble des personnes utilisant les méthodes ACV à l'UMR SAS. La base de données ICV interne de l'UMR SAS contient actuellement quelques milliers de processus.

En 2004 le département EA de l'INRA a souhaité engager une réflexion sur la question des méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des pratiques agricoles afin, entre autres, d'insérer ces questions dans son nouveau schéma stratégique. Un groupe de travail de huit personnes sous la présidence d'Alain Capillon a été constitué pour explorer cette question. J'ai participé à ce groupe de travail, qui a produit un rapport (Capillon et al., 2005) contenant des recommandations en matière de recherche sur l'analyse environnementale au sein du département EA. Cette demande a reflété une prise de conscience de l'intérêt scientifique des démarches d'analyse environnementale au niveau du département EA.

En septembre 2010 les chefs de départements EA, PHASE, SPE (Santé des Plantes et Environnement) et SAD (Sciences pour l'Action et le Développement) ont confié une mission à six scientifiques de l'INRA : *Evaluer la faisabilité et définir les missions possibles d'une future plateforme d'appui à la mise en œuvre des méthodes ACV*. La coordination de cette mission m'a été confiée. Un premier rapport a été produit en janvier 2011, un deuxième en juin 2011 (van der Werf et al., 2011a,

2011b). Suite à ces travaux, la plateforme d'analyse multicritère de la durabilité MEANS (MulticritEria AssessmeNt of Sustainability) a été créée début 2012 avec le soutien des départements CEPIA (Caractérisation et Elaboration de Produits Issus de l'Agriculture), EA, MIA (Mathématiques et Informatique Appliquée), PHASE, SAD, SAE2 et SPE de l'INRA. MEANS est hébergé à l'UMR SAS, sa principale mission est de développer et mettre à disposition des outils de calcul et des bases de données aux ingénieurs et scientifiques de l'INRA, pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes de production animale, végétale et de transformation des produits agricoles. Les outils de calcul et les bases de données ACV de l'UMR SAS constituent un socle pour MEANS. L'équipe opérationnelle de MEANS est constituée de quatre ingénieurs (3,5 équivalents temps plein). La plateforme a été ouverte aux utilisateurs en novembre 2014. Wenjie Liao, postdoc Agreenskills, (2013-2015) est venu renforcer MEANS pendant deux ans pour développer des liens entre MEANS et la plateforme de modélisation biotechnique RECORD, afin d'explorer l'intérêt du couplage entre l'ACV et les modèles biotechniques.

7.3 AGRIBALYSE : création d'une base de données

Suite au Grenelle de l'Environnement, a été proposée la mise en place d'un affichage environnemental des produits de consommation, dont les produits alimentaires. A la demande de l'ADEME le programme AGRIBALYSE (2010-2013) a été lancé avec l'objectif de créer une base de données ICV publique des produits agricoles, nécessaire à la mise en place d'un affichage environnemental des produits alimentaires. J'ai fortement contribué à la construction de ce programme, en impliquant entre autres les collègues Suisses d'Agroscope (Zürich), qui ont une forte compétence en ACV et en construction de bases de données. Le programme était co-dirigé par INRA et Agroscope, en collaboration avec le CIRAD (Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), l'ACTA (Association de Coordination Technique Agricole) et onze Instituts Techniques. Coté INRA le programme a été porté par Yannick Biard (2010) et Thibault Salou (2011-2013). Ce travail a produit non seulement une base de données ICV publique et gratuite (Colomb et al., 2014), mais également une méthodologie consensuelle pour la création de données d'ICV des produits agricoles français (Koch et Salou, 2014). Le programme s'est terminé en juin 2013. Le programme AGRIBALYSE 2 a démarré en 2014, la priorité est actuellement donnée à la production de nouveaux ICV pour des catégories de produits non analysées jusqu'à présent (ex: poissons issus de la pêche), et à l'amélioration des méthodes de calculs des ICV. Dans le cadre d'AGRIBALYSE 2 l'INRA et l'ADEME ont signé une convention (2014-2016) sur l'adaptation d'un outil de calcul développé dans le cadre de la plateforme MEANS aux besoins d'AGRIBALYSE 2.

7.4 Conférence internationale LCA-Food 2012 à Saint-Malo

Depuis 2000 la thématique de l'analyse environnementale s'est fortement développée au sein de l'UMR SAS. Actuellement, une quinzaine de personnes s'y consacrent. Ce groupe compte parmi les plus importants au niveau Européen et mondial à se consacrer à l'analyse environnementale des systèmes agricoles. Ce constat m'a poussé à vouloir organiser la huitième Conférence Internationale LCA Food en octobre 2012. La sixième et septième édition de cette conférence avaient eu lieu respectivement en Suisse (2008, 160 participants) et en Italie (2010, 272 participants). LCA Food 2012 a été l'évènement scientifique majeur sur l'ACV dans le secteur agro-alimentaire en 2012, en rassemblant 436 participants de 36 pays : des chercheurs, universitaires, professionnels du monde agricole et de l'industrie agro-alimentaire (van der Werf et al., 2013). Le colloque s'est déroulé sur 3 jours, 121 communications orales et 183 posters ont été présentés. Un *Book of Abstracts* (Corson et van der Werf, 2012a) et des *Proceedings* (Corson et van der Werf, 2012b) ont été produits. Un *Special Volume* du *Journal of Cleaner Production* réunissant 34 articles basés sur les meilleures interventions orales de la conférence est paru en juin 2014 (van der Werf et al., 2014). J'ai coordonné le groupe de cinq *Guest Editors* qui s'est mobilisé pour réaliser ce *Special Volume*.

8 Sécurité alimentaire durable : faire *ce qu'on peut* ou faire *ce qu'il faut* ?

Ce chapitre dresse d'une part le paysage des grandes questions environnementales et d'autre part des réponses proposées par la recherche agronomique.

8.1 Limites environnementales

En 1972 le rapport du club de Rome *The limits to growth* (Meadows et al., 1972) - *Halte à la croissance* en français - a été un succès de librairie mondial. Ce livre est emblématique de cette époque, lorsque la question des impacts des activités humaines sur l'environnement émergeait dans le débat public. La première figure de ce livre (Figure 10) montre que l'être humain a tendance à moins se soucier des problèmes qui se poseront dans un avenir lointain et à une échelle mondiale que des problèmes concernant ses proches sur le court terme. Cela explique sans doute le faible niveau d'intérêt public pour les conséquences environnementales de nos actions, qui se manifestent moins localement et à court terme, que globalement et à l'échéance des prochaines générations.

Le message central de ce rapport, à savoir qu'il existe des limites à la croissance à ne pas dépasser afin d'éviter un effondrement de l'économie et de la population, est maintenant accepté dans les cercles scientifiques, et, à un moindre degré, au niveau des gouvernements. Ceci est une bonne nouvelle. La mauvaise nouvelle est que les résultats des modélisations du scénario de référence (*business as usual*) de ce rapport (qui s'étendent sur la période 1970–2100) correspondent étonnamment bien aux données historiques pour la période 1970-2010, et que l'humanité semble donc être sur une trajectoire qui mène à un effondrement vers 2030, conformément aux simulations de 1972 (Turner, 2012).

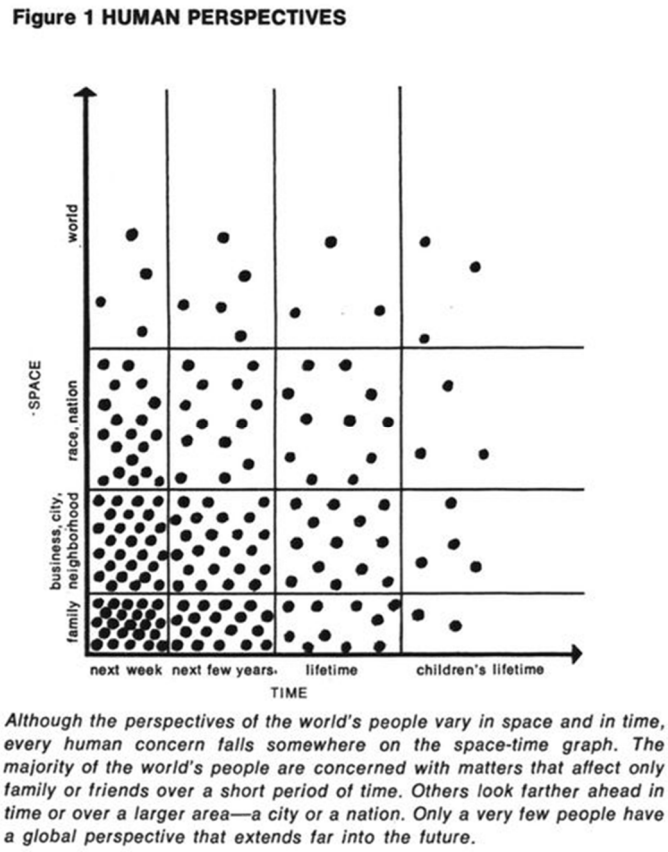

Figure 10. Figure du livre *The limits to growth* (Meadows et al., 1972).

De nombreuses études récentes confirment que le niveau actuel des impacts environnementaux met en péril la stabilité de l'écosystème global et par conséquent des sociétés humaines (Millenium Ecosystem Assessment, 2005 ; Rockström et al., 2009 ; Barnosky et al., 2012 ; IPCC, 2013 ; Steffen et al., 2015). Selon Rockström et al. (2009) et Steffen et al. (2015) les impacts *changement climatique, intégrité de la biosphère, flux biogéochimiques de N et P* et *utilisation des systèmes terrestres* ont largement dépassés les *limites planétaires* (*planetary boundaries* en anglais, c'est à dire les limites environnementales à ne pas dépasser au niveau de la planète) pour atteindre des niveaux où un risque de changements environnementaux abrupts existe. Au niveau global, les systèmes de production agricoles sont les premiers responsables pour la perte de biodiversité et les effets des émissions de N réactif dans l'environnement (Foley et al., 2011).

Ce constat de dépassement des limites planétaires fait au niveau global s'observe également à un niveau régional « plus près

de chez nous » comme, par exemple, en Bretagne. Ce type de dépassement de seuils pour les émissions de N réactif par les systèmes agricoles y est la règle plutôt que l'exception (Moreau et al., 2012). Une étude ACV comparant les impacts *changement climatique*, *qualité de l'eau* et *consommation d'énergie* de 45 exploitations laitières en Bretagne à des valeurs de référence qui tentent de définir des seuils critiques pour ces impacts (Acosta-Alba et al., 2011) constate que les valeurs de référence pour *changement climatique*, *qualité de l'eau* et *consommation d'énergie* sont dépassées par respectivement 84%, 76% et 87% des exploitations.

8.2 Intensification écologique, la solution miracle ?

Il est donc urgent de réduire les impacts environnementaux des systèmes agroalimentaires. Cependant, les prévisions indiquent qu'en 2050 il faudra 70% à 100% plus de produits agricoles qu'actuellement (Godfray et al., 2010). Certains auteurs posent la question s'il est souhaitable d'augmenter la production agricole d'autant (e.g. Tomlinson, 2013). Cette demande accrue résulte d'une part de la croissance démographique - la population humaine mondiale atteindra vraisemblablement environ 9 milliards de personnes en 2050 - et d'autre part de la croissance économique attendue. Cette dernière augmentera notamment la demande en produits animaux, qui ont des impacts importants et dont la production nécessite beaucoup de terres et autres ressources (énergie, eau). Pour atteindre une sécurité alimentaire durable (Godfray et al., 2010) l'agriculture mondiale est face à un défi extraordinaire : il faudra diminuer ses impacts, tout en faisant face à une demande en augmentation, et cela dans un contexte de changement climatique qui menace sa productivité (Foley et al., 2011 ; Bommarco et al., 2013).

Pour résoudre ce défi, le concept le plus en vogue actuellement est celui de l'*intensification écologique* (*ecological intensification*), voire de l'*intensification durable* (*sustainable intensification*). Ces termes désignent une intensification qui devrait permettre de produire plus par hectare tout en diminuant les impacts environnementaux (Cassman, 1999 ; Tilman et al., 2011 ; Garnett et al., 2013, Bommarco et al., 2013). En France c'est l'expression *intensification écologique* (IE) qui est le plus en vogue, j'utiliserai ce terme. Garnett et al. (2013) soulignent que la mise en œuvre concrète de l'IE doit tenir compte du contexte local : dans certains contextes il sera possible d'augmenter les rendements tout en réduisant les impacts, dans d'autres contextes la réduction des impacts ne pourra se faire qu'au prix d'un moindre rendement. Pour Garnett et al. l'IE doit aller de pair avec le respect du bien-être animal, une diversité alimentaire et le soutien de l'économie rurale et le développement durable.

Dans le contexte de l'IE une autre question fait débat ces dernières années : est-ce qu'il vaut mieux séparer les terres réservées à la nature de celles destinées à la production agricole, ou bien faut-il combiner les fonctions de production agricole et de protection de la biodiversité sur les mêmes terres ? Dans la bibliographie ces approches contrastées sont désignées respectivement sous les termes de *land sparing* et *land sharing* (Green et al., 2005; Phalan et al., 2011). A partir d'une analyse empirique Phalan et al. (2011) soutiennent que le land sparing serait plus favorable pour la préservation de la biodiversité que le land sharing. D'autres auteurs soulignent que cette préférence pour le land sparing ne prend pas en compte le fait qu'il n'y a pas forcément une corrélation négative entre rendement agricole et biodiversité, qu'une augmentation du rendement n'économise pas forcément des terres pour la nature, et que l'intensification tend à perturber les fonctions bénéfiques de la biodiversité (Tscharntke et al., 2012). Ainsi il n'existerait pas de réponse universelle à la question du land sharing versus land sparing, parce que les paysages diffèrent par leur biodiversité inhérente et les systèmes de production qu'elles peuvent supporter ainsi que pour le potentiel d'adoption de ces systèmes par les acteurs concernés (Tscharntke et al., 2012 ; Cunningham et al., 2013). Par conséquent le meilleur choix entre land sparing et land sharing serait une fonction du contexte local.

8.3 Points de vue sur la sécurité alimentaire durable

Le concept d'IE plaît, parce qu'il promet à la fois plus de production et moins d'impact et permettrait donc d'atteindre une sécurité alimentaire durable. Il est cependant à craindre que cette

proposition miraculeuse pourrait être trop belle pour être vraie. Elle repose sur une confiance dans le progrès technique qui permettra de toujours repousser les limites à la croissance.

Actuellement les limites planétaires sont largement dépassées pour plusieurs impacts environnementaux et de nombreux auteurs ont démontré que la croissance économique est étroitement associée à une croissance de l'utilisation de ressources et des émissions de polluants. Même si on peut constater une amélioration de l'éco-efficience, celle-ci suffira très difficilement pour compenser l'effet de la croissance économique (Jackson, 2009). Etant donné un contexte où pour la production agricole globale il risque d'être difficile de simultanément produire plus et impacter moins, il est opportun d'explorer les conséquences d'un scénario qui donne la priorité à la réduction des impacts par rapport à l'augmentation voire le maintien de la production. Dans cet optique l'article *Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation. What role for life cycle assessment?* de Garnett (2014) est intéressant, parce qu'il décrit trois points de vue contrastés concernant la solution pour atteindre une sécurité alimentaire durable.

Le point de vue *efficience* (efficiency) est basé sur l'hypothèse que la question de la sécurité alimentaire durable est un problème de l'offre. Il faut produire plus pour répondre à une demande alimentaire en augmentation. Des innovations techniques et de gestion nous permettront de répondre à cette demande, tout en réduisant les impacts environnementaux. Ce point de vue est actuellement dominant, et soutient de façon implicite un modèle économique basée sur la croissance économique, qui prend la demande des consommateurs comme point de départ. Il témoigne d'un optimisme que la technologie permettra de repousser les limites environnementales. La majorité des études ACV est basée sur ce point de vue, les impacts sont exprimés de façon relative (par unité produite ou consommée) plutôt que de façon absolue (par exemple par ha de terre occupé).

Le point de vue *limitation de la demande* (demand restraint) part du principe que le problème clé de la sécurité alimentaire durable se situe du côté de la demande des consommateurs et du système économique actuel, qui encourage une consommation toujours croissante. Contrairement au point de vue *efficience* qui ne met pas en cause le statu quo, le point de vue *limitation de la demande* propose de modifier la demande en réduisant la consommation des aliments à fort impact, notamment ceux d'origine animale. Ce point de vue considère que la technologie fait parfois partie du problème, que les limites environnementales sont absolues, et que la demande doit s'adapter aux contraintes posées par ces limites. Les études ACV basées sur ce point de vue se focalisent sur l'analyse de schémas de consommation et tentent de plus en plus de considérer impacts et qualité nutritionnelle de façon conjointe.

Ainsi le point de vue *efficience* cherche la solution dans une réduction des impacts des systèmes de production, tandis que le point de vue *limitation de la demande* vise à réduire la consommation. Le troisième point de vue *transformation du système alimentaire* (food system transformation) considère la production et la consommation en termes de relations entre les acteurs du système alimentaire. Selon ce point de vue ces relations sont inégalitaires ou déséquilibrées, avec pour conséquence la coexistence de problèmes d'excès et de carences, tant côté production (utilisation de trop, voire pas assez d'intrants) que côté consommation (obésité et faim). La notion de justice sociale est au cœur de ce point de vue, notamment sur la nécessité morale de développer des systèmes de production et de consommation qui considèrent de façon explicite les besoins des pauvres. Peu de travaux ACV se basent sur ce point de vue, ce qui n'est pas surprenant, parce qu'il considère de multiples causes et conséquences en interaction, et l'approche ACV est vue comme trop réductrice.

8.4 Les réponses proposées par les agronomes

Quelles conséquences tirer des constats et réflexions précédents en termes de questions de recherche sur les impacts environnementaux des systèmes de production agroalimentaires ?

Il me semble évident que, dans les systèmes agricoles intensifs tels que pratiqués notamment dans les pays du Nord, il est possible et nécessaire de réduire fortement les impacts environnementaux, afin de respecter les limites planétaires environnementales. Il semble également probable que les pressions pour un meilleur respect du bien-être animal se feront de plus en plus fortes, et nécessiteront des adaptations des systèmes qui iront à l'encontre de l'efficacité zootechnique. Je pose l'hypothèse que pour des systèmes faiblement productifs et relativement peu optimisés (tels qu'on peut les trouver dans

les pays du Sud) des techniques d'IE pourront souvent permettre de combiner une réduction des impacts et une augmentation de la productivité, mais que pour des systèmes intensifs optimisées (des pays du Nord) cette IE pourra permettre une réduction des impacts, mais au prix d'une moindre productivité. Les résultats des nombreux travaux sur les systèmes d'agriculture intégrée[5] confirment cette hypothèse (Holland et al., 1994 ; Jordan et al., 1997 ; Viaux, 1999). Ainsi, je pose l'hypothèse que pour les systèmes intensifs du Nord, le remplacement des intrants « chimiques » (engrais, pesticides) par des mécanismes écologiques correspond dans les faits à une *extensification écologique* plutôt qu'à une intensification écologique. Une proposition similaire a récemment été faite par van Grinsven et al. (2015), qui, en opposition au terme *sustainable intensification*, proposent l'expression *sustainable extensification*: « decreasing the depletion of natural resources and the environmental impacts while limiting the decrease of food production per ha. This objective translates into reducing external inputs »

Il est par ailleurs évident que l'étendue des changements de pratiques et de systèmes nécessaires pour diminuer les impacts afin d'atteindre un niveau qui pourra être considéré comme durable (c'est-à-dire en accord avec les limites environnementales locales et globales) variera pour un même système de production en fonction d'une part de son niveau d'utilisation d'intrants et d'autre part du contexte pédoclimatique local et de la sensibilité des écosystèmes affectés par le système de production en question. En plus il va falloir considérer le fait qu'il faudra non seulement réduire les impacts des futurs systèmes agroalimentaires mais également rendre ces systèmes résilient face au changement climatique à venir.

Ainsi les défis posés par la nécessité d'une sécurité alimentaire durable à l'horizon de la prochaine génération humaine (disons l'an 2050) sont énormes. Cette question concerne à l'évidence les trois piliers de la recherche menée à l'INRA : agriculture, alimentation, environnement. Une grande partie des travaux de l'INRA est dédiée à cette question, ce qui est logique, car l'INRA dans ses orientations pour 2010 – 2020 (INRA, 2010) formule comme objectif majeur : « en 2050, le monde mange sainement et durablement ».

Avant de réfléchir à mes propres perspectives de recherche dans ce contexte, je veux livrer ici ma perception (incomplète, subjective) des travaux conduits par la grande majorité des agronomes, à l'INRA ou ailleurs. Si on se réfère aux trois points de vue énoncés par Garnett (2014), il est évident que les travaux de recherche agronomique, dédiés à la réduction des impacts environnementaux des systèmes agricoles et donc de près ou de loin à la sécurité alimentaire durable, se basent dans leur grande majorité sur un point de vue *efficience*, plutôt que *limitation de la demande* ou *transformation du système alimentaire*. Ceci n'est pas surprenant, car le point de vue *efficience* vient naturellement aux agronomes, qui dans leur grande majorité ont une formation d'ingénieur. Ce point de vue se focalise sur le levier le moins douloureux pour arriver à une sécurité alimentaire durable, puisqu'il n'implique pas une mise en question radicale des systèmes en place. Il aura relativement facilement l'assentiment des acteurs concernés (agriculteurs, secteur agro-alimentaire), qui préfèrent maintenir les systèmes actuels en les améliorant. Il s'agit d'une approche qui tente de ménager la chèvre et le chou. On tente de réduire les impacts (le plus souvent sans fixer des objectifs en termes de niveau à atteindre), tout en souhaitant maintenir la productivité, le résultat économique et une acceptabilité par la profession agricole.

Des exemples de cet état de choses ne manquent pas : au niveau national français le plan Ecophyto se fixe en 2008 comme objectif de réduire l'utilisation de pesticides de 50% « si possible », pour constater au bout de six ans qu'aucune baisse de l'utilisation n'a été obtenue et qu'un deuxième plan Ecophyto est nécessaire (Potier, 2014). Au niveau de l'INRA on constate un très faible niveau d'investissement de la recherche (0,5%) dédié aux systèmes d'agriculture bio, et ceci en dépit d'un objectif national français de 20% de la SAU française en agriculture bio en 2020 (SUD, 2014). Au niveau de la région Bretagne les Chambres d'Agriculture de Bretagne (CAB) proposent le concept de l'Agriculture Ecologiquement Intensive (AEI) comme nouvelle voie pour l'agriculture (Augeard et al., 2014). On retrouve ici l'intensification écologique, car selon Augeard et al. (2014) « l'AEI permet de

[5] Selon Viaux (1999) un système intégré en agriculture « correspond à une approche globale de l'utilisation du sol pour la production agricole, qui cherche à réduire l'utilisation d'intrants extérieurs à l'exploitation (énergie, produits chimiques), en valorisant au mieux les ressources naturelles et en mettant à profit les processus naturels de régulation ». Bref, il s'agit d'une incarnation antérieure de l'intensification écologique.

produire plus ou autant et mieux avec moins d'intrants non-renouvelables et en utilisant mieux le fonctionnement des écosystèmes ». Le « mieux » fait référence à une réduction des émissions de polluants vers l'environnement. Ici les CAB promettent donc aux agriculteurs qu'il sera possible à la fois de maintenir voire augmenter la production en réduisant les impacts, ceci en dépit du fait que les travaux sur l'agriculture intégrée et bio ont montré depuis longtemps que les systèmes utilisant moins d'intrants sont généralement moins productifs. Enfin, au niveau de l'UMR SAS les travaux visant à résoudre les problèmes d'algues vertes élaborent des scénarios de changements de pratiques au niveau du bassin versant « avec les acteurs » pour constater ensuite que ces scénarios sont trop timides pour résoudre les problèmes (Cudennec et al., 2015).

8.5 Efficience versus limites planétaires

Il me semble probable que les défis posés par la sécurité alimentaire et les impacts environnementaux de l'agriculture sont tels qu'il ne suffira pas d'approches relevant du seul point de vue *efficience*, qui prend la future demande alimentaire comme donnée (et donc implicitement comme non-négociable), et incarne un optimisme par rapport à la capacité du progrès technologique de résoudre les problèmes environnementaux. Ce point de vue est celui de la grande majorité des agronomes des pays du Nord. Il me semble prudent et nécessaire de renforcer les travaux basés sur les points de vue *limitation de la demande* et *transformation du système*, en prenant les limites planétaires et les besoins alimentaires (plutôt que la demande alimentaire) comme point de départ. Ces deux points de vue reflètent une attitude plus prudente, témoignent d'une moindre confiance dans les solutions technologiques et d'une conviction qu'il faudra passer d'un système basé sur la croissance à un système où les flux de matière seront stabilisés ou décroissants.

Tableau 2. Améliorer l'efficience et Respecter les limites planétaires, deux postures pour aborder la sécurité alimentaire durable.

Caractéristiques des postures	Améliorer l'efficience	Respecter les limites planétaires
Point de départ	Des moyens : les solutions techniques	Un objectif : les limites planétaires
Question posée	Qu'est-ce qui est faisable ?	Qu'est-ce qui est nécessaire ?
Modèle de durabilité	Faible	Forte
Point de vue	Efficience	Efficience, limitation de la demande, transformation du système
Démarche	Analytique	Systémique
Attitude sous-jacente	Optimisme technologique	Prudence, prévention des problèmes
Horizon temporel	Court et moyen terme	Moyen et long terme
Objectif "environnement"	Réduire les impacts par unité de produit	Respecter les limites planétaires
Objectif "alimentation"	Répondre à la demande alimentaire attendue	Répondre aux besoins alimentaires attendus
Type d'innovation	Technologique	Technologique et institutionnelle
Acteurs impliqués	Agriculteurs, secteur agro-alimentaire	Agriculteurs, secteur agro-alimentaire, citoyens actuels et futurs

Pour clarifier les choses je vais esquisser deux postures contrastées pour aborder la problématique de la sécurité alimentaire durable (Tableau 2). J'appelle la première posture *Améliorer l'efficience* (en bref : Efficience), et la deuxième *Respecter les limites planétaires* (en bref : Limites planétaires). Ces postures se distinguent d'abord par leur « point de départ », qui pour la première sont des *moyens* (les Solutions techniques), pour l'autre un *objectif* (les Limites planétaires). La posture *Efficience* pose la question : Qu'est-ce qui est faisable pour aller dans la direction de la sécurité alimentaire durable ?, tandis que la posture *Limites planétaires* demande : Qu'est-ce qui est nécessaire pour atteindre la sécurité alimentaire durable ?

La posture *Efficience* repose sur une conception de durabilité faible (Ekins et al., 2003), qui considère que le bien-être humain ne dépend pas d'une forme spécifique de capital, et que le capital manufacturé (la richesse créée par le système économique) peut remplacer le capital naturel (les ressources naturelles). Elle part du point de vue (Garnett, 2014) efficience, met en œuvre une démarche analytique, reflète un optimisme technologique et se soucie du court à moyen terme. En bref c'est l'approche : « On fait ce qu'on peut ». La posture *Limites planétaires* repose sur une conception de durabilité forte, qui considère que le capital manufacturé peut difficilement remplacer le capital naturel, et que ce dernier est essentiel pour le bien-être humain (Daly, 1991 ; Ekins et al., 2003). Elle intègre les trois points de vue identifiés par Garnett (2014), met en œuvre une démarche systémique, reflète une attitude de prudence et se soucie du moyen à long terme. Il s'agit d'une approche : « on fait ce qu'il faut ». Par ailleurs les deux postures se distinguent par leurs objectifs d'environnement et d'alimentation, par le type d'innovation qu'elles mettent en œuvre et par les catégories d'acteurs qu'elles impliquent (Tableau 2).

Enfin les deux postures diffèrent sur leur perception du rôle des chercheurs. La posture *Efficience* cherche à identifier les solutions qui seront faisables étant donné les cadres économiques et réglementaires actuels. La posture *Limites planétaires* cherche à identifier les solutions nécessaires pour atteindre la sécurité alimentaire durable. Elle considère qu'il revient ensuite aux décideurs politiques de mettre en oeuvre les conditions économiques et réglementaires qui permettront de réaliser ces solutions. *Pour conclure : c'est dans cette deuxième posture que j'ai envie d'inscrire mes futurs travaux.*

9 Quelles questions de recherche ?

Ma future posture de recherche ayant été déterminée, j'esquisserai dans ce chapitre quelques perspectives sous forme de questions de recherche.

9.1 L'extension du périmètre du système

Une première question de recherche à explorer est : *Quel périmètre du système pour aborder la question de l'agriculture et les limites planétaires ?* Cette question mérite une réponse approfondie et détaillée, que je compte développer dans les années à venir. Je veux cependant esquisser ici un premier élément de réponse. Pour cela je me base sur les travaux de Tittonell (2014), qui distingue cinq stades pour la transition vers des systèmes agro-alimentaires durables : 1) systèmes actuels, 2) systèmes éco-efficients, 3) systèmes à intrants substitués, 4) systèmes reconçus et 5) paysages et systèmes alimentaires agro-écologiques. Ces stades correspondent d'ailleurs largement aux niveaux d'agro-écologie proposés par Gliessman (2014). Comme je l'ai évoqué précédemment, il me semble probable que l'intensification écologique des systèmes intensifs du Nord permettra de réduire fortement les impacts de ces systèmes, mais je suis convaincu que cela se fera souvent au détriment des rendements par ha. A ce moment il devient intéressant de ne pas s'arrêter à la question de la production agricole, et donc de l'offre, mais d'intégrer la consommation alimentaire, c'est-à-dire la demande, afin d'offrir des degrés de liberté supplémentaires au système agro-alimentaire.

Pour le moment, la transformation agro-écologique à grande échelle des systèmes agricoles à travers l'IE est principalement une vue de l'esprit. L'hypothèse selon laquelle sera possible pour les systèmes intensifs du Nord de simultanément réduire les impacts en maintenant voire augmentant les rendements appartient pour moi plus au domaine du marketing qu'au domaine de la science. Soyons prudents, et supposons que la transformation agro-écologique des systèmes intensifs du Nord correspondra à une extensification écologique, qui ira aux dépens des rendements. Il semble probable que cette réduction sera plus importante mais également d'une envergure plus incertaine à mesure qu'on s'approche du stade final de la transformation agro-écologique, telle que proposée par Tittonnel (2014) (Fig. 11, rectangles verts). Une modification concomitante du volet consommation du système (Fig. 11, rectangles bleus) à travers une réduction des pertes alimentaires et une reconception des menus (moins de produits animaux, moins de produits énergivores par leur mode de production ou de transport) pourrait permettre de compenser la moindre production de la partie agricole du système. Ainsi je propose une réponse provisoire à cette question de recherche : *Afin d'explorer et de quantifier la question de l'agriculture et les limites planétaires, il faudra aborder la transformation agro-écologique des systèmes en y incluant la transformation, distribution et consommation des aliments.*

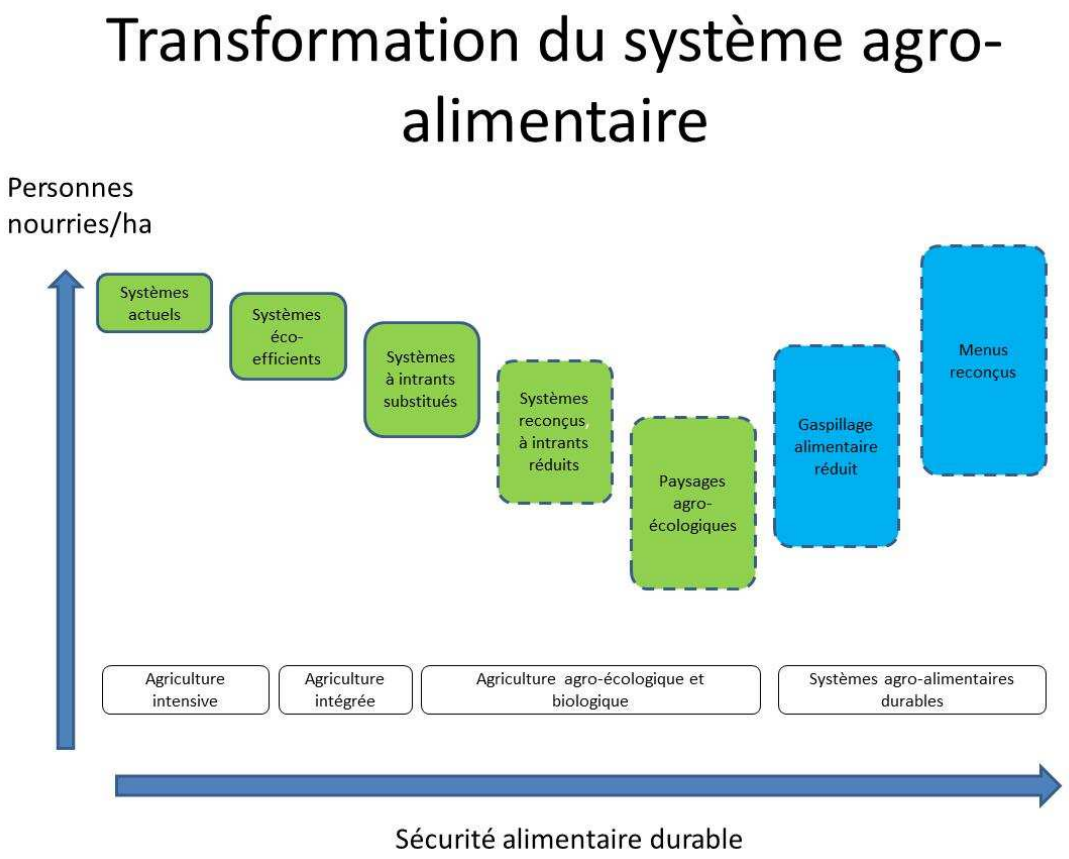

Figure 11. La transition des systèmes agricoles intensifs actuels du Nord vers des systèmes agro-alimentaires durables réduira très probablement la production par ha et donc l'offre alimentaire (rectangles verts), la réduction du gaspillage alimentaire et la reconception des menus alimentaires (rectangles bleus) permettront de réduire la demande alimentaire, et ainsi de maintenir le nombre de personnes nourries par ces systèmes.

9.2 Caractériser la résilience des systèmes agroalimentaires

Les futurs systèmes agroalimentaires devront non seulement être compatibles avec le respect des limites planétaires, mais également être adaptés au changement climatique en cours et plus largement être résilients pour pouvoir résister aux chocs de changements et effondrements qui pourraient se produire dans l'avenir (Anderies et al., 2013). Les indicateurs produits par l'ACV permettent d'estimer les impacts environnementaux potentiels des systèmes agro-alimentaires afin de piloter leur évolution. Cependant il manque une approche qui permettra d'estimer la résilience potentielle de ces systèmes face à de futurs changements graduels et abrupts. Dans la littérature du domaine de l'écologie on trouve un grand nombre de travaux concernant la résilience des écosystèmes (Folke et al., 2004). Concernant la quantification de la résilience des agroecosystèmes quelques travaux existent (Lopez-Ridaura, 2002 ; Darnhofer et al., 2010a ; Cabel et Oelofse, 2012 ; Duru et Therond, 2015), qui explorent cependant le sujet de façon plutôt qualitative. Quand on fait la comparaison avec le domaine de la quantification des impacts environnementaux, il est évident qu'au niveau conceptuel et opérationnel la quantification de la résilience des agrosystèmes en est à ses débuts. Les premiers travaux qui ont abordé cette question suggèrent que les systèmes agro-alimentaires résilients seraient plutôt locaux, diversifiés, décentralisés, cycliques, socialement connectés (Servigné, 2013). L'élaboration d'un cadre conceptuel opérationnel, implémenté par un ensemble d'indicateurs de la résilience potentielle des systèmes agroalimentaires me semble un défi important, qui permettrait ensuite d'explorer la compatibilité des exigences

d'environnement et de résilience posés aux systèmes agro-alimentaires. Ceci pose la question de recherche suivante *: comment caractériser la résilience des systèmes agro-alimentaires ?*

9.3 Analyse environnementale

Au niveau de l'analyse environnementale la posture *Respecter les limites planétaires* soulève plusieurs questions, qui se posent, in fine, pour les systèmes agro-alimentaires au niveau mondial, mais qui peuvent et doivent se décliner à des échelles spatiales et organisationnelles variées, en passant par les échelles continent, pays, région, territoire.

Les limites planétaires

Un premier défi est posé par la transposition des limites planétaires vers des échelles spatiales inférieures (pays, région, territoire, bassin versant). Ce travail a déjà été entamé dans la cadre des travaux sur les valeurs de référence dans la thèse d'Ivonne Acosta, mais nécessitera des travaux supplémentaires, car les limites planétaires constitueront le fondement de la démarche que je souhaite mettre en oeuvre. La question de recherche ici est : *Comment transposer les limites planétaires à des échelles spatiales sub-globales ?*

Améliorer l'ACV pour les systèmes agro-écologiques

L'ACV a initialement été développé pour l'analyse des systèmes industriels. Depuis une bonne vingtaine d'années elle a été appliquée à des systèmes agricoles, ce qui a permis de l'enrichir pour mieux prendre en compte les particularités de ces systèmes. Il va falloir cependant continuer à améliorer l'ACV pour qu'elle soit mieux adaptée à l'analyse des systèmes agro-écologiques.

Un premier point d'amélioration concerne la prise en compte de la qualité des produits. Les produits issus de systèmes agro-écologiques peuvent différer des produits des systèmes actuels en ce qui concerne leur qualité nutritionnelle, sanitaire (résidus de pesticides), leur goût, leur effet sur le bien-être animal (van der Werf et Salou, 2015). Ces aspects de qualité sont actuellement largement ignorés dans les études ACV. Ceci soulève la question : *Comment prendre en compte les multiples facettes de la qualité des produits dans les études ACV ?*

Un deuxième point d'amélioration concerne l'estimation des émissions de substances azotées. Les modèles utilisés actuellement pour estimer ces émissions sont moins adaptés pour des systèmes agro-écologiques, tels que l'agriculture biologique (van der Werf et al., 2014 ; Meier et al., 2015). Ces systèmes utilisent des engrais azotés organiques plutôt que des engrais minéraux, et apportent souvent des quantités d'azote plus faibles que les systèmes conventionnels. Dans les systèmes d'agriculture biologique les aliments pour animaux ont des teneurs en N et carbone (C) différents de ceux des systèmes conventionnels, par conséquent les teneurs en N et C des engrais organiques produits et utilisés dans ces systèmes sont également différentes. Cependant, dans les analyses ACV les modèles utilisés pour estimer les émissions des déjections et engrais organiques sont généralement basés sur des teneurs en N et C des engrais organiques des systèmes conventionnels, qui ne sont donc pas bien adaptés à l'agriculture biologique. Ceci soulève la question : *Comment améliorer les modèles d'émissions des substances azotées, utilisés en ACV, pour qu'ils soient mieux adaptés aux systèmes agro-écologiques et en agriculture biologique ?*

Un dernier point d'amélioration de l'ACV pour mieux analyser les systèmes agro-écologiques concerne l'évaluation des impacts. Des impacts importants pour l'analyse des systèmes agricoles, tels que les effets sur la biodiversité et la qualité du sol sont rarement pris en compte, notamment parce que les méthodes pour caractériser ces impacts sont peu nombreuses et largement perfectibles (Souza et al., 2015 ; Meier et al., 2015). Les impacts toxicologiques sont considérés dans une minorité des études ACV des systèmes agricoles (Meier et al., 2015). Les méthodes utilisées sont largement améliorables, beaucoup de développements dans ce sens sont en cours (van Zelm et al., 2014). Le manque, voire l'absence de données permettant la prise en compte de pesticides naturels et inorganiques (cuivre, souffre) utilisés en agriculture biologique pose un problème particulier qui mérite d'être abordé. Ceci soulève la question *: Comment mieux prendre en compte les impacts sur la biodiversité et les impacts toxicologiques dans l'ACV ?*

Utiliser l'ACV pour améliorer l'agriculture biologique

L'agriculture biologique est basée sur des principes (santé, écologie, équité et précaution), et définie par des règles de production (EC, 2007). Ces règles concernent notamment l'utilisation des intrants. Puisque les règles qui la régissent interdisent l'utilisation d'intrants de synthèse, l'agriculture biologique s'est intéressée aux processus écologiques permettant de remplir les fonctions remplies par les pesticides et engrais de synthèse dans les systèmes d'agriculture conventionnelle. Ainsi on peut considérer l'agriculture biologique comme un prototype pour une agriculture agro-écologique (Tittonnel, 2014).

Depuis quelques années la « conventionalisation » de l'agriculture biologique est l'objet d'un débat (Darnhofer et al., 2010b). Par ce terme on entend le développement de fermes biologiques qui respectent les règles de l'agriculture biologique, mais pas l'esprit de cette agriculture, c'est-à-dire ses principes. Ces fermes sont souvent très spécialisées et utilisent d'importantes quantités d'intrants (Darnhofer et al., 2010b), sous forme de pesticides non synthétiques, d'engrais organiques ou de ressources énergétiques. Des règles de production complémentaires, limitant les quantités d'intrants pourraient permettre de contrer ce développement. L'analyse environnementale par ACV de systèmes d'agriculture biologique plus ou moins intensifiés pourrait permettre de fournir une base pour l'établissement de règles de production complémentaires. Formulé comme une question de recherche : *Comment utiliser l'ACV pour optimiser les règles de production définissant le cahier de charge de l'agriculture biologique ?*

10 Epilogue : à quoi a-t-elle servi, cette démarche HDR ?

Je présente quelques réflexions sur l'intérêt que j'ai trouvé dans la rédaction de ce mémoire de HDR.

10.1 La science

J'ai finalement bien aimé prendre le temps pour décrire et analyser mon cheminement. Cela m'a permis de réfléchir à mes motivations et aux choix que j'ai faits. Au fil des années les disciplines scientifiques que j'ai pratiquées, les méthodes que j'ai mises en œuvre et les objets que j'ai étudiés, ont évolué (Fig. 12).

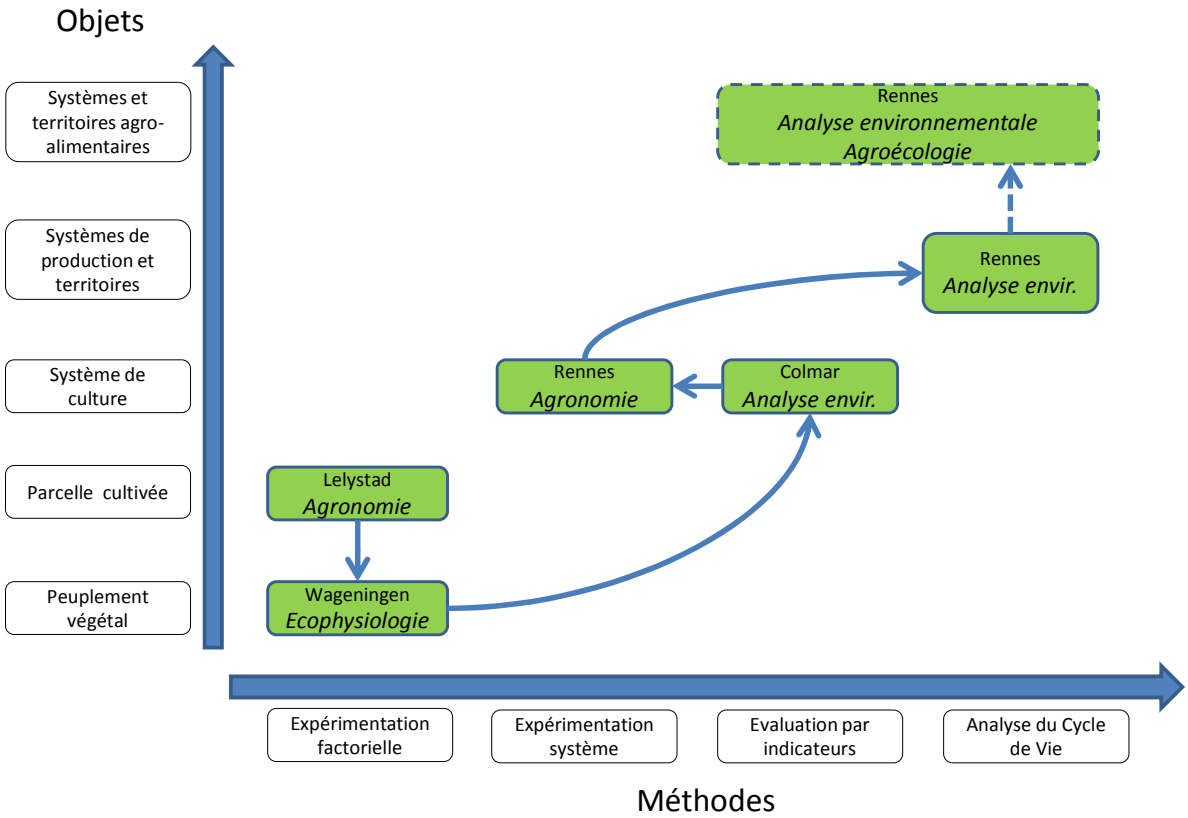

Figure 12. Mon itinéraire géographique, technique et scientifique. Disciplines pratiquées (en italique), méthodes utilisées et objets étudiés au cours d'un itinéraire de Lelystad à Rennes et de l'agronomie à l'analyse environnementale. Suite, proposée en pointillés.

Par ma formation initiale ma discipline est l'agronomie. Lors de mon premier emploi au PAGV à Lelystad j'ai utilisé l'expérimentation factorielle pour analyser l'effet des pratiques agricoles sur le rendement du maïs ensilage au niveau de la parcelle. Mes travaux de thèse au CABO à Wageningen étaient basés sur des expérimentations factorielles au champ et en conditions contrôlées, pour analyser les effets de pratiques agricoles et facteurs environnementaux sur le développement, la croissance et le rendement de peuplements de chanvre. Ainsi je suis passé de l'agronomie à l'écophysiologie.

Après ma thèse j'ai voulu aborder un niveau d'intégration plus large que la parcelle, pour me focaliser sur les impacts environnementaux des systèmes agricoles. Dans le cadre du postdoc à Colmar j'ai pu explorer les méthodes d'analyse environnementale, appliquées aux systèmes de culture. A mon arrivée à l'INRA de Rennes j'ai travaillé de nouveau comme agronome, pour conduire une

expérimentation système. Ensuite je suis passé d'une approche analytique, vers une approche d'intégration de résultats dans un but d'analyse environnementale des systèmes de production agricoles.

Le choix de la méthode ACV a permis d'aborder l'étude d'objets tels que les systèmes de production, et les territoires agricoles. Pendant cette période de travaux d'analyse environnementale des systèmes agricoles je me suis situé dans deux disciplines scientifiques : l'agronomie et l'analyse environnementale. L'accent a été plus sur l'analyse environnementale, parce que c'était la discipline que je connaissais la moins bien au début. Enfin, dans les questions de recherche esquissées comme perspectives dans ce mémoire, je suis resté dans cette interdisciplinarité agronomie – analyse environnementale, en mettant toutefois davantage l'accent sur les questions d'agronomie voire plutôt d'agro-écologie sensu Gliessman (2014) c'est-à-dire en incluant les systèmes alimentaires.

En résumant on peut observer que je suis passé de travaux analytiques en agronomie et écophysiologie à des approches systèmes à l'interface de l'agronomie et l'analyse environnementale. Cette situation de travail interdisciplinaire m'a beaucoup plu et elle a été féconde. J'ai toujours aimé explorer de nouveaux horizons, et j'ai pu le faire au fil de ces années. Les mots du DS Peter Boyd, cités en début de ce mémoire : *You can't understand a picture when you are inside the frame* valent d'ailleurs pour l'interdisciplinaire comme pour l'interculturel. De la même façon que la découverte de la culture française m'a permis de mieux comprendre ma culture d'origine, la découverte de la discipline de l'analyse environnementale, notamment à travers le cadre conceptuel de l'ACV, m'a permis de porter un nouveau regard sur les systèmes agricoles que je pensais si bien connaître en tant qu'agronome.

10.2 La culture

Ce mémoire de HDR s'est focalisé principalement sur mes travaux scientifiques à l'INRA, pendant la période 1995-2015. J'ai également résumé la précédente période de mes travaux aux Pays-Bas, parce que cela permet, j'espère, de mieux comprendre les choix que j'ai ensuite faits. Les vingt années passées en France et à l'INRA ont été riches et enthousiasmantes sur le plan scientifique, mais étaient également une aventure sur le plan humain et culturel. Quand j'avais fini ma thèse, en 1994, j'avais envie de partir en France, pour trois raisons principales. Premièrement Agnès, ma femme, avait envie, après avoir passé 20 ans aux Pays-Bas, de revenir en France. Deuxièmement aux Pays-Bas, à cette époque, il y avait peu de possibilités d'emploi dans le secteur de la recherche agronomique, et troisièmement j'avais envie de quitter les Pays-Bas pour aller voir ailleurs. La société néerlandaise est très organisée, planifiée, très friande de tout ce qui est « moderne », peu consciente de son passé, ne tient pas à la préservation de sa langue, adore réformer, fusionner, adopter les nouvelles tendances sur le plan politique, organisationnel, culturel. En plus de tout cela la densité de population y est très élevée[6], ce qui explique pourquoi il faut beaucoup de règles, qui sont largement établies par consensus, et globalement bien respectées par la population, parce que les Néerlandais sont des gens raisonnables. La devise nationale des Pays-Bas est *Je maintiendrai* (oui, en français !) mais j'avais l'impression que cela ne correspondait plus à l'état d'esprit du pays, toujours prêt à embrasser la dernière nouveauté.

Ma famille et moi avions considéré le postdoc à l'INRA de Colmar comme un test au regard d'une installation définitive en France. Avec le recul je dresse un bilan très positif sur ce départ en France. Pendant les premiers mois, à Colmar, j'avais constamment le sentiment d'être en vacances, parce que pour moi la France c'était le pays où, dès l'adolescence, j'allais en vacances. Au fil des années que j'ai passées maintenant en France j'ai beaucoup aimé découvrir « en profondeur », pour ainsi dire, la culture française, la façon dont fonctionnent le pays et l'institution INRA. En ce qui concerne l'INRA, il m'a fallu du temps pour comprendre l'importante liberté dont jouissent les scientifiques pour conceptualiser et mettre en œuvre une thématique de recherche. En gros : le scientifique se fixe un cap, et il est évalué à posteriori. Ce n'est pas le type de fonctionnement qui prévaut aux Pays-Bas, où on valide ou invalide les propositions des scientifiques à priori.

Plus généralement, j'apprécie la culture française. Avant de venir vivre en France, je pensais connaître la culture française, car ma femme est française, je maîtrisais assez bien la langue, et je venais régulièrement en France pour des vacances et visites familiales. Cependant, c'est seulement en vivant et en travaillant en France que j'ai découvert à quel point les cultures française et néerlandaise diffèrent.

[6] Parmi les pays de l'Union Européenne les Pays-Bas ont la densité de population la plus élevée.

Dans les années 80 j'avais découvert une autre culture que la mienne en passant une année au Canada. Cependant, j'ai été étonné de découvrir que culturellement les Pays-Bas diffèrent beaucoup plus de la France que du Canada. Je ne m'étais pas rendu compte à quel point la société française tient à ses traditions, à sa langue, à quel point l'héritage de la révolution française est présent au quotidien. Comme les Pays-Bas, en France la vie est régie par un grand nombre de règles, mais en France il existe plus de souplesse dans l'application de ces règles. En tant que Néerlandais débarquant en France j'ai beaucoup apprécié cette « légèreté » française. Les Français pensent que les Néerlandais sont *cool* (coffeeshops, vélos, mariage gay, euthanasie etc.) mais je ne les perçois pas comme cela. Là où les Français ignorent, contournent ou s'opposent aux règles, les Néerlandais les intériorisent, sens du devoir oblige. Quatre cents ans de protestantisme, ça pèse. Quand j'ai découvert qu'en France le non-respect d'un délai sur lequel on s'était engagé, « eh bien, ça peut arriver », j'ai senti comme une espèce de libération.

Voilà, tout ceci est évidemment le produit d'une expérience très subjective. D'ailleurs, il est fort probable que ce bien-être de vivre en France que je ressens est en partie dû au plaisir de vivre en dehors de mon pays d'origine. En tant qu'étranger je ne connais pas tous les codes sociaux de mon pays d'accueil, voire je peux feindre l'ignorance de ces règles, ce qui procure là encore un bien agréable sentiment de liberté.

Pour finir je reviens sur la citation du philosophe Alain que j'ai mentionnée au début de ce mémoire : *On prouve tout ce qu'on veut, et la vraie difficulté est de savoir ce qu'on veut prouver.* Qu'ai-je donc voulu prouver au cours de mon itinéraire ? Deux choses : d'une part « que j'étais cap' » (de publier, d'être pris au sérieux par mes pairs, de proposer quelques idées nouvelles) et d'autre part qu'il est important pour le bien-être de l'humanité de reconnaître les limites environnementales posées au système économique et notamment aux systèmes agricoles.

11 Thèses

Aux Pays-Bas il est habituel qu'un mémoire de thèse comporte des « stellingen », c'est-à-dire des « thèses » dans le premier sens de ce mot. Selon le Petit Robert une thèse est une *proposition ou théorie particulière qu'on tient pour vrai et qu'on s'engage à défendre par des arguments*. Puisque le format d'un mémoire de HDR est assez libre, j'ai voulu enrichir ce document en formulant quelques thèses de ce type, basées principalement sur le contenu de ce mémoire.

1. La méthodologie *Expérimentation système par règles de décision* ne permet pas de comparer des systèmes de culture tout en améliorant les jeux de règles de décision régissant ces systèmes. Il faut faire l'un ou l'autre, voire d'abord l'un et puis l'autre.
2. Les méthodes d'évaluation environnementale créées et utilisées par des agronomes sont souvent développées dans une autarcie méthodologique sectorielle et nationale. De ce fait elles risquent de réinventer la roue, voire d'ignorer que la roue existe.
3. Une des principales forces du cadre conceptuel de l'ACV est qu'il est transsectoriel et international, et qu'il fait l'objet d'un débat méthodologique et une dynamique scientifique internationale.
4. La confrontation aux concepts de l'analyse environnementale amène l'agronome à porter un nouveau regard sur les systèmes qu'il pense si bien connaître.
5. Pour les systèmes intensifs optimisés des pays du Nord l'intensification écologique pourra permettre une réduction des impacts, mais au prix d'une moindre productivité.
6. La conception de nouveaux systèmes agro-alimentaires compatibles avec la sécurité alimentaire durable doit partir des limites planétaires à respecter plutôt que des solutions techniques disponibles.
7. L'INRA doit augmenter la part de ses recherches dédiées spécifiquement à l'agriculture biologique.
8. Pour répondre à la question de l'agriculture et des limites planétaires, il faut aborder la transformation agro-écologique des systèmes en y incluant la transformation, distribution et consommation des aliments.
9. Le fait d'être étranger dans son pays de résidence procure des degrés de liberté supplémentaires, parce qu'un étranger n'est pas sensé comprendre toutes les subtilités culturelles du pays.
10. Les Néerlandais ne connaissent pas le concept de « productivisme », quand on leur explique, il leur est difficile de comprendre. C'est un peu comme tenter d'expliquer à un poisson ce qu'est l'eau.

References

Acosta-Alba I, van der Werf H M G, 2011. The use of reference values in indicator-based methods for the environmental assessment of agricultural systems. Sustainability 3:424-442.

Acosta-Alba I, Corson M S, van der Werf H M G, Leterme P, 2012a. Using reference values to assess environmental sustainability of dairy farms. Renewable Agriculture and Food Systems 27: 217-227.

Acosta-Alba I, Lopéz-Ridaura S, van der Werf H M G, Leterme P, Corson M S, 2012b. Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: an application to dairy farms in Brittany. Journal of Cleaner Production 28: 160-167.

Alblas J, F Wanink, van den Akker J, van der Werf H M G, 1994. Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in the Netherlands. Soil and Tillage research 29: 157-165.

Altieri M A, 1989. Agroecology: a new research and development paradigm for world agriculture. Agriculture Ecosystems and Environment 27: 37-46.

Anderies J M, Folke C, Walker B, Ostrom E, 2013. Aligning key concepts for global change policy: robustness, resilience, and sustainability. Ecology and Society 18 (2): 8.

Arondel C, Girardin G, 2000. Sorting cropping systems on the basis of their impact on groundwater quality. European Journal of Operational Research 127: 467-482.

Aubert C, 1977. L'agriculture biologique. Pourquoi et comment la pratiquer. Courrier du Livre, Paris, 367 p.

Augeard P, Heddadj D, Merlhe M, Porhiel J Y, Ramonet Y, 2014. Concevoir et mettre en oeuvre l'Agriculture Ecologiquement Intensive dans une région d'élevage. Agricultures et Territoires, Chambres d'Agriculture Bretagne, Rennes, France.

Barnosky A D, Hardly E A, Bascompte J, Berlow E L, Brown J H, Fortelius M, Getz W M, Harte J, Hastings A, Marquet P A, Martinez N D, Mooers A, Roopnarine P, Vermeij G, Williams J W, Gillespie R, Kitzes J, Marshall C, Matzke N, Mindell D P, Revilla E, Smith A B, 2012. Approaching a state shift in earth's biosphere. Nature 486: 52-58.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. Agriculture, Ecosystems and Environment 105: 127-144.

Basset-Mens C, Anibar L, Durand P, van der Werf H M G, 2006a. Spatialised fate factors for nitrate in catchments: modelling approach and implication for LCA results. Science of the Total Environment 367: 367-382.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, Durand P, Leterme P, 2006b. Implications of uncertainty and variability in the Life Cycle Assessment of Pig Farming Systems. International Journal of Life Cycle Assessment 11 (5) 7A: 298-304.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, Robin P, Morvan T, Hassouna M, Paillat J M, Vertès F, 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. Journal of Cleaner Production 15: 1395-1405.

Berry W, 2009. Bringing it to the table: writings on farming and food. Counterpoint, Berkeley, California, USA, 256 p.

Bockstaller Ch, Girardin P, van der Werf H M G, 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. European Journal of Agronomy 7: 261-270.

Bockstaller C, Girardin P, 2003. How to validate environmental indicators. Agricultural systems 76: 639-653.

Bockstaller C, Guichard L, Keichinger O, Girardin P, Galan M B, Gaillard G, 2009. Comparison of methods to assess the sustainability of agricultural systems. A review. Agronomy for Sustainable Development 29: 223–235.

Boissy J, Aubin J, Drissi A, van der Werf H M G, Bell G J, Kaushik S J, 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. Aquaculture 321 (1-2): 61-70.

Bommarco R, Kleijn D, Potts S G, 2013. Ecological intensification: harnessing ecosystem services for food security. Trends in Ecology and Evolution 28: 230-238.

Boone F R, van der Werf H M G, Kroesbergen B, ten Hag B A, Boers A, 1986. The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage. 1. Critical matric water potentials in relation to soil aeration and mechanical impedance. Neth. J. Agric. Sci. 34, 155-171.

Boone F R, van der Werf H M G, Kroesbergen B, ten Hag B A, Boers A, 1987. The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage. 2. Soil conditions and plant growth. Neth. J. Agric. Sci. 35, 113-128.

Cabel J F, Oelofse M, 2012. An Indicator Framework for Assessing Agroecosystem Resilience. Ecology and Society 17 (1): 18.

Capillon A, Gabrielle B, Girardin P, Guichard L, Guillaume B, Hubert A, Leiser H, Soulas G, van der Werf H, 2005. Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des pratiques agricoles. INRA, Département Environnement et Agronomie, Avignon, France.

Cassman K G, 1999. Ecological intensification of cereal production systems: yield potential, soil quality, and precision agriculture. Proceedings Natl. Acad. Sci. USA 96: 5952-5959.

Chartier E, 1920. Système des Beaux-Arts. Editions Gallimard, Paris. Edition nouvelle avec notes, 362 p.

Cho C Y, Kaushik S J, 1990. Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (Salmo gairdneri). World Reviews in Nutrition and Dietetics 61: 132–172 .

Colomb V, Aït-Amar S, Basset-Mens C, Dollé J B, Gac A, Gaillard G, Koch P, Lellahi A, Mousset J, Salou T, Tailleur A, van der Werf H, 2014. AGRIBALYSE®: Bilan et enseignements, Version 1.1. Ed. ADEME, Angers, France. 54 pages.

Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), 2012a. Book of Abstracts of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, 273 p.

Corson M S, van der Werf, H M G (Eds.), 2012b. Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France, ISBN 978-2-7466-5740-3. INRA, Rennes, France, 955 p.

Cudennec C, Gascuel C, Ruiz L, 2015. Bilan et perspectives. Pages 137-141 dans : Gascuel C, Ruiz L, Vertès F (Eds.) Comment réconcilier agriculture et littoral ? Vers une agroécologie des territoires. Editions Quae, Versailles, France.

Cunningham S A, Attwood S J, Bawa K S, Benton T G, Broadhurst L M, Didham R K, McIntyre S, Perfecto I, Samways M J, Tscharntke T, Vandermeer J, Villard M A, Young A G, Lindenmayer D B, 2013. To close the yield gap while saving biodiversity will require multiple locally relevant strategies. Agriculture, Ecosystems and Environment 173: 20-27.

Daly H E, 1991. Elements of environmental macroeconomics. In: Costanza, R. (Ed.), Ecological Economics: the Science and Management of Sustainability. Columbia University Press, New York, USA.

Darnhofer I, Moller H, Fairweather J, 2010a. Farm resilience for sustainable food production: a conceptual framework. International Journal of Agricultural Sustainability 8: 186-198.

Darnhofer I, Lindenthal T, Bartel-Kratochvil R, Zollitsch W, 2010b. Conventionalisation of organic farming practices: from structural criteria towards an assessment based on organic principles. A review. Agronomy for Sustainable Development 30: 67–81

Debaeke P, Munier-Jolain N, Bertrand M, Guichard L, Nolot J M, Faloya V, Saulas P, 2009. Iterative design and evaluation of rule-based cropping systems: methodology and case studies. A review. Agronomy for Sustain.able Development 29: 73–86.

Doreau M, van der Werf H M G, Micol D, Dubroeucq H, Agabriel J, Rochette Y, Martin C, 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. Journal of Animal Science 89: 2518-2528.

Dumont R, de Ravignan F, 1977. Nouveaux voyages dans les campagnes françaises. Le Seuil, Paris, 179 p.

Duru M, Therond O, 2015. Livestock system sustainability and resilience in intensive production zones: which form of ecological modernisation? Regional Environmental Change 15 (8) : 1651-1665. 10.1007/s10113-014-0722-9

EC, 2007. Règlement (CE) n° 834/2007 du 28 Juin 2007 sur la production biologique et l'étiquetage des produits biologiques et abrogeant le règlement (CEE) n° 2092/91 Publié dans le Journal Officiel de l'Union Européenne L 189, le 20.7.2007.

Ekins P, Simon S, Deutsch L, Folke C, De Groot R, 2003. A framework for the practical application of the concepts of critical natural capital and strong sustainability. Ecological Economics 44 (2-3): 165-185.

Foley J A, Ramankutty N, Brauman K A, Cassidy E S, Gerber J S, Johnston M, Mueller N D, O'Connell C, Ray D R, West P C, Balzer C, Bennett E M, Carpenter S R, Hill J, Monfreda C, Polasky S, Rockstrom J, Sheehan J, Siebert S, Tilman D, Zaks D P M, 2011. Solutions for a cultivated planet. Nature 478: 337-342.

Folke C, Carpenter S, Walker B, Scheffer M, Elmqvist T, Gunderson L, Holling C S, 2004. Regime shifts, resilience, and biodiversity in ecosystem management. Annual. Review of Ecology, Evolution and Systematics 35: 557–581.

Garcia-Launay F, van der Werf H M G, Nguyen T T H, Le Tutour L and Dourmad J Y, 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig production using Life Cycle Assessment. Livestock Science 161: 158-175.

Garnett T, Appleby M C, Balmford A, Bateman I J, Benton T G, Bloomer P, Burlingame B, Dawkins M, Dolan L, Fraser D, Herrero M, Hoffmann I, Smith P, Thornton P K, Toulmin C, Vermeulen S J, Godfray H C J, 2013. Sustainable intensification in agriculture: premises and policies. Science 341: 33-34.

Garnett T, 2014. Three perspectives on sustainable food security: efficiency, demand restraint, food system transformation. What role for life cycle assessment? Journal of Cleaner Production 73: 10-18.

Girardin P, 1993. Agriculture intégrée : au-delà des mythes… un défi. Cahiers Agriculture 2: 141-145.

Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H M G, 1999. Indicators: tools to evaluate the environmental impact of farming systems. Journal of Sustainable Agriculture 13 (4): 5-21.

Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H M G, 2000. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: the AGRO*ECO method. Environmental Impact Assessment Review, 20, 227-239.
Gliessman S R, 2014. Agroecology: the ecology of sustainable food systems, Third edition. CRC Press, London, United Kingdom, 405 p.
Godfray H C J, Beddington J R, Crute I R, Haddad L, Lawrence D, Muir J F, Pretty J, Robinson S, Thomas S M, Toulmin C, 2010. Food security: the challenge of feeding 9 billion people. Science 327: 812-818.
Green R E, Cornell S J, Scharlemann J P W, Balmford A, 2005. Farming and the fate of wild nature. Science 307: 550-555.
Haas G, Wetterich F, Geier U, 2000. Life Cycle Assessment framework in agriculture on the farm level. International Journal of Life Cycle Assessment, 5(6), 345-348.
Halberg N, van der Werf H M G, Basset C, Dalgaard R, de Boer I J M, 2005. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. Livestock Production Systems 96: 33-50.
Hansen J W, 1996. Is agricultural sustainability a useful concept? Agricultural Systems, 50: 117-143.
Hertwich E G, Pease W S, Koshland C P, 1997. Evaluating the environmental impact of products and production processes: a comparison of six methods. The Science of the Total Environment, 196: 13-29.
Holland J M, Frampton G K, Cilgi T, Wratten S D, 1994. Arable acronyms analysed - a review of integrated arable farming systems research in Western Europe. Annals of Applied Biology 125: 399-438.
INRA, 2010. Document d'orientation INRA 2010 – 2020. Une science pour l'impact. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France.
IPCC, 2013. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
Jackson T, 2009. Prosperity without growth: economics for a finite planet. Earthscan, Abingdon, UK.
Jordan V W L, Hutcheon J A, Donaldson G V, Farmer D P, 1997. Research into and development of integrated farming systems for less-intensive arable crop production: experimental progress (1989-1994) and commercial implementation. Agriculture, Ecosystems and Environment 64: 141-148.
Juvenson L, 1944. Pour s'installer et vivre à la campagne. La Maison Rustique, Paris, 286 p.
Koch P, Salou T, 2014. AGRIBALYSE®: Rapport méthodologique. Version 1.1, mars 2014. ADEME, Angers, France, 386 p.
Lambert B, 1970. Les paysans dans la lutte des classes. Editions du seuil, Paris, 190 p.
Latouche S, 2012. L'âge des limites. Les petits libres no. 82, Mille et une nuits, Editions Fayard, Paris.
Leger D, Hervieu B, 1979. Le retour à la nature. « Au fond de la forêt… l'Etat ». Editions du Seuil, Paris, 240p.
Leopold L B, Clark F F, Hanshaw B B, Balsley J R, 1971. A procedure for evaluating environmental impact. US Geological Survey Circular, 645. Department of the Interior, Washington DC, USA.
Le Roy L G, 1973. Natuur uitschakelen, natuur inschakelen. Ankh-Hermes, Deventer, Pays-Bas, 207 p.
Liao W, van der Werf H M G, Salmon-Monviola J, 2015. Improved environmental life cycle assessment of crop production at the catchment scale via a process-based nitrogen simulation model. Environmental Science and Technology 49: 10790−10796. DOI: 10.1021/acs.est.5b01347
Lopez-Ridaura S, Masera O, Astier M, 2002. Evaluating the sustainability of complex socio-environmental systems. The MESMIS framework. Ecological Indicators 2: 135-148.
Lopez-Ridaura S, van der Werf H M G, Paillat J M, Le Bris B, 2009. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. Journal of Environmental Management 90: 1296-1304.
Maystre L Y, Pictet J, Simos J, 1994. Méthodes multicritères ELECTRE. Description, conseils pratiques et cas d'application à la gestion environnementale. Presses polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse.
Meadows D H, Meadows D L, Randers J, Behrens III W W, 1972. The limits to growth: a report for the club of Rome's project on the predicament of mankind. Universe books, New York, USA.
Meier M, Stoessel F, Jungbluth N, Juraske R, Scader C, Stolze M, 2015. Environmental impacts of organic and conventional agricultural products. Are the differences captured by life cycle assessment? Journal of Environmental Management 149: 193-208.
Meijer W J M, van der Werf H M G, Mathijssen E W J M, van den Brink P W M, 1995. Constraints to dry matter production in fibre hemp (Cannabis sativa L.). European Journal of Agronomy 4: 109-117.
Mercier J R, 1978. Energie et agriculture, le choix écologique. Editions Debard, Paris, 192 p.
Meynard J M, Dedieu B, et Bos A P, 2012. Re-design and co-design of farming systems. An overview of methods and practices. Pages 405-430 dans : Darnhofer I, Gibbon D, Dedieu B (eds.) Farming Systems Research into the 21st Century: The New Dynamic. Springer, Dordrecht, The Netherlands, 489 p.
Millenium Ecosystem Assessment, 2005. Ecosystems and human well-being: synthesis. Island Press, Washington DC, USA.

Moreau P, Ruiz L, Mabon F, Raimbault T, Durand P, Delaby L, Devienne S, Vertès F, 2012. Reconciling technical, economic and environmental efficiency of farming systems in vulnerable areas. Agriculture, Ecosystems and Environment 147: 89-99.

Mosnier E, van der Werf H M G, Boissy J, Dourmad J Y, 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino-acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. Animal 5 (12): 1972-1983.

Nguyen T T H, Bouvarel I, Ponchant P, van der Werf H M G, 2011. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. Journal of Cleaner Production 28: 215-224.

Nguyen T T H, van der Werf H M G, Eugène M, Veysset P, Devun J, Chesneau G, Doreau M, 2012. Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. Livestock Science 145: 239-251.

Nguyen T T H, Doreau M, Eugène M, Corson M S, Garcia-Launay F, Chesneau G, van der Werf H M G, 2013a. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. Animal 7(5): 860-869.

Nguyen T T H, Doreau M, Corson M S, Eugène M, Delaby L, Chesneau G, Gallard Y, van der Werf H M G, 2013b. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level. Journal of Environmental Management 120: 127-137.

Nguyen T T H, Corson M S, Doreau M. Eugène M, van der Werf H M G, 2013c. Consequential LCA of switching from maize silage-based to grass-based dairy systems. International Journal of Life Cycle Assessment 18: 1470–1484.

Nolot J M, Debaeke P, 2003. Principes et outils de conception, conduite et évaluation de systèmes de culture, Cahiers Agricultures 12, 387–400.

Papatryphon E, Petit J, Kaushik S J, van der Werf H M G, 2004. Environmental impact assessment of salmonid feeds using Life Cycle Assessment. Ambio 33 (6): 316-323.

Papatryphon E, Petit J, van der Werf H M G, Kaushik S J, Kanyarushoki C, 2005. Nutrient balance modeling as a tool for environmental management in aquaculture: the case of trout farming in France. Environmental Management 35: 161-174.

Payraudeau S, van der Werf H M G, 2005. Environmental impact assessment for a farming region: a review of methods. Agriculture, Ecosystems and Environment 107: 1-19.

Payraudeau S, van der Werf H M G, Vertès F, 2006. Evaluation of an operational method for the estimation of emissions of nitrogen compounds for a group of farms. International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology 5 (2/3): 224-246.

Payraudeau S, van der Werf H M G, Vertès F, 2007. Analysis of the uncertainty associated with the estimation of nitrogenous emissions from a group of farms. Agricultural Systems 94: 416-430.

Pervanchon F, Bockstaller C, Girardin P, 2002. Assessment of energy use in arable farming systems by means of an agro-ecological indicator: the energy indicator. Agricultural Systems 72: 149-172.

Petit J, van der Werf H M G, 2003. Perception of the environmental impacts of current and alternative modes of pig production by stakeholder groups. Journal of Environmental Management, 68: 377-386.

Phalan B, Onial M, Balmford A, Green R E, 2011. Reconciling food production and biodiversity conservation: land sharing and land sparing compared. Science: 333: 1289-1291.

Potier D, 2014. Pesticides et agro-écologie, les champs du possible. Rapport de Dominque Potier, député de Meurthe-et-Moselle, au premier ministre Manuel Valls. Téléchargé le 25 février sur : http://www.developpement-durable.gouv.fr/IMG/pdf/Rapport-Potier-HD-22122014-Sans-TraitsDeCoupe.pdf

Prudêncio da Silva V, van der Werf H M G, Spies A, Soares S R, 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. Journal of Environmental Management 91: 1831-1839.

Prudêncio da Silva V, van der Werf H M G, Soares S R, Corson M S, 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: an LCA approach. Journal of Environmental Management 133: 222-231.

Rockström J, Steffen W, Noone K, Persson A, Chapin III F S, Lambin E F, Lenton T M, Scheffer M, Folke C, Schellnhuber H J, Nykvist B, de Wit C A, Hughes T, van der Leeuw S, Rodhe H, Sörlin S, Snyder K K, Costanza R, Svedin U, Falkenmark M, Karlberg L, Corell L W, Fabry V J, Hansen J, Walker B, Liverman D, Richardson K, Crutzen P, Foley J A, 2009. A safe operating space for humanity. Nature 461: 472-475.

Roussel O, Cavelier A, van der Werf H M G, 2000. Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effect of pesticides applied to field crops. Agriculture, Ecosystems and Environment 80: 143-158.

Salou T, Le Mouel C, van der Werf H M G, 2016. Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters! Journal of Cleaner Production, in press.

Schärlig A, 1985. Décider sur plusieurs critères. Panorama de l'aide à la décision multicritère. Presses Polytechniques et universitaires romandes, Lausanne, Suisse.
Schröder J J, Dilz K, 1987. Cattle slurry and farmyard manure as fertilizers for forage maize. In: Van der Meer, H.G. et al. (Eds.) Animal Manure on Grassland and Fodder Crops. Fertilizer or Waste. Developments in plant and soil sciences. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht, 134-156.
Schumacher E F, 1973. Small Is beautiful: a study of economics as if people mattered.
Sebillotte M, Soler L G, 1988. Le concept de modèle général et la compréhension du comportement de l'agriculteur, C.R. Acad. Agric. Fr.74 : 59-70.
Servigné P, 2013. Nourrir l'Europe en temps de crise. Vers des systèmes alimentaires résilients. Les Verts, Alliance Libre Européenne au parlement Européen, Bruxelles, Belgique, 46 p. Téléchargé le 2 avril 2015 à : http://www.greens-efa.eu/nourrir-l-europe-en-temps-de-crise-10570.html
Souza D M, Teixeira R F M, Osterman O P, 2015. Assessing biodiversity loss due to land use with Life Cycle Assessment: are we there yet? Global Change Biology 21: 32-47.
Steffen W, Richardson K, Rockström J, Cornell S E, Fetzer I, Bennett E M, Biggs R, Carpenter S R, de Vries W, C A de Wit, Folke C, Gerten D, Heinke J, Mace G M, Persson L M, Ramanathan V, Reyers B, Sörlin V, 2015. Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. Science 347, 1259855.
SUD, 2014. INRA : L'agriculture biologique = 0,5 % de la production scientifique de l'INRA ! Actualité consulté le 25 février 2015 sur : http://www.sud-recherche.org/SPIPprod/spip.php?article1962
Suter II G W, 1993. A critique of ecosystem health concepts and indexes. Environmental Toxicology and Chemistry, 12, 1533-1539.
Thoreau H D, 1854. Walden; or, Life in the woods. Harper Classics, 1965, Harper and Row, New York, USA.
Tilman D, Balzer C, Hill J, Befort B L, 2011. Global food demand and the sustainable intensification of agriculture. Proc. Natl. Acand. Sci. USA 108: 20260-20264.
Tittonnel P, 2014. Ecological intensification of agriculture – sustainable by nature. Current Opinion in Environmental Sustanability 8: 53-61.
Tomlinson I, 2013. Doubling food production to feed the 9 billion: A Critical Perspective on a key discourse of food security in the UK. Journal of Rural Studies, 29: 81-90.
Tscharntke T, Clough Y, Wanger T C, Jackson L, Motzke I, Perfecto I, Vandermeer J, Whitbread A, 2012. Global food security, biodiversity conservation and the future of agricultural intensification. Biological Conservation 155: 53-59.
Turner G M, 2012. On the cusp of global collapse? Updated comparison of *The limits to growth* with historical data. GAiA – Ecological Perspectives for Science and Society 21: 116-124.
Van der Werf H M G, Hoek H, Soepboer M J, 1989. Undesired self-pollination of the parent plant decreases dry matter yield of silage maize. Journal of Agronomy and Crop Science 162, 43-48.
Van der Werf H M G, Klooster J J, van der Schans D A, Boone F R, Veen B W, 1991a. The effect of inter-row cultivation on yield of weed-free maize. Journal of Agronomy and Crop Science 166: 249-258.
Van der Werf H M G, Veen B W, Tollenaar M, 1991b. Xylem exudate yield from detopped maize plants as an estimator of root pruning. Plant and Soil 134: 277-280.
Van der Werf H M G, Meijer W J M, Mathijssen E W J M, Darwinkel A, 1993. Potential dry matter production of *Miscanthus sinensis* in the Netherlands. Industrial Crops and Products 1: 203-210.
Van der Werf H M G, 1993. The effect of plastic mulch and greenhouse-raised seedlings on yield of maize. Journal of Agronomy and Crop Science 170: 261-269.
Van der Werf H M G, Tollenaar M, 1993. The effect of damage to the root system caused by inter-row cultivation on growth of maize. Journal of Agronomy and Crop Science, 171: 31-35.
Van der Werf H M G, van den Berg W, Muller AJ, 1994a. Estimation of yield of silage maize dry matter from volume harvested or by sampling harvested trailer loads. Journal of Agricultural Engineering Research, 57: 207-212.
Van der Werf H M G, Harsveld van der Veen J E, Bouma A T M, ten Cate M, 1994b. Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. Industrial Crops and Products, 2: 219-227.
Van der Werf H M G, Haasken H J, Wijlhuizen M, 1994c. The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). European Journal of Agronomy, 3: 117-123.
Van der Werf H M G, van Geel W C A, Wijlhuizen M, 1995a. Agronomic research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands. Journal of the International Hemp Association 2: 14-17.
Van der Werf H M G, Brouwer K, Wijlhuizen M, Withagen J C M, 1995b. The effect of temperature on leaf appearance and canopy establishment in fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Annals of Applied Biology 126: 551-561.
Van der Werf H M G, Wijlhuizen M, de Schutter J A A, 1995c. Plant density and self-thinning affect yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research 40: 153-164.
Van der Werf H M G, van Geel W C A, van Gils L J C, Haverkort A J, 1995d. Nitrogen fertilization and row width affect self-thinning and yield of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Field Crops Research 42: 27-37.

Van der Werf H M G, van den Berg W, 1995. Nitrogen fertilization and sex expression affect size variability of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). Oecologia 103: 462-470.
Van der Werf H M G, Mathijssen E W J M, Haverkort A J, 1996. The potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) for sustainable fibre production, a crop physiological appraisal. Annals of Applied Biology: 129: 109-123.
Van der Werf H M G, 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. Agriculture, Ecosystems and Environment 60: 81-96.
Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. Chemosphere 36: 2225-2249.
Van der Werf H M G, Leterme P, Gasiglia F, Bocher F, Munier-Jolain N, Chauvel B, Cavelier A, Laurent P, 1999. Elaboration de systèmes de culture adaptés à la préservation de la qualité de l'eau. Rapport final, Programme Bretagne Eau Pure II. INRA, Rennes, 81 p.
Van der Werf H M G, Petit J, 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: a comparison and analysis of 12 indicator-based methods. Agriculture, Ecosystems and Environment, 93: 131-145.
Van der Werf H M G, Petit J, Sanders J, 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: the case of pig feed in Bretagne. Agricultural Systems, 83: 153-177.
Van der Werf H M G, Tzilivakis J, Lewis K, Basset-Mens C, 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. Agriculture, Ecosystems and Environment, 118: 327-338.
Van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Corson M S, 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. Journal of Environmental Management 90: 3643-3652.
Van der Werf H M G, Alaphilippe A, Deytieux V, Gabrielle B, Hélias A, Lopez-Ridaura S, 2011a. Plateforme INRA Analyse de Cycle de Vie. Analyse des besoins, cahier des charges, développements méthodologiques nécessaires et scénarios pour une plateforme ACV à l'INRA. Rapport interne INRA, janvier 2011, 46 p.
Van der Werf H M G, Alaphilippe A, Deytieux V, Gabrielle B, Hélias A, Lopez-Ridaura S, 2011b. Plateforme INRA Analyse de Cycle de Vie. Mise en oeuvre d'une plateforme ACV production agricole et transformation. Rapport interne INRA, juin 2011, 25 p.
Van der Werf H M G, Corson M S, Wilfart A, 2013. LCA Food 2012 – Towards sustainable food systems. International Journal of Life Cycle Assessment 18 (5): 1180-1183.
Van der Werf H M G, Garnett T, Corson M S, Hayashi K, Huisingh D, Cederberg C, 2014. Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. Journal of Cleaner Production 73: 1-9.
Van der Werf H M G, Salou T, 2015. Economic value as a functional unit for environmental labelling of food and other consumer products. Journal of Cleaner Production 94, 394-397. 10.1016/j.jclepro.2015.01.077
Van Grinsven H J M, Erisman J W, de Vries W, Westhoek H, 2015. Potential of extensification of European agriculture for a more sustainable food system, focusing on nitrogen. Environmental Research Letters 10: 025002.
Van Zelm R., Larrey-Lasalle P, Roux P, 2014. Bridging the gap between life cycle inventory and impact assessment for toxicological assessments of pesticides used in crop production. Chemosphere 100: 175-181.
Vereijken P, 1986. From conventional to integrated agriculture. Netherlands Journal of Agricultural Science 34: 387-393.
Vereijken P, 1989. From integral control to integrated farming, an experimental approach. Agriculture Ecosystems and Environment 26: 37-43.
Vereijken P., 1997. A methodical way of prototyping integrated and ecological arable farming systems (I/EAFS) in interaction with pilot farms. European Journal of Agronomy 7: 235-250.
Vereijken P, 2002. Transition to multifunctional land use and agriculture. Netherlands Journal of Agricultural Science 50 (2): 171 -179.
Viaux P, 1999. Une troisième voie en grande culture. Environnement, qualité, rentabilité. Editions France Agricole, Paris, France, 211 p.
Weinstoerffer J, Girardin P, 2000. Assessment of the contribution of land use pattern and intensity to landscape quality: use of a landscape indicator. Ecological Modelling 130: 95-109.

ANNEXE 1 : Liste des travaux

Publications dans des revues à comité de lecture

Les auteurs dont le nom est écrit en gras sont des étudiants et postdocs que j'ai (co)encadré

[81] Coelho C R V, Pernollet F, van der Werf H M G, 2016. Environmental life cycle assessment of diets with improved omega-3 fatty acid profiles. *Plos One*, 11 (8), e0160397.

[80] Pernollet F, Coelho C R V, van der Werf H M G, 2016. Methods to simplify diet and food life cycle inventories: accuracy versus data-collection resources. *Journal of Cleaner production, in press*. 10.1016/j.jclepro.2016.06.111

[79] **Salou T**, Le Mouel C, van der Werf H M G, 2016. Environmental impacts of dairy system intensification: the functional unit matters! *Journal of Cleaner Production*, in press.

[78] **Liao W**, van der Werf H M G, Salmon-Monviola J, 2015. Improved environmental life cycle assessment of crop production at the catchment scale via a process-based nitrogen simulation model. *Environmental Science and Technology* 49 (18): 10790-10796. 10.1021/acs.est.5b01347

[77] Van der Werf H M G, **Salou T**, 2015. Economic value as a functional unit for environmental labelling of food and other consumer products. *Journal of Cleaner Production* 94: 394-397. 10.1016/j.jclepro.2015.01.077

[76] Van der Werf H M G, **Nguyen T T H**, 2015. Construction cost of plant compounds provides a physical relationship for co-product allocation in life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 20 (6): 777-784. 10.1007/s11367-015-0872-0

[75] **Andrianandraina**, Ventura A, Senga Kiessé T, Cazacliu B, Idir R, van der Werf H M G, 2015. Sensitivity Analysis of Environmental Process Modeling in a Life Cycle Context: A Case Study of Hemp Crop Production. *Journal of Industrial Ecology* 19 (6): 978-993. 10.1111/jiec.12228

[74] Colomb V, Ait Amar S, Basset-Mens C, Gac A, Gaillard G, Koch P, Mousset J, **Salou T**, Tailleur A, van der Werf H M G, 2014. AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. *Ocl.* 22 (1), D104 10.1051/ocl/20140047

[73] Garcia-Launay F, van der Werf H M G, **Nguyen T T H**, Le Tutour L, Dourmad J Y, 2014. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in pig. production using Life Cycle Assessment. *Livestock Science.* 161: 158-175. 10.1016/j.livsci.2013.11.027

[72] Naudin C, van der Werf H M G, Jeuffroy M H, Corre-Hellou G, 2014. Life cycle assessment applied to pea-wheat intercrops: A new method for handling the impacts of co-products. *Journal of Cleaner Production* 73: 80-87 10.1016/j.jclepro.2013.12.029

[71] **Prudencio da Silva V**, van der Werf H M G, Soares S R, Corson M S, 2014. Environmental impacts of French and Brazilian broiler chicken production scenarios: An LCA approach. *Journal of Environmental Management* 133: 222-231. 10.1016/j.jenvman.2013.12.011

[71] Van der Werf H M G, Garnett T, Corson M S, Hayashi K, Huisingh D, Cederberg C, 2014. Towards eco-efficient agriculture and food systems: theory, praxis and future challenges. *Journal of Cleaner Production* 73: 1-9. 10.1016/j.jclepro.2014.04.017

[70] Garrigues E, Corson M S, Angers D A, van der Werf H M G, Walter C, 2013. Development of a soil compaction indicator in life cycle assessment. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (7): 1316-1324 10.1007/s11367-013-0586-0

[69] Mungkung R, Aubin J, Prihadi T H, Slembrouck J, van der Werf H M G, Legendre M, 2013. Life Cycle Assessment for environmentally sustainable aquaculture management: a case study of combined aquaculture systems for carp and tilapia. *Journal of Cleaner Production* 57: 249-256 10.1016/j.jclepro.2013.05.029

[68] **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. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (8): 1470-1484 10.1007/s11367-013-0605-1

[67] **Nguyen T T H,** Doreau M, Corson M S, Eugène M, Delaby L, Chesneau G, van der Werf H M G, 2013. Effect of dairy production system, breed and co-product handling methods on environmental impacts at farm level. *Journal of Environmental Management.* 120, 127-137 10.1016/j.jenvman.2013.01.028

[66] **Nguyen T T H**, Doreau M, Eugène M, Corson M S, Garcia-Launay F, Chesneau G, Gallard Y, van der Werf H M G, 2013. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land use on environmental impacts of beef cattle production systems. *Animal* 7 (5): 860-869 10.1017/s1751731112002200

[65] Van der Werf H M G, Corson MS, Wilfart A, 2013. LCA Food 2012 - Towards sustainable food systems. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (5): 1180-1183 10.1007/s11367-013-0571-7

[64] Van Middelaar C E, Cederberg C, Vellinga T V, van der Werf H M G, de Boer I J M, 2013. Exploring variability in methods and data sensitivity in carbon footprints of feed ingredients. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18 (4): 768-782 10.1007/s11367-012-0521-9

[63] **Acosta-Alba I**, Corson M.S, van der Werf H M G, Leterme P, 2012. Using reference values to assess environmental sustainability of dairy farms. *Renewable Agriculture and Food Systems* 27 (3): 217-227 10.1017/s1742170511000329

[62] **Acosta-Alba I**, **Lopéz-Ridaura S**, van der Werf H M G, Leterme P, Corson M S, 2012. Exploring sustainable farming scenarios at a regional scale: An application to dairy farms in Brittany. *Journal of Cleaner Production* 28: 160-167 10.1016/j.jclepro.2011.11.061

[61] Efole Ewoukem T, Aubin J, Mikolasek O, Corson M S, Eyango M T, Tchoumboue J, van der Werf H M G, Ombredane D, 2012. Environmental impacts of farms integrating aquaculture and agriculture in Cameroon. *Journal of Cleaner Production* 28: 208-214 10.1016/j.jclepro.2011.11.039

[60] Garrigues E, Corson M S, Angers D A, van der Werf H M G, Walter C, 2012. Soil quality in Life Cycle Assessment: Towards development of an indicator. *Ecological Indicators* 18: 434-442 10.1016/j.ecolind.2011.12.014

[59] Mungkung R, Gheewala S H, Kanyarushoki C, Hospido A, van der Werf H M G, Poovarodom N, Bonnet S, Aubin J, Moreira M T, Feijoo G, 2012. Product carbon footprinting in Thailand: a step towards sustainable consumption and production? *Environmental Development* 3: 100-108 10.1016/j.envdev.2012.03.019,

[58] **Nguyen T T H**, Bouvarel I, Ponchant P, van der Werf H M G, 2012. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. *Journal of Cleaner Production* 28: 215-224 10.1016/j.jclepro.2011.06.029

[57] **Nguyen T T H**, van der Werf H M G, Doreau M, 2012. Life cycle assessment of three bull-fattening systems: Effect of impact categories on ranking. *Journal of Agricultural Science* 150 (6): 755-763 10.1017/s0021859612000123

[56] **Nguyen T T H**, van der Werf H M G, Eugene M, Veysset P, Devun J, Chesneau G, Doreau M, 2012. Effects of type of ration and allocation methods on the environmental impacts of beef-production systems. *Livestock Science* 145 (1-3): 239-251 10.1016/j.livsci.2012.02.010

[55] Samson E, van der Werf H M G, Dupraz P, Ruas J F, Corson M S, 2012. Estimer les impacts environnementaux des systèmes de production agricole par analyse de cycle de vie avec les données du Réseau d'information comptable agricole (RICA) français. *Cahiers Agricultures* 21 (4): 248-257 10.1684/agr.2012.0581

[54] **Acosta-Alba I**, van der Werf H M G, 2011. The use of reference values in indicator-based methods for the environmental assessment of agricultural systems. *Sustainability* 3 (2): 424-442 10.3390/su3020424

[53] Boissy J, Aubin J, Drissi A, van der Werf H M G, Bell G J, Kaushik S J, 2011. Environmental impacts of plant-based salmonid diets at feed and farm scales. *Aquaculture* 321 (1-2): 61-70 10.1016/j.aquaculture.2011.08.033

[52] De Boer I J M, Cederberg C, Eady S, Gollnow S, Kristensen T, Macleod M, Meul M, Nemecek T, Phong L T, Thoma G, van der Werf H M G, Williams A G, Zonderland-Thomassen M A, 2011. Greenhouse gas mitigation in animal production: towards an integrated life cycle sustainability assessment. *Current Opinion in Environmental Sustainability* 3 (5): 423-431 10.1016/j.cosust.2011.08.007

[51] Doreau M, van der Werf H M G, Micol D, Dubroeucq H, Agabriel J, Rochette Y, Martin C, 2011. Enteric methane production and greenhouse gases balance of diets differing in concentrate in the fattening phase of a beef production system. *Journal of Animal Science* 89 (8): 2518-2528 10.2527/jas.2010-3140

[50] Mosnier E, van der Werf H M G, Boissy J, Dourmad J Y, 2011. Evaluation of the environmental implications of the incorporation of feed-use amino acids in the manufacturing of pig and broiler feeds using Life Cycle Assessment. *Animal* 5 (12): 1972-1983 10.1017/s1751731111001078

[49] **Prudêncio da Silva V**, van der Werf H M G, Spies A, Soares S R, 2010. Variability in environmental impacts of Brazilian soybean according to crop production and transport scenarios. *Journal of Environmental Management* 91 (9): 1831-1839 10.1016/j.jenvman.2010.04.001

[48] Aubin J, **Papatryphon E**, van der Werf H M G, Chatzifotis S, 2009. Assessment of the environmental impact of carnivorous finfish production systems using life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production* 17 (3): 354-361 10.1016/j.jclepro.2008.08.008

[47] Aubin J, van der Werf H M G, 2009. Fish farming and the environment: A life cycle assessment approach | Pisciculture et environnement: Apports de l'analyse du cycle de vie. *Cahiers Agricultures* 18 (2): 220-226 10.1684/agr.2009.0287

[46] **Lopez-Ridaura S**, van der Werf H M G, Paillat J M, Le Bris B, 2009. Environmental evaluation of transfer and treatment of excess pig slurry by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* 90 (2): 1296-1304 10.1016/j.jenvman.2008.07.008

[45] Van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Corson M S, 2009. An operational method for the evaluation of resource use and environmental impacts of dairy farms by life cycle assessment. *Journal of Environmental Management* 90 (11): 3643-3652 10.1016/j.jenvman.2009.07.003

[44] Bonneau M, Dourmad J Y, Lebret B, Meunier-Salaün M C, Espagnol S, Salaün Y, Leterme P, van der Werf H M G, 2008. Evaluation globale des systèmes de production porcine et leur optimisation au niveau de l'exploitation. *Productions Animales* 21 (4): 367-386

[43] Van der Werf H M G, Turunen L, 2008. The environmental impacts of the production of hemp and flax textile yarn. *Industrial Crops and Products* 27 (1): 1-10 10.1016/j.indcrop.2007.05.003

[42] Basset-Mens C, van der Werf H M G, Robin P, Morvan T, Hassouna M, Paillat J M, Vertès F, 2007. Methods and data for the environmental inventory of contrasting pig production systems. *Journal of Cleaner Production* 15 (15): 1395-1405 10.1016/j.jclepro.2006.03.009

[41] **Payraudeau S**, van der Werf H M G, Vertès F, 2007. Analysis of the uncertainty associated with the estimation of nitrogen losses from farming systems. *Agricultural Systems* 94 (2): 416-430 10.1016/j.agsy.2006.11.014

[40] Van der Werf H M G, Tzilivakis J. Lewis K, **Basset-Mens C**, 2007. Environmental impacts of farm scenarios according to five assessment methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 118 (1-4): 327-338 10.1016/j.agee.2006.06.005

[39] Aubin J, **Papatryphon E**, van der Werf H M G, Petit J, Morvan Y M, 2006. Characterisation of the environmental impact of a turbot (*Scophthalmus maximus*) re-circulating production system using Life Cycle Assessment. *Aquaculture* 261 (4): 1259-1268 10.1016/j.aquaculture.2006.09.008

[38] **Basset-Mens C**, Anibar L, Durand P, van der Werf H M G, 2006. Spatialised fate factors for nitrate in catchments: Modelling approach and implication for LCA results. *Science of the Total Environment* 367 (1): 367-382 10.1016/j.scitotenv.2005.12.026

[37] **Basset-Mens C**, van der Werf H M G, Durand P, Leterme P, 2006. Implications of uncertainty and variability in the life cycle assessment of pig production systems. *International Journal of Life Cycle Assessment* 11 (5): 298-304 10.1065/lca2005.08.219

[36] **Payraudeau S**, van der Werf H M G, Vertès F, 2006. Evaluation of an operational method for the estimation of emissions of nitrogen compounds for a group of farms. *International Journal of Agricultural Resources, Governance and Ecology* 5 (2-3): 224-246

[35] **Basset-Mens C**, van der Werf H M G, 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: The case of pig production in France. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 105 (1-2): 127-144 10.1016/j.agee.2004.05.007

[34] Halberg N, van der Werf H M G, **Basset-Mens C**, Dalgaard R, de Boer I J M, 2005. Environmental assessment tools for the evaluation and improvement of European livestock production systems. *Livestock Production Science* 96 (1 SPEC. ISS.): 33-50 10.1016/j.livprodsci.2005.05.013

[33] **Papatryphon E**, Petit J, van der Werf H M G, Kaushik J S, Kanyarushoki C, 2005. Nutrient-balance modeling as a tool for environmental management in aquaculture: The case of trout farming in France. *Environmental Management* 35 (2): 161-174 10.1007/s00267-004-4020-2

[32] **Payraudeau S**, van der Werf H M G, 2005. Environmental impact assessment for a farming region: A review of methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment.* 107 (1): 1-19 10.1016/j.agee.2004.12.012

[31] Van der Werf H M G, Petit J, **Sanders J**, 2005. The environmental impacts of the production of concentrated feed: The case of pig feed in Bretagne. *Agricultural Systems* 83 (2): 153-177 10.1016/j.agsy.2004.03.005

[30] **Papatryphon E**, Petit J, Kaushik S J, van der Werf H M G, 2004. Environmental impact assessment of salmonid feeds using Life Cycle Assessment (LCA). *Ambio.* 33 (6), 316-323 10.1639/0044-7447(2004)033[0316:eiaosf]2.0.co;2

[29] van der Werf H M G, 2004. Life Cycle Analysis of field production of fibre hemp, the effect of production practices on environmental impacts. *Euphytica* 140 (1-2): 13-23 10.1007/s10681-004-4750-2

[28] Petit J, van der Werf H M G, 2003. Perception of the environmental impacts of current and alternative modes of pig production by stakeholder groups. *Journal of Environmental Management* 68 (4): 377-386 10.1016/s0301-4797(03)00105-1

[27] Reus J, Leendertse P, Bockstaller C, Fomsgaard I, Gutsche V, Lewis K, Nilsson C, Pussemier L, Trevisan M, van der Werf H, Alfarroba F, Blumel S, Isart J, McGrath D, Seppala T, 2002. Comparison and evaluation of eight pesticide environmental risk indicators developed in Europe and recommendations for future use. *Agriculture Ecosystems & Environment* 90 (2): 177-187 10.1016/s0167-8809(01)00197-9

[26] Van der Werf H M G, Petit J, 2002. Evaluation of the environmental impact of agriculture at the farm level: A comparison and analysis of 12 indicator-based methods. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 93 (1-3): 131-145 10.1016/s0167-8809(01)00354-1

[25] Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H, 2000. Assessment of potential impacts of agricultural practices on the environment: The AGRO*ECO method. *Environmental Impact Assessment Review* 20 (2): 227-239 10.1016/s0195-9255(99)00036-0

[24] **Roussel O**, Cavelier A, van der Werf H M G, 2000. Adaptation and use of a fuzzy expert system to assess the environmental effect of pesticides applied to field crops. *Agriculture Ecosystems & Environment* 80 (1-2): 143-158 10.1016/s0167-8809(00)00142-0

[23] Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H, 1999. Indicators: Tools to evaluate the environmental impacts of farming systems. *Journal of Sustainable Agriculture* 13 (4): 5-21 10.1300/J064v13n04_03

[22] Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. An indicator of pesticide environmental impact based on a fuzzy expert system. *Chemosphere* 36 (10) 2225-2249 10.1016/s0045-6535(97)10194-1

[21] Bockstaller C, Girardin P, van der Werf H M G, 1997. Use of agro-ecological indicators for the evaluation of farming systems. *European Journal of Agronomy* 7 (1-3): 261-270 10.1016/s1161-0301(97)00041-5

[20] Van der Werf H M G, 1996. Assessing the impact of pesticides on the environment. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 60 (2-3): 81-96 10.1016/s0167-8809(96)01096-1

[19] Van der Werf H M G, Mathijssen E W J M, Haverkort A J, 1996. The potential of hemp (*Cannabis sativa* L.) for sustainable fibre production: A crop physiological appraisal. *Annals of Applied Biology* 129 (1): 109-123

[18] Meijer W J M, van der Werf H M G, Mathijssen E, van den Brink P W M, 1995. Constraints to dry-matter production in fiber hemp (*Cannabis sativa* L). *European Journal of Agronomy* 4 (1): 109-117

[17] Van der Werf H M G, van Geel W C, **van Gils L J**, Haverkort A J, 1995. Nitrogen fertilization and row width affect self-thinning and productivity of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Field Crops Research* 42 (1): 27-37 10.1016/0378-4290(95)00017-k

[16] Van der Werf H M G, Wijlhuizen M, **de Schutter J A**, 1995. Plant density and self-thinning affect yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *Field Crops Research* 40 (3): 153-164 10.1016/0378-4290(94)00103-j

[15] Van der Werf H M G, **Brouwer K**, Wijlhuizen M, Withagen J C M, 1995. The effect of temperature on leaf appearance and canopy establishment in fiber hemp (*Cannabis sativa* L). *Annals of Applied Biology* 126 (3): 551-561

[14] Van der Werf H M G, van den Berg W, 1995. Nitrogen-fertilization and sex expression affect size variability of fiber hemp (*Cannabis sativa* L). *Oecologia* 103 (4): 462-470

[13] Alblas J, Wanink F, van den Akker J, van der Werf H M G, 1994. Impact of traffic-induced compaction of sandy soils on the yield of silage maize in The Netherlands. *Soil and Tillage Research* 29 (2-3): 157-165 10.1016/0167-1987(94)90052-3

[12] De Meijer E P M, van der Werf H M G, 1994. Evaluation of current methods to estimate pulp yield of hemp. *Industrial Crops and Products* 2 (2): 111-120 10.1016/0926-6690(94)90092-2

[11] Van der Werf H M G, **Haasken H J**, Wijlhuizen M, 1994. The effect of daylength on yield and quality of fibre hemp (*Cannabis sativa* L.). *European Journal of Agronomy* 3 (2): 117-123

[10] Van der Werf H M G, Harsveld van der Veen J E, **Bouma A T M**, ten Cate M, 1994. Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. *Industrial Crops and Products* 2 (3): 219-227 10.1016/0926-6690(94)90039-6

[9] Van der Werf H M G, van den Berg W, **Muller A J**, 1994. Estimation of yield of silage maize dry-matter from volume harvested or by sampling harvested trailer loads. *Journal of Agricultural Engineering Research* 57 (3): 207-212 10.1006/jaer.1994.1020

[8] Van der Werf H M G, 1993. The effect of plastic mulch and greenhouse-raised seedlings on yield of maize. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* 170 (4): 261-269

[7] Van der Werf H M G, Tollenaar M, 1993. The effect of damage to the root-system caused by inter-row cultivation on growth of maize. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* 171 (1): 31-35

[6] Van der Werf H M G, Meijer W J M, Mathijssen E W J.M, Darwinkel A, 1992. Potential dry matter production of Miscanthus sinensis in The Netherlands. *Industrial Crops and Products* 1 (2-4): 203-210

[5] Van der Werf H M G, Klooster J J, van der Schans D A, Boone F R, Veen B W, 1991. The effect of inter-row cultivation on yield of weed-free maize. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* 166 (4): 249-258

[4] Van der Werf H M G, Veen BW, Tollenaar M. 1991. Xylem exudate yield from detopped maize plants as an estimator of root pruning. *Plant and Soil* 134 (2): 277-280

[3] Van der Werf H M G, Hoek J, Soepboer M J, 1989. Undesired self-pollination of the parent plant decreases dry-matter yield of silage maize. *Journal of Agronomy and Crop Science-Zeitschrift Fur Acker Und Pflanzenbau* 162 (1): 43-48

[2] Boone F R, van der Werf H M G, Kroesbergen B, Ten Hag B A, Boers A, 1987. The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage .2. Soil-conditions and plant-growth. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 35 (2): 113-128

[1] Boone F R, van der Werf H M G, Kroesbergen B, Ten Hag B A, Boers A, 1986. The effect of compaction of the arable layer in sandy soils on the growth of maize for silage .1. Critical matric water potentials in relation to soil aeration and mechanical impedance. *Netherlands Journal of Agricultural Science* 34 (2): 155-171

Publications dans des revues sans comité de lecture

Nau F, Floury J, van der Werf H, Le Minous AE, 2016. Les œufs et les ovoproduits dans l'alimentation des Français. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*. doi:10.1016/j.cnd.2016.03.002

Colomb V, Colsaet A, Basset-Mens C, Fosse J, Gac A, Mevel G, Mousset J, Tailleur A, van der Werf H, 2015. Analyses du Cycle de Vie en agriculture : enseignements du programme AGRIBALYSE. *Agronomie, Environnement et Sociétés* 5 : 117-131.

Gac A, Agabriel J, Dollé J B, Faverdin P, van der Werf H, 2014. Le potentiel d'atténuation des gaz à effet de serre en productions bovines. *Innovations Agronomiques* 37: 67-81.

Bouvarel I, Pottiez E, Magdelaine P, Seguin F, Conan S, Pineau C, Dennery G, Landrault M, Riffard C, Guyot M, Cresson C, Gonnier V, van der Horst F, Lessire M, Leguen R, Garnier J F, Leroyer J, van der Werf H, Lescoat P, 2013. AVIBIO : Des systèmes durables pour dynamiser l'AVIculture BIOlogique. *Innovations Agronomiques* 30: 13-25.

Auberger J, Gésan-Guiziou G, Haese C, Aubin J, van der Werf H, 2013. MEANS : une plateforme informatique INRA pour l'analyse multicritère de la durabilité des systèmes agricoles et agro-alimentaires. *Innovations Agronomiques* 31: 169-181.

Van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Corson M S, 2011. L'Analyse de Cycle de Vie : un nouveau regard sur les systèmes de production agricole. *Innovations Agronomiques* 12: 121-133.

Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Corson M, Roger F, 2011. Évaluation environnementale de systèmes de production laitiers : comparaison des systèmes conventionnels et biologiques avec l'outil EDEN. *Sciences, Eaux et Territoires* 4 : 32-37

Redlingshöfer B, van der Werf H M G, 2009. Quoi de neuf du coté des analyses de cycle de vie dans l'agriculture et l'alimentation ? *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 57: 147-150.

Turunen L., van der Werf H M G, 2007. The production chain of hemp and flax textile yarn and its environmental impacts. *Journal of Industrial Hemp* 12 (2): 43-66 10.1300/J237v12n02_04

Van der Werf H M G, 2007. Book review. Le chanvre industriel. Pierre Bouloc (Editor). Editions France Agricole, Paris, France. *Journal of Industrial Hemp* 12 (1): 97-101.

Van der Werf H M G, 2005. Book review. Bast and other plant fibres. Robert R. Franck (Editor). Woodhead Publishing Limited, Cambridge, United Kingdom. *Journal of Industrial Hemp* 10 (2): 115-117.

Van der Werf H M G, 2005. Book review. Agroecosystems analysis. D. Rickerl and C. Francis (Eds.). American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America Publishers, Madison, Wisconsin, USA. *Agricultural Systems* 83: 334-336.

Van der Werf H M G, Petit J, 2002. Evaluation de l'impact environnemental de l'agriculture au niveau de la ferme, comparaison et analyse de 12 méthodes basées sur des indicateurs. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 46: 121-133.

Van der Werf H M G, 2002. Hemp Production Notes. Hemp Production in France. *Journal of Industrial Hemp* 7(2): 105-109.

Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. Evaluation of environmental impact. *Pesticide News* 39 (March): 8.

Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. Un indicateur d'impact environnemental de pesticides basé sur un système expert à logique floue. *Courrier de l'Environnement de l'INRA* 34: 46-66.

Van der Werf H M G, 1997. The effect of plant density on light interception in hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association* 4: 8-13.

Ivanyi I, Izsaki Z, van der Werf H M G, 1997. Influence of nitrogen supply and P and K levels of the soil on dry matter and nutrient accumulation of fiber hemp (*Cannabis sativa* L.). *Journal of the International Hemp Association* 4: 84-89.

Van der Werf H M G, 1997. Evaluer l'impact des pesticides sur l'environnement. *Courrier de l'environnement de l'INRA* 31: 5-22.

Van der Werf H M G, van Geel W C A, Wijlhuizen M, 1995. Agronomic research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands. *Journal of the International Hemp Association* 2: 14-17.

Van der Werf H M G, 1994. Paper from Dutch hemp? *Journal of the International Hemp Association* 1: 18-19.

Van der Werf H M G, 1994. Hemp facts and hemp fiction. *Journal of the International Hemp Association* 1: 58.

Wanink F, Alblas J, van der Werf H M G, van den Akker J, 1990. Snijmaïsopbrengst beïnvloed door berijding. *Landbouwmechanisatie* 41: 28-29.

Van der Werf H M G, van Wijk C, 1989. Teeltvervroeging bij snijmaïs, corn cob mix en suikermaïs. *Landbouwmechanisatie* 40: 5: 28-29.

Van der Werf H M G, Hoek J, 1989. Bijzaaien of overzaaien bij een te laag plantgetal van snijmaïs. *Landbouwmechanisatie* 40: 5: 15-17.

Van der Werf H M G, van der Schans D A, Klooster J J, Wander J G N, 1989. Oppervlakkige grondbewerking tussen de gewasrijen bij maïs. *Landbouwmechanisatie* 40, 5: 20-21.

Van der Werf H M G, 1988. Het gebruik van groeiregulatoren bij de teelt van snijmaïs. *Landbouwmechanisatie* 39, 5: 32-33.

Van der Werf H M G, 1988. Het optimale oogsttijdstip van snijmaïs. *Landbouwmechanisatie* 39, 9: 8-9.

Van der Werf H M G, 1987. Slechte plekken in maïspercelen, oorzaken en oplossingen. *Boer en tuinder*, 1 mei: 38-39.

Van der Werf H M G, 1987. Rijafstand en opbrengst bij "stereo"-zaaien van maïs. *Landbouwmechanisatie* 38, 3: 258-259.

Van der Werf H M G, 1985. Maïsteelt onder plactic folie. *PP Magazine* 2 (februari): 33-34.

Van der Werf H M G, 1985. Wat heeft het maïsjaar 1984 ons geleerd? *PP Magazine* 3 (maart).

Van der Werf H M G, 1985. Teelt vochtige korrelmaïs vereist vakmanschap. *Boerderij* 70 (27, 3 april): 72-74.

Van der Werf H M G, 1985. Maïsteelt onder plastic moet zich nog bewijzen. *Boerderij/Veehouderij* 70 (10 april): 18-19.

Ten Hag B A, van der Werf H M G, 1985. Naar een geslaagde snijmaïsteelt in 1985. *Boer en tuinder*, maart: 59-61.

Van der Werf H M G, 1985. Snijmaïsonderzoek in Frankrijk ook interessant voor ons. *Boerderij/Veehouderij* 70 (24 juli): 22-23.

Van der Werf H M G, 1984. Geef de maïs een goede start. *PP Magazine* 3, 79.

Van der Werf H M G, 1984. Tref nu maatregelen voor het volgende gewas. *PP Magazine* 10.

Ten Hag B A, van der Werf H M G, 1984. Snijmaïsteelt op zijn best. *Boerderij/Veehouderij* 69 (21 maart): 18-19.

Van Dijk H, van der Werf H M G, 1984.Oogsttijdstip snijmaïs dit jaar erg belangrijk. *Boerderij* 69 (52, 26 september).

Van der Werf H, 1983. Teeltmaatregelen voor volgende maïsgewas beginnen nu. *Boerderij* 69 (6): 42-43.

Van der Werf H, van der Schans D, 1983. De invloed van mechanische onkruidbestrijding op de opbrengst van maïs. Influence of mechanical weed control on maize yield. *Landbouwmechanisatie* 34 (4): 403-407

Van der Werf H, ten Hag B A, Boone F R, Kroesbergen B, Boers A, 1983. De invloed van verdichting van de bouwvoor op de groei en opbrengst van snijmaïs op zandgrond. Influence of soil compaction on the growth and yield of maize on sandy soils. *Landbouwmechanisatie* 34 (4): 393-396

Van der Werf H, van der Schans D A, Klooster J J, 1983. Einfluss mechanischer Unkrautbekämpfung auf den Ertrag von Mais. *Mais* 2, 26-32.

Van der Werf H, uit het Broek L, 1982. Eko-maisteelt. *Ekoland* 2 (3): 1-4.

Ouvrages et chapitres d'ouvrage, rapports diplômants

Aubin J, van der Werf H M G, 2015. Les méthodes d'analyse de l'impact environnemental de l'alimentation : Empreinte Carbone, Empreinte Ecologique, Analyse du Cycle de Vie. Pages 258-259 in : C. Esnouf, J. Fioramonti, B. Laurioux, J.P. Poulain (eds.) l'Alimentation à découvert, CNRS Editions, Paris, France.

Paillat J M, **Lopez-Ridaura S**, van der Werf H M G, Guerrin F, 2014 La gestion des effluents d'élevage : des outils pour analyser la complémentarité des systèmes d'élevage. Pages 104-124 in : Pellerin S., Butler F., van Laethem C. (eds.) Fertilisation et environnement. Quelles pistes pour l'aide à la décision ? Editions Quaae, Versailles, et ACTA, Paris.

Colomb V, Aït-Amar S, Basset-Mens C, Dollé J B, Gac A, Gaillard G, Koch P, Lellahi A, Mousset J, **Salou T**, Tailleur A, van der Werf H, 2014. AGRIBALYSE®: Assessment and lessons for the future, Version 1.1. Ed. ADEME, Angers, France. 54 pages.

Nguyen T T H, van der Werf H M G, 2013. Comparaison de différentes méthodes d'allocation pour les matières premières utilisées en alimentation animale. Effets sur les résultats d'Analyse du Cycle de Vie. Rapport de projet, n° de convention 13-60-C0020. ADEME, Angers, France. 45 pages.

Bouloc P, van der Werf H M G, 2013. The role of hemp in sustainable development. Pages 278-289 in: Bouloc P, Allegret S, Arnaud L (eds.) Hemp : industrial production and uses. ISBN 978-1-84593-793-5, DOI 10.1079/9781845937935.0278 CABI, Wallingford, United Kingdom.

Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), 2012. Book of Abstracts of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, 273 p.

Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), 2012. Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France, ISBN 978-2-7466-5740-3. INRA, Rennes, France, 955 p.

Van der Werf H M G, 2011. Methods to assess environmental impacts of livestock. Pages 24-33 in: Döhler H, Eurich-Menden B, Grimm E, Hoffmann M, Schultheiss U, Wulf S (eds.) Emissionen des Tierhaltung. Triebhausgase, Umweltbewertung, Stand der Technik. KTBL-Tagung, 6-8 Dezember 2011, Kloster Banz, Bad Staffelstein. KTBL, Darmstadt, Germany. ISBN 978-3-941583-59-7

Van der Werf H M G, Alaphilippe A, Deytieux V, Gabrielle B, Hélias A, Lopez-Ridaura S, 2011. Plateforme INRA Analyse de Cycle de Vie. Analyse des besoins, cahier des charges, développements méthodologiques nécessaires et scénarios pour une plateforme ACV à l'INRA. Rapport interne INRA, janvier 2011, 46 p.

Van der Werf H M G, Alaphilippe A, Deytieux V, Gabrielle B, Hélias A, Lopez-Ridaura S, 2011. Plateforme INRA Analyse de Cycle de Vie. Mise en oeuvre d'une plateforme ACV production agricole et transformation 2012□2017. Rapport interne INRA, juin 2011, 25 p.

Mungkung R, Gheewala S H, Bonnet S, Hospido A, Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Poovarodom N, 2010. Carbon Footprinting and Labelling Experiences in Thailand. Report of the Thailand-EC Cooperation Facility Project Results. Kasetsart University, Bangkok, Thailand. 59 p

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2006. Multicriteria environmental assessment of contrasting pig farming systems. Pages 271-277 in: Rubino R, Sepe L, Dimitriadou A, Gibon A (eds.) Lifestock farming systems. Product quality based on local resources leading to improved sustainability. EAAP publication No. 118, Wageningen Academic Publishers, Wageningen, The Netherlands.

Van der Werf H M G, 2006. Les impacts environnementaux de la culture du chanvre. Pages 401-409 in: Bouloc P (coordinateur), Le chanvre industriel, production et utilisations. Editions France Agricole, Paris, France.

Kanyarushoki C, van der Werf H, Roger F, 2006. Evaluation de la durabilité des systèmes de production bovins en Bretagne. Rapport final. GIS AGRO-TRANSFERT Bretagne 2003-2006. Chambre d'Agriculture Bretagne, INRA, Rennes, France, 222 p.

Turunen L, van der Werf H, 2006. Life Cycle Analysis of Hemp Textile Yarn. Comparison of three hemp fibre processing scenarios and a flax scenario. Report resulting from the EU project HEMP SYS, Contract no. QLK5-CT-2002-01363. INRA, UMR Sol, Agronomie Spatialisation, Rennes, France. 81 p.

Capillon A, Gabrielle B, Girardin P, Guichard L, Guillaume B, Hubert A, Leiser H, Soulas G, van der Werf H, 2005. Méthodes d'évaluation des impacts environnementaux des pratiques agricoles. INRA, Département Environnement et Agronomie, Avignon, France.

Cavelier A, Roussel O, van der Werf H M G, 2002. Le risque de pollution par les pesticides. Pages 192-207 in: Alard V, Béranger C, Journet M (eds.) A la recherche d'une agriculture durable. Etude de systèmes herbagers économes en Bretagne. Institut National de la Recherche Agronomique, Paris, France.

Basset C, van der Werf H M G, 2002. Inventaire environnemental d'un scenario de production de porc biologique. Deuxième rapport d'avancement ADEME-These, "Evaluation environnmentale multi-critères des exploitations porcines, 47 p.

Van der Werf H M G, Leterme P, Gasiglia F, Bocher F, Munier-Jolain N, Chauvel B, Cavelier A, Laurent P, 1999. Elaboration de systèmes de culture adaptés à la préservation de la qualité de l'eau. Rapport final, Programme Bretagne Eau Pure II. Inra, Rennes.

Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H, 1999. A method to assess the environmental impact of farming systems by means of agri-ecological indicators. Pages 297-312 in: Pykh Y.A., Hyatt D.E., and Lenz R.J.M. (eds.) Environmental Indices: Systems Analysis Approach. EOLSS Publishers Co., Oxford, UK.

Reus J, Leendertse P, Bockstaller C, Fomsgaard I, Gutsche V, Lewis K, Nilsson C, Pussemier L, Trevisan M, van der Werf H, Alfarroba F, Blümel S, Isart J, McGrath D, Seppälä T, 1999. Comparing environmental risk indicators for pesticides. Results of the European CAPER Project. Centre for Agriculture and Environment. Utrecht, Netherlands. CLM report 426.

Van der Werf H M G, Mathijssen E W J M, Haverkort A J, 1999. Crop physiology of Cannabis sativa L.: a simulation study of potential yield of hemp in northwest Europe. Pages 85-108 in: Ranalli P (ed.) Advances in Hemp Research, Food Products Press, an imprint of Haworth Press, Binghamton, New York, USA.

Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H M G, 1996. Evaluation of the sustainability of a farm by means of indicators. Pages 280-296 in: Behl R.K., Gupta A.P., Khurana A.L., and Singh A. (eds.) Resource management in fragile environments. CCs HAU, Hisar and MMB, New Dehli, India.

Van der Werf H M G, 1994. A review of the literature. Agronomy and crop physiology of fiber hemp. Pages 123-138 in: Rosenthal E (ed.) Hemp Today. Quick American Archives, San Francisco, California, USA.

Van der Werf H M G, 1994. Fiber hemp in France. Pages 213-220 in: Rosenthal E (ed.) Hemp Today. Quick American Archives, San Francisco, California, USA.

Van der Werf H M G, 1994. Paper from Dutch hemp? Pages 225-228 in: Rosenthal E (ed.) Hemp Today. Quick American Archives, San Francisco, California, USA.

Van der Werf H M G, 1994. Fiber hemp in the Ukraine, 1993. Pages 279-288 in: Rosenthal E (ed.) Hemp Today. Quick American Archives, San Francisco, California, USA.

van der Werf H M G, van Geel W C A, 1994. Vezelhennep als papiergrondstof. Teeltonderzoek 1990-1993. PAGV-verslag 177, PAGV, Lelystad, 62 p.

van der Werf H M G, van Geel W C A, Wijlhuizen M, 1994. Vezelhennep, een opsteker voor de akkerbouw? Pages 69-78 in: ten Hag B A, Darwinkel A, Borm G E L (editors) Agrificatie en 'nieuwe' gewassen voor de akkerbouw. Themaboekje nr. 17, PAGV, Lelystad.

Darwinkel A, van Geel W C A, van der Werf H M G, 1994. Miscanthus, een meerjarig energie- en vezelgewas. Pages 79-87 in: ten Hag B A, Darwinkel A, Borm G E L (editors) Agrificatie en 'nieuwe' gewassen voor de akkerbouw. Themaboekje nr. 17, PAGV, Lelystad.

Van Geel, W C A, van der Werf H M G, 1994. Zaaitijdstip van hennep. Pages 115-118 in: Publikatie nr. 73A: Jaarboek 1993/1994, afgesloten praktijkonderzoek, Akkerbouw, PAGV en ROC's.

Van Geel W C A, van der Werf H M G, 1994. Rijenafstand en bestrijding van schimmelziekten in vezelhennep. Pages 119-122 in: Publikatie nr. 73A: Jaarboek 1993/1994, afgesloten praktijkonderzoek, Akkerbouw, PAGV en ROC's.

Van Geel W C A, van der Werf H M G, 1994. Stikstofbemesting van vezelhennep. Pages 123-128 in: Publikatie nr. 73A: Jaarboek 1993/1994, afgesloten praktijkonderzoek, Akkerbouw, PAGV en ROC's.

Van Geel W C A, van der Werf H M G, 1994. Gebruik van groeiregulatoren in vezelhennep. Pages 129-133 in: Publikatie nr. 73A: Jaarboek 1993/1994, afgesloten praktijkonderzoek, Akkerbouw, PAGV en ROC's.

Van der Werf H M G, 1994. Crop physiology of fibre hemp (Cannabis sativa L.). Doctoral thesis, Wageningen Agricultural University, Netherlands, 153 pp.

Van der Werf H M G, 1993. Fibre hemp in Ukraine. Report of a visit to the Institute of Bast Crops of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences at Glukhov, Ukraine. Internal report, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO), Wageningen, Pays-Bas, 11 p.

Van der Schans D A, van der Werf H M G, van den Berg W, 1993. Produktie- en kwaliteitsverloop bij snijmais. Verslag van onderzoek naar het optimale oogsttijdstip bij snijmais. PAGV-verslag 155, PAGV, Lelystad, 75 p.

Van Geel W C A, van der Werf H M G, 1993. De invloed van stikstofgift en plantverdeling op zelfdunning, opbrengst en bastgehalte van vezelhennep. Pages 157-165 in: Publikatie nr. 70 A: Jaarboek 1992/1993, afgesloten praktijkonderzoek, Akkerbouw, PAGV en ROC's.

Van der Werf H M G, 1992. Fibre hemp in France. Report of a visit to the Fédération Nationale des Producteurs de Chanvre at Le Mans. Internal report, Centrum voor Agrobiologisch Onderzoek (CABO-DLO), Wageningen, Pays-Bas, 7 p.

Van der Werf H M G, Meijer W J M, Mathijssen E W J M, Darwinkel A, 1992. De potentiële opbrengst van Miscanthus sinensis cv Giganteus in Nederland. Pages 134-137 in: Jaarboek 1991/1992, afgesloten praktijkonderzoek. Proefstation AGV, publicatie nr 64, Lelystad.

Van der Werf H M G, 1991. Agronomy and crop physiology of fibre hemp. A literature review. Report 142, CABO-DLO, Wageningen, 17 p.

Hennink S, de Meijer E P M, van der Werf H M G, 1991. Report of a visit to the All-Union Scientific and Research Institute of Bast Crops, Glukhov, Ukrainian SSR. Internal report, Centrum voor Plantenveredelings- en Reproductieonderzoek (CPRO-DLO), Wageningen, Pays-Bas, 14 p.

Van der Werf H M G, van den Berg W, Muller A J, 1991. De bepaling van de opbrengst van een perceel snijmaïs bij de oogst. PAGV-verslag 122, PAGV, Lelystad, 38 p.

Van der Werf H M G, 1991. Vezelvorming en -produktie bij hennep.Pages 37-49 in: Meijer W.J.M. & N. Vertregt (ed.). Gewasdiversificatie en Agrificatie. Agrobiologische Thema's. Deel 4, CABO-DLO. Wageningen.

Van der Werf H M G, 1991. Agronomy and crop physiology of fibre hemp. A literature review. Report 142, CABO-DLO, Wageningen, 17pp.

Van der Werf H M G, 1990. Pioneer maize research in the Benelux and UK, 1989. Pioneer Hi-Bred Benelux & UK, Etten-Leur, Netherlands. Internal report, 34 p.

De Meijer E P M, van der Werf H M G, Meijer W, 1990. Verdeleing en gewaskennis van hennep in Hongarije. Reisverslag – 5 en 6 juli 1990. Internal report, Centrum voor Plantenveredelingsonderzoek (CPO-DLO), Wageningen, Pays-Bas, 14 p.

Van der Werf H M G, Hoek H, 1989. Teeltvervroeging bij maïs. Het effect van bodembedekkend plastic folie en uitplanten op de opbrengst van maïs. Verslag nr. 79, PAGV, Lelystad, 30 p.

Van der Werf H M G, Klooster J J, van der Schans D A, 1989. Oppervlakkige grondbewerking in het gewas maïs. Verslag nr. 84, PAGV, Lelystad, 77 p.

Van der Werf H M G, van der Schans D A, Klooster J J, Wander J G N, 1989. Oppervlakkige grondbewerking tussen de gewasrijen bij maïs. Pages 128-130 in: PAGV Jaarboek 1988-1989, publicatie nr. 49, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, 1988. Het optimale oogsttijdstip van snijmaïs. Verslag nr. 73, PAGV, Lelystad, 51 p.

Van der Werf H M G, Alblas J, 1988. Onderzoek naar diepwortelende gewassen ter voorkoming van bodemverdichting. Interne mededeling nr. 531, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, Hoek H, 1988. Bijzaaien en overzaaien van snijmaïs. Verslag nr. 78, PAGV, Lelystad, 25 p.

Van der Werf H M G, Hoek H, 1988. Bijzaaien is beter dan overzaaien bij een te laag plantgetal van snijmaïs. PAGV Pages 115-122 in: Jaarboek 1987-1988, publicatie nr. 43, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, Hoek H, 1988. Vervroeging van maïs door bodembedekkende folie en uitplanten. PAGV Pages 123-132 in: Jaarboek 1987-1988, publicatie nr. 43, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, 1988. The effect of inter-row cultivation and root cutting on growth and yield of maize. MSc thesis, University of Guelph, Canada.

Van der Werf H M G, **Muller A J**, 1987. Schatting van de drogestofopbrengst van snijmaïs uit het geoogste volume. Pages 144-148 in: Jaarboek 1986, publicatie nr. 38, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, Hoek H, Soepboer M J, 1987. De invloed van rasverontreiniging in de vorm van zelfbestoven moederplanten op de drogestofopbrengst van snijmaïs. Pages 136-143 in: Jaarboek 1986, publicatie nr. 38. PAGV, Lelystad,.

Van der Werf H M G, 1987. Het gemiddelde aantal kg drogestof per m3 van snijmaïs in een oogstwagen in 1987. Interne mededeling nr. 516, PAGV, Lelystad.

Van der Werf H M G, 1985. Invloed van zaadkwaliteit en kiemomstandigheden op de opkomst van snijmaïs. In: Jaarverslag 1984, ROC Vredepeel.

Van der Werf H M G, 1985. Bijzaaien of overzaaien na slechte opkomst van snijmaïs. In: Jaarverslag 1984, ROC Wijnandsrade.

Van der Werf H M G, 1985. Bijzaaien of overzaaien na slechte opkomst van snijmaïs. In: Jaarverslag 1984, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1985. Opbrengstmogelijkheden van maïsrassen als snijmaïs en als Corn Cob Mix. In: Jaarverslag 1984, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1985. Maïs zaaien onder plastic folie. In: Jaarverslag 1984, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1985. Maïs zaaien onder plastic folie. In: Jaarverslag 1984, ROC Aver Heino.

Van der Werf H M G, Havinga L, 1985. Snijmaïs in continuteelt bij verschillende behandeling van de bodem. In: Jaarverslag 1984, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1985. Bodembehandeling bij continuteelt van snijmaïs 1983-1984. In: Jaarverslag 1984, ROC Aver Heino.

Van der Werf H M G, 1985. De invloed van maatregelen voor mechanische onkruidbestrijding op de opbrengst van maïs 1983 en 1984. In: Jaarverslag 1984, ROC Aver Heino.

Van der Werf H M G, 1984. Teeltoptimalisatie bij maïs, ROC Aver Heino. In: Jaarverslag 1983, ROC Aver Heino.

Van der Schans D A, van der Werf H M G, 1983. Snijmaïs in continuteelt bij verschillende behandelingen van de bodem. In: Jaarverslag 1983, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1984. Drijfmestaanwending in het maïsgewas. In: Jaarverslag 1983, ROC Cranendonck.

Aarts H F M, van der Werf H M G, 1983. Onkruidbestrijdingssystemen in snijmaïs. In: Jaarverslag 1983, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1984. Bijzaaien of overzaaien na slechte opkomst van snijmaïs. In: Jaarverslag 1983, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1984. Opbrengstmogelijkheden van maïsrassen als snijmaïs en als Corn Cob Mix. In: Jaarverslag 1983, ROC Cranendonck.

Van der Werf H M G, 1984. Bijzaaien of overzaaien na slechte opkomst van maïs. In: Jaarverslag 1983, ROC Wijnandsrade.

Van der Werf H M G, 1984. Invloed van zaadkwaliteit en kiemomstandigheden op de opkomst van snijmaïs. In: Jaarverslag 1983, ROC Vredepeel.

Van der Werf H M G, 1984. De invloed van continuteelt bij snijmaïs. In: Jaarverslag 1983, ROC Vredepeel.

Van der Werf, H M G, 1980. Mechanische onkruidbestrijding in granen. Rapport de fin d'études du Rijks Hogere Landbouwschool (Ecole Supérieure Impériale d'Agriculture) de Deventer, Deventer, Pays-Bas, 57 p.

Proceedings

Pernollet F, Coelho C, van der Werf H M G, 2015. Simplified modelling of environmental impacts of foods and diets: accuracy versus data collection resources. In: Scalbi S, Dominici Loprieno A, Sposatop P (eds.) Proceedings of the International conference on Life Cycle Assessment as reference methodology for assessing supply chains and supporting global sustainability challenges. LCA for Feeding the planet and eneergy for life. Stresa, 6-7 october 2015, Milano, Expo 8th October 2015. ENEA Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development, Roma, p 122-125.

Colomb V, Ait Amar S, Basset Mens C, Gac A, Gaillard G, Koch P, Mousset J, **Salou T**, Tailleur A, van der Werf H M G, 2014 AGRIBALYSE®, the French LCI Database for agricultural products: high quality data for producers and environmental labelling. In: Schenck R, Huizenga D (Eds.). Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, p. 248-254.

Gac A, **Salou T**, Espagnol S, Ponchant P, Dollé J B, van der Werf H M G, 2014. An original way of handling co-products with a biophysical approach in LCAs of livestock systems. In: Schenck R, Huizenga D (Eds.). Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, p. 443-449.

Liao W, van der Werf H M G, Salmon-Monviola J, 2014. Modelling of nitrogen releases in life cycle assessment of crop production. In: Schenck R, Huizenga D (Eds.). Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, p. 718-724.

Salou T, Espagnol S, Gac A, Ponchant P, Tocqueville A, Colomb V, van der Werf H M G, 2014. Life Cycle Assessment of French livestock products: Results of the AGRIBALYSE® program. In: Schenck R, Huizenga D (Eds.). Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, p. 1154-1162.

Van der Werf H M G, **Nguyen T T H**, 2014. Construction cost of plant compounds provides a physical relationship for co-product allocation in life cycle assessment. In: Schenck R, Huizenga D (Eds.). Proceedings of the 9th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2014), 8-10 October 2014, San Francisco, USA. ACLCA, Vashon, WA, USA, p. 1418-1426.

Seguin F, Bouvarel I, Pottiez E, van der Werf H, 2013. Analyse du cycle de vie des produits avicoles biologiques en France. Dixièmes Journées de la Recherche Avicole (JRA). La Rochelle, 26-28 mars 2013.

Salou T, Mathias E, Tailleur A, Paillier A, van der Werf H M G, 2012. Considering land use change and soil carbon dynamics in an LCA of French agricultural products. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 264-269.

Garrigues E, Corson M S, Walter C, Angers D A, van der Werf H, 2012. Soil-quality indicators in LCA: method presentation with a case study. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 343-348.

Naudin C, van der Werf H, Jeuffroy M H, Corre-Hellou G, 2012. LCA applied to pea-wheat intercrops: the significance of allocation. Soil-quality indicators in LCA: method presentation with a case study. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 462-467.

Nguyen T T H, Doreau M, Eugène M, Corson M S, Garcia-Launay F, Chesneau G, van der Werf H M G, 2012. Effect of farming practices for greenhouse gas mitigation and subsequent alternative land-use on environmental impacts of beef cattle production systems. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 601-606.

Espagnol S, Salou T, van der Werf H, 2012. Characterisation of the pig systems panel for the production of environmental data in the program Agri-BALYSE. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 670.

Ewoukem T E, Aubin J, Mikolasek O, Corson M S, van der Werf H, Ombredane D, 2012. Life cycle assessment of integrated fish pond aquaculture of household farms in sub-Saharan Africa. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 703.

Van der Werf H, Auberger J, Haese C, Gésan-Guiziou G, Aubin J, 2012. A software and database platform for multi-criteria assessment of agri-food systems. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 882-883.

Andrianandraina, van der Werf H, Ventura A Idir R, 2012. Ecodesign of plant-based building materials using LCA: crop production and primary transformation of hemp. in: Corson M S, van der Werf H M G (Eds.), Proceedings of the 8th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector (LCA Food 2012), 1-4 October 2012, Saint Malo, France. INRA, Rennes, France, p. 892-893.

Seguin F, van der Werf H M G, Bouvarel I, Pottiez E, 2011. Environmental analysis of organic broiler production in France and improvement options. Proceedings of the International conference Life Cycle Management 2011, LCM 2011, August 28-31, 2010, Berlin Germany. Disponible à : http://www.lcm2011.org/papers.html

Seguin F, Bouvarel I, Tusek J L, Debiard A, Quentin M, van der Werf H, 2011. Impacts environnementaux liés à la production d'aliments pour poulets biologiques. Neuvièmes Journées de la Recherche Avicole (JRA). Tours, 29 et 30 mars 2011.

Fuchs F, Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Bochu J L, 2010. Evaluation environnementale des systèmes polyculture-élevage et du cycle de vie du lait : vers un changement de paradigme ? 16èmes journées de la Recherche sur les Ruminants, décembre 2009, Paris, France.

Van der Werf H M G, Basset-Mens C, 2010. Evaluation environnementale par analyse de cycle de vie : pourquoi et comment ? In: Les colloques de l'Académie d'Agriculture de France, n° 1, Colloque du 28 avril 2009, Elevages intensifs et environnement. Les effluents : menace ou richesse ? Pages 17-29.

Paillat J M, Guerrin F, **Lopez-Ridaura S**, van der Werf H M G, Médoc J M, Morvan T, Leterme P, Saint Macary H, 2010. Gestion des effluents d'élevage à l'échelle d'un territoire : cas des unités de traitement et des plans d'épandage collectifs. In: Les colloques de l'Académie d'Agriculture de France, n° 1, Colloque du 28 avril 2009, Elevages intensifs et environnement. Les effluents : menace ou richesse ? Pages 119-134.

Van der Werf H M G, Gaillard G, Biard Y, Koch P, Basset-Mens C, Gac A, Lellahi A, Deltour L, 2010. Creation of a public LCA database of French agricultural raw products: Agri-BALYSE. In: Proceedings volume 1, Lcafood 2010, 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. September 22–44, 2010, Bari, Italy, Notarnicola et al. (eds.), Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy, 439-442.

Kanyarushoki C, van der Werf H M G, Fuchs F, 2010. Life cycle Assessment of cow and goat milk chains in France. In: Proceedings volume 2, Lcafood 2010, 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. September 22–44, 2010, Bari, Italy, Notarnicola et al. (eds.), Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy, 174-179.

Prudêncio da Silva V, van der Werf H M G, Soares S R, 2010. LCA of French and Brazilian broiler poultry production scenarios. In: Proceedings volume 1, Lcafood 2010, 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. September 22–44, 2010, Bari, Italy, Notarnicola et al. (eds.), Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy, 475-480.

Nguyen T T H, Bouvarel I, Ponchant P, van der Werf H M G, 2010. Using environmental constraints to formulate low-impact poultry feeds. In: Proceedings volume 2, Lcafood 2010, 7th International Conference on Life Cycle Assessment in the Agri-Food Sector. September 22–44, 2010, Bari, Italy, Notarnicola et al. (eds.), Università degli studi di Bari Aldo Moro, Bari, Italy, 203-208.

Paillat J M, **Lopez-Ridaura S**, Guerrin F, van der Werf H M G, Morvan T, Leterme P, 2009. Simulation de la faisibilité d'un plan d'épandage de lisier de porc et conséquences sur les émissions gazeuses au stockage et à l'épandage. Journées de la Recherche Porcine 41 : 271-276.

Kanyarushoki C., Fuchs F., van der Werf H M G, 2009. Environmental evaluation of cow and goat milk chains in France. In: Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain. November 12–14, 2008, Zurich, Switzerland, Nemecek T, Gaillard G (eds.), Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 108-114.

Baruthio A, Aubin J, Mungkung R, Lazard J, van der Werf H M G, 2009. Environmental assessment of Filipino fish/prawn polyculture using Life Cycle Assessment. In: Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain. November 12–14, 2008, Zurich, Switzerland, Nemecek T, Gaillard G, (eds.), Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 242-247.

Corson M S, van der Werf H M G, 2009. Effect of structural and management characteristics on variability of dairy farm environmental impacts. In: Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain. November 12–14, 2008, Zurich, Switzerland, Nemecek T, Gaillard G, (eds.), Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 280-285.

Lopez-Ridaura S, Deltour L, Paillat J M, van der Werf H M G, 2009. Comparing options for pig slurry management by Life Cycle Assessment. In: Proceedings of the 6th International Conference on LCA in the Agri-Food Sector – Towards a sustainable management of the Food chain. November 12–14, 2008, Zurich, Switzerland, Nemecek T, Gaillard G, (eds.), Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, 360-369.

Dourmad J Y, Rigolot C, van der Werf H, 2008. Emission of Greenhouse gas, developing management and animal farming systems to assist mitigation. In: Proceedings International Conference Livestock and Global Climate Change 2008. Editors Rowlinson et al. May 17-20, Hammamet, Tunesia. Cambridge University Press, cambridge, United Kingdom, ISBN 978-0-906562-62-8.

Lopez-Ridaura S, van der Werf H M G, Paillat J M, Guerrin F, 2008. Environmental systems analysis of agricultural systems: Coupling dynamic simulation models with life cycle assessment. /Proceedings of the Eighth International Conference on EcoBalance//. The challenge of creating social and technological innovation through system-thinking. /Dec.10 - 12, 2008, Tokyo, Japan. CD sn. 4 p.

Kanyarushoki Claver, van der Werf Hayo, Roger Françoise, Corson Michael, 2008. EDEN : Un outil opérationnel pour L'évaluation environnementale des systèmes de production laitiers. Proceedings of the Symposium Ecotechs08 : Des éco-indicateurs à l'évaluation et à la certification environnementale, 21-22 octobre 2008, Montoldre, France. CD rom containing the proceedings can be obtained from Marilys Pradel (marilys.pradel@cemagref.fr) at Cemagref.

Roger F, van der Werf H, Kanyarushoki C, 2007. Systèmes bovins lait bretons : Consommation d'énergie et impacts environnementaux sur l'air, l'eau et le sol. Rencontres Recherches Ruminants 14 : 33-36.

Lopez-Ridaura S, van der Werf H M G, Paillat J M, Le Bris B, 2007. Tranférer ou Traiter ? Evaluation environnementale de deux modes de gestion du lisier excédentaire par Analyse de Cycle de Vie. Journées de la Recherche Porcine 39 : 7-12.

Lopez-Ridaura S, Guerrin F, Paillat J M, van der Werf H M G, Morvan T, 2007. Agronomic and environmental evaluation of collective manure management for a group of farms. In: Farming Systems Design 2007, Int. Symposium on Methodologies on Integrated Analysis of Farm Production Systems, Donnatelli M, Hatfield J, Rizzoli A Eds., Catania, Italy, 10-12 September, book 1 – Farm-regional scale design and improvement, 92-93.

Van der Werf H M G, Kanyarushoki C, Corson M, 2007. An operational method for evaluating resource use and environmental impacts of farming systems. In: Farming Systems Design 2007, Int. Symposium on Methodologies on Integrated Analysis of Farm Production Systems, Donnatelli M, Hatfield J, Rizzoli A, Eds., Catania, Italy, 10-12 September, book 2 – Field-farm scale design and improvement, 147-148.

Van der Werf H M G, 2006. The evaluation of the environmental impacts of protein sources for concentrated feed. In: Proceedings workshop "Grain legumes and the environment: how to assess benefits and impacts". November 18-19, 2004, Zürich, Switserland. AEP, European Association for grain legume research, Paris, France. Pages 27-33.

Gaillard G, Charles R, van der Werf H M G, 2006. Methodology for environmental assessment of grain legumes: state of the art. In: Proceedings workshop "Grain legumes and the environment: how to assess benefits and impacts". November 18-19, 2004, Zürich, Switserland. AEP, European Association for grain legume research, Paris, France. Pages 41-44.

Van der Werf H M G, Turunen L, 2006. Environmental impacts of hemp and flax textile yarn production. In: Proceedings HEMP SYS Final Conference. April 28, 2006, Bologna, Italy. DiSTA, Facoltà di Agraria, Bologna, Italy. Pages 43-50.

Le Gall A, Vertès F, Pfimlin A, Chambaut H, Delaby L, Durand P, van der Werf H, Turpin N, Bras A, 2005. Country report: France. In: (Bos J, Pfimlin A, Aarts F, Vertès F, eds.) Nutrient management at farm scale. How to attain policy objectives in regions with intensive dairy farming? First workshop of the EGF Working Group "Dairy Farming Systems and Environment"23-25 June 2003, Quimper, France. Report 83, Plant Research International B.V., Wageningen, Netherlands: p. 111-136.

Van der Werf H M G, **Basset-Mens C**, Aubin J, Leterme P, Papatryphon E, Payraudeau S, Petit J, 2005. Life Cycle Analysis, a tool for the development of sustainable farming systems. In: Proceedings International workshop on Green Pork Production, "Porcherie verte", a research initiative on environment-friendly pig production. May-25-27, 2005, Paris, France: p. 161-162.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2005. Scenario-based environmental assessment of farming systems: the case of pig production in France. In: Proceedings International workshop on Green Pork Production, "Porcherie verte", a research initiative on environment-friendly pig production. May-25-27, 2005, Paris, France: p. 163-164.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2004. Evaluation environnementale de systèmes de production de porc contrastés. Journées Recherches Porcines 36: 47 - 52.

Robin P, Hassouna M, **Basset-Mens C**, van der Werf H, 2004. Emissions de gaz à effet de serre par les bâtiments d'élevage. Bilan et perspectives des travaux réalisés à l'INRA de Rennes. Proceedings MICCES Avignon, France.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2004. Environmental assessment of contrasting pig farming systems in France. In: Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference, October 6-8 2003, Bygholm, Denmark: p. 45-54.

Papatryphon E, Petit J, van der Werf H M G, 2004. Life Cycle Asssessment of trout farming in France: a farm level approach. In: Life Cycle Assessment in the Agri-food sector. Proceedings from the 4th International Conference, October 6-8 2003, Bygholm, Denmark: p. 71-77.

Basset-Mens C, van der Werf H M G, 2003. Multicriteria environmental assessment of contrasting pig farming systems. In: Proceedings of the 6th International Livestock Farming System Symposium. Product quality based on local resources and its potential contribution to improved sustainability. 26-29 August 2003, Benevento, Italy: p. 177-183.

Papatryphon E, Petit J, Kaushik S.J., van der Werf H M G, 2002. An evaluation of the environmental impacts of aquaculture feeds using life cycle assessment (LCA). In: Aquaculture Europe 2002 - Seafarming today and tomorrow, Barsuco B., Saroglia M. (Eds). European Aquaculture Society Special Publication n° 32, Oostende, Belgium : p.415-416.

Van der Werf H, **Basset C**, Petit J, Leterme P, 2002. Adaptation et application de la méthode d'Analyse de Cycle de Vie (ACV) à des modes et contextes de production contrastés. In: G.I.S. Porcherie Verte, séminaire des travaux 2000 – 2002, INRA, La Rochelle, les 4 et 5 septembre 2002, p.116-119.

Cavelier A, Gillet H, van der Werf H M G, 1999. Les méthodes d'approche des pratiques phytosanitaires et du risque de pollution par les pesticides. In: Actes du colloque, Programme Systèmes Terre et Eau 1994-1999, 29 et 30 avril 1999, Ploufragan, France, p. 12-15.

Cavelier A, **Roussel O**, van der Werf H M G, 1999. Evaluation de l'impact environnemental des applications de pesticides sur un réseau d'exploitations bretonnes de polyculture-élevage au moyen d'un indicateur pendant la campagne 1995-1996. In: Actes du colloque, Programme Systèmes Terre et Eau 1994-1999, 29 et 30 avril 1999, Ploufragan, France, p. 147-156.

Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. Evaluating the impact of pesticides on the environment using an indicator based on fuzzy coded variables. In: Book of Abstracts of the International Conference Engineering of Decision Support Systems in Bio-Industries, Montpellier-Narbonne, France, p. 39-40.

Van der Werf H M G, Zimmer C, 1998. A fuzzy expert system to evaluate the impact of pesticides on the environment. In: Proceedings of the Integrated Pest Management Measurements Systems Workshop, Amercian Farmland Trust, Center for Agriculture in the Environment, Chicago, Illinois, USA, p.123-125.

Munier-Jolain N M, Chauvel B, Gasiglia F, van der Werf H M G, Leterme P, 1998. Association de desherbage mécanique et chimique sur maïs. Quelles conséquences pour l'évolution à long terme de la flore adventice? In: Proc. 17ème Conf. COLUMA. Journées Internationales sur la lutte contre les Mauvaises Herbes, ANPP, Dijon, France, p. 395-402.

Van der Werf H M G, 1997. The effect of plant density on light interception in hemp (*Cannabis sativa* L.). In: Proceedings of Bioresource Hemp Symposium, Frankfurt am Main, Germany. nova-Institute, Cologne, Germany.

Van der Werf H M G, Zimmer C, 1996. Evaluating the impact of pesticides on the environment using an indicator based on fuzzy coded variables. In: Book of Abstracts of the 4th ESA Congress. ESA, Colmar, France, p. 716-717.

Girardin P, Bockstaller C, van der Werf H M G, 1996. Evaluation de la durabilité d'une exploitation agricole au moyen d'indicateurs. Communication at the conference: Quel environnement au XXIe siècle?. Fontevraud 8-11 September 1996. INRA-Agronomie, Colmar, France.

Van der Werf H M G, van Geel W C A, Wijlhuizen M, 1995. Agronomic Research on hemp (*Cannabis sativa* L.) in the Netherlands, 1987-1993. Eight pages in: Proceedings of Bioresource Hemp Symposium, Frankfurt am Main, Germany. nova-Institute, Cologne, Germany.

Meijer W J M, van der Werf H M G, van Roekel G J, de Meijer E P M, Huisman W, 1995. Fibre hemp: potentials and constraints. Six pages in: Opportunities and Profits, Proc. Special Crops Conference, Calgary, Alberta, Canada, July 1995. Alberta Agriculture, Food and Rural Development

Van der Werf H M G, Harsveld van der Veen J E, **Bouma A M**, ten Cate M, 1993. Quality of hemp (*Cannabis sativa* L.) stems as a raw material for paper. Two pages in: Proc. of the second European Symposium on Industrial Crops and Products, Pisa, Italy. Elsevier Science Publishers.

Van der Werf H M G, 1993. Biomassaproduktie met eenjarige of meerjarige gewassen [Biomass production with annual or perennial crops]. Pages 256-259 in: Proc. of the fourth Dutch solar energy conference, Veldhoven, Netherlands. Holland Solar, Utrecht, Netherlands.

Van der Werf H M G, Wijlhuizen M, 1992. Yield and quality of non-flowering fibre hemp (*Cannabis sativa* L) in the Netherlands. Proc. 2nd ESA congress, Warwick Univ., UK. Editor Alan Scaife.