



**HAL**  
open science

## Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires : application au cas des légumineuses

Michel Duru, Eric Justes, Gatien Falconnier, Etienne-Pascal Journet, Pierre Triboulet, Marie-Benoît Magrini

### ► To cite this version:

Michel Duru, Eric Justes, Gatien Falconnier, Etienne-Pascal Journet, Pierre Triboulet, et al.. Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires : application au cas des légumineuses. *Agronomie, Environnement & Sociétés*, 2017, 7 (1), pp.83-95. hal-01604568

**HAL Id: hal-01604568**

**<https://hal.science/hal-01604568v1>**

Submitted on 26 May 2020

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

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



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

Juin 2017  
volume n°7 / numéro n°1  
www.agronomie.asso.fr

# Agronomie

environnement & sociétés



La revue de l'association française d'agronomie

# Nutrition et agronomie

ASSOCIATION FRANÇAISE  
AGRONOMIE

# Agronomie, Environnement & Sociétés

Revue éditée par l'Association française d'agronomie (Afa)

Siège : 16 rue Claude Bernard, 75231 Paris Cedex 05.

Secrétariat : 2 place Viala, 34060 Montpellier Cedex 2.

Contact : [afa@supagro.fr](mailto:afa@supagro.fr), T : (00-33)4 99 61 26 42, F : (00-33)4 99 61 29 45

Site Internet : <http://www.agronomie.asso.fr>

## Objectif

AE&S est une revue en ligne à comité de lecture et en accès libre destinée à alimenter les débats sur des thèmes clefs pour l'agriculture et l'agronomie, qui publie différents types d'articles (scientifiques sur des états des connaissances, des lieux, des études de cas, etc.) mais aussi des contributions plus en prise avec un contexte immédiat (débats, entretiens, témoignages, points de vue, controverses) ainsi que des actualités sur la discipline agronomique.

ISSN 1775-4240

## Contenu sous licence Creative commons



Les articles sont publiés sous la *licence Creative Commons 2.0*. La citation ou la reproduction de tout article doit mentionner son titre, le nom de tous les auteurs, la mention de sa publication dans la revue AE&S et de son URL, ainsi que la date de publication.

## Directeur de la publication

Marc BENOÎT, président de l'Afa, Directeur de recherches, Inra

## Rédacteur en chef

Olivier RÉCHAUCHÈRE, chargé d'études Direction de l'Expertise, Prospective & Etudes, Inra

## Membres du bureau éditorial

Pierre-Yves LE GAL, chercheur Cirad

Hervé SAINT MACARY, directeur adjoint du département Persyst, Cirad

Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en ligne

Danielle LANQUETUIT, consultante Triog et webmaster Afa

## Comité de rédaction

- Marc BENOÎT, directeur de recherches Inra

- Valentin BEAUVAL, agriculteur

- Jacques CANEILL, directeur de recherches Inra

- Gérard CATTIN, retraité de la chambre d'agriculture de la Marne

- Joël COTTART, agriculteur

- Thierry DORÉ, professeur d'agronomie AgroParisTech

- Sarah FEUILLETTE, cheffe du Service Prévision Evaluation et Prospective Agence de l'Eau Seine-Normandie

- Yves FRANCOIS, agriculteur

- Jean-Jacques GAILLETON, inspecteur d'agronomie de l'enseignement technique agricole

- François KOCKMANN, chef du service agriculture-environnement Chambre d'agriculture 71

- Marie-Hélène JEUFFROY, directrice de recherche Inra et agricultrice

- Aude JOMIER, enseignante d'agronomie au lycée agricole de Montpellier

- Christine LECLERCQ, professeure d'agronomie Institut Lassalle-Beauvais

- Francis MACARY, ingénieur de recherches Irstea

- Adeline MICHEL, Ingénieure du service agronomie du Centre d'économie rurale de la Manche

- Marc MIQUEL, consultant

- Bertrand OMON, Chambre d'agriculture de l'Eure

- Thierry PAPILLON, enseignant au lycée agricole de Laval

- Philippe POINTEREAU, directeur du pôle agro-environnement à Solagro

- Philippe PRÉVOST, directeur Agreenium Université en Ligne

- Guy TREBUIL, Cirad

## Secrétaire de rédaction

Philippe PREVOST

## Assistantes éditoriales

Sophie DOUHAIRIE et Danielle LANQUETUIT

## Conditions d'abonnement

Les numéros d'AE&S sont principalement diffusés en ligne. La diffusion papier n'est réalisée qu'en direction des adhérents de l'Afa ayant acquitté un supplément (voir conditions à <http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>)

## Périodicité

Semestrielle, numéros paraissant en juin et décembre

## Archivage

Tous les numéros sont accessibles à l'adresse <http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/>

## Soutien à la revue

- En adhérant à l'Afa via le site Internet de l'association (<http://www.agronomie.asso.fr/espace-adherent/devenir-adherent/>). Les adhérents peuvent être invités pour la relecture d'articles.
- En informant votre entourage au sujet de la revue AE&S, en disséminant son URL auprès de vos collègues et étudiants.
- En contactant la bibliothèque de votre institution pour vous assurer que la revue AE&S y est connue.
- Si vous avez produit un texte intéressant traitant de l'agronomie, en le soumettant à la revue. En pensant aussi à la revue AE&S pour la publication d'un numéro spécial suite à une conférence agronomique dans laquelle vous êtes impliqué.

## Instructions aux auteurs

Si vous êtes intéressé(e) par la soumission d'un manuscrit à la revue AE&S, les recommandations aux auteurs sont disponibles à l'adresse suivante :

<http://www.agronomie.asso.fr/carrefour-inter-professionnel/evenements-de-lafa/revue-en-ligne/pour-les-auteurs/>

## À propos de l'Afa

L'Afa a été créée pour faire en sorte que se constitue en France une véritable communauté scientifique et technique autour de cette discipline, par-delà la diversité des métiers et appartenances professionnelles des agronomes ou personnes s'intéressant à l'agronomie. Pour l'Afa, le terme agronomie désigne une discipline scientifique et technologique dont le champ est bien délimité, comme l'illustre cette définition courante : « *Etude scientifique des relations entre les plantes cultivées, le milieu [envisagé sous ses aspects physiques, chimiques et biologiques] et les techniques agricoles* ». Ainsi considérée, l'agronomie est l'une des disciplines concourant à l'étude des questions en rapport avec l'agriculture (dont l'ensemble correspond à l'agronomie au sens large). Plus qu'une société savante, l'Afa veut être avant tout un carrefour interprofessionnel, lieu d'échanges et de débats. Elle se donne deux finalités principales : (i) développer le recours aux concepts, méthodes et techniques de l'agronomie pour appréhender et résoudre les problèmes d'alimentation, d'environnement et de développement durable, aux différentes échelles où ils se posent, de la parcelle à la planète ; (ii) contribuer à ce que l'agronomie évolue en prenant en compte les nouveaux enjeux sociétaux, en intégrant les acquis scientifiques et technologiques, et en s'adaptant à l'évolution des métiers d'agronomes.

**Lisez et faites lire AE&S !**

# Sommaire

## Avant-propos

P7 - O. RÉCHAUCHÈRE (Rédacteur en chef) et M. BENOÎT (Président de l'Afa)

## Éditorial

P9 - S. AVALLONE, M. BENOIT, M. DURU, D. LAIRON et N. ZAKHIA-ROZIS (coordonnateurs du numéro)

## Le contexte : recommandations et besoins nutritionnels, comportement des consommateurs

P13 - Consommations alimentaires et attitudes des consommateurs en France : concilier des motivations multiples  
J.L. VOLATIER

P19 - Le programme national nutrition santé (PNNS) pour une meilleure alimentation et un meilleur état nutritionnel  
S. HERCBERG et C. JULIA

P27 - Les protéines végétales pour l'alimentation humaine  
J.M. CHARDIGNY

P33 - La restauration collective et enjeux de santé publique  
M. BORDMANN et M.L. HUC

P39 - Quelles priorités pour la sécurité alimentaire et nutritionnelle dans les objectifs du développement durable (ODD) ?  
A. BILLAND

## Le diagnostic : l'effet des process de production et de transformation des produits sur la qualité nutritionnelle et sanitaire des aliments

P43 - Qualité nutritionnelle des produits végétaux : le cas des fruits et légumes  
M.J. AMIOT-CARLIN et S. GEORGÉ

P51 - L'alimentation : enjeux et complexité  
D. MAJOU

P57 - Produits ultra-transformés versus aliments complexes  
A. FARDET

## La « commande nutritionnelle » : concevoir les systèmes de production et de transformation des aliments à partir d'une préoccupation nutritionnelle

P69 - L'expérience du programme FAO/PNUE pour des systèmes alimentaires durables  
A. MEYBECK et V. GITZ

P75 - Alimentation humaine : satisfaction des besoins nutritionnels et enjeux de durabilité  
D. LAIRON

P83 - Pour une « santé globale » : une analyse multidimensionnelle du concept de santé pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires appliquées aux légumineuses

M. DURU, E. JUSTES, G. FALCONNIER, E.P. JOURNET, P. TRIBOULET, M.B. MAGRINI

P97 - Des effets santé des phytomicronutriments à l'écoconception des systèmes agroalimentaires  
C. DHUIQUE-MAYER et P. POUCHERET

P105 - Alimentation animale et santé humaine : quels défis à relever pour l'agronomie ?  
M. DURU et M.B. MAGRINI

P115 - Utilisation du lin en alimentation animale : intérêt et conséquences sur la qualité nutritionnelle des produits animaux destinés à l'homme

J. MOUROT

P119 - A Mouans-Sartoux, une restauration collective issue intégralement de l'agriculture biologique depuis 2012  
G. PEROLE

## Annexe

P 125 - Appel à contribution du numéro

## Analyse du concept de santé globale pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires : application au cas des légumineuses

*A multiscope perspective on one-health to accompany ecological and nutritional transitions applied to legumes*

Michel DURU\* - Eric JUSTES\*

Gatien FALCONNIER\*

Etienne-Pascal JOURNET\*

Pierre TRIBOULET\* - Marie-Benoît MAGRINI\*

\*UMR AGIR, INRA, Université Toulouse, INPT, 31326, Castanet Tolosan, France - Contact auteurs : michel.duru@inra.fr

### Résumé

Au cours des 50 dernières années, des changements majeurs en agriculture et dans notre alimentation ont généré des effets délétères sur l'environnement et la santé humaine. Pour rendre compte des interdépendances entre les différents composants de nos systèmes agricoles et alimentaires, nous avons construit un cadre d'analyse, le « multiscope », en couplant les approches « d'une seule santé », « one-Health » (l'animal et l'homme dans leur environnement : sol, plante, écosystème), et celles des systèmes alimentaires durables (impacts sur la santé et l'environnement des régimes alimentaires). Ce multiscope nous permet d'identifier les vecteurs de santé (biodiversité, micronutriments) ou de réduction de nuisances (gaz, polluants), puis d'analyser les effets en cascade (de la parcelle ou l'animal à la planète) consécutifs aux choix de production dans les systèmes agricoles et *in fine* alimentaires. Nous avons défini 3 principes majeurs pour améliorer la santé des différents domaines : i) promouvoir les services écosystémiques par la biodiversité, ii) boucler les cycles biogéochimiques et iii) renforcer le bien-être des animaux et des hommes. Nous appliquons ce cadre d'analyse au cas des légumineuses, fourragères et à graines, qui ont connu une forte régression depuis un demi-siècle malgré leurs importants atouts environnementaux et nutritionnels. Nous montrons que ce multiscope permet d'accompagner les transitions agricoles et alimentaires en favorisant : i) une compréhension intégrée des dynamiques d'innovations et des verrous au développement des légumineuses, ii) une re-conception des systèmes de culture et d'élevage, iii) la construction de scénarios territoriaux fondés sur le développement de la culture des légumineuses et de leur utilisation en alimentation humaine.

### Mots-clés

Sol, légumineuses à graines, légumineuses fourragères, gaz à effet de serre, santé humaine.

### Abstract

Over the past 50 years, major changes in agriculture and in our diets have had a deleterious effect on the environment and human health. In order to account for the interdependencies between the various components of our agricultural and food systems, we have built an analytical framework, the "multiscope", by combining the "one-health" concept (animals and humans in their environment: soil, plant, ecosystem) and those of sustainable food systems (health and environmental impacts of diets). This multiscope al-

lows us to identify the vectors of health (biodiversity, micronutrients) or reduction of nuisances (gas, pollutants), and then to analyze the cascade effects (from the plot or the animal to the planet) consecutive to the choices of production in agricultural and food systems. We have identified three major principles for improving the health of the various areas: (i) promoting ecosystem services through biodiversity; (ii) closing biogeochemical cycles, and (iii) enhancing animal and human welfare. We apply this analytical framework to the case of legumes, pulses and forages, which experienced a sharp decline during this period despite their significant environmental and nutritional assets. We show that this multiscope makes it possible to accompany the agricultural and food transitions by promoting: i) an integrated understanding of the dynamics of innovations and the lockins to the development of the legumes, ii) a re-design of the cropping and livestock systems, (iii) the construction of territorial scenarios based on the development of legume crops and their use in human food.

### Keywords

Soil, pulse, forage legume, greenhouse gas, human health.

### Introduction

Le progrès génétique permis par la sélection végétale et animale, l'utilisation croissante d'intrants de synthèse (engrais N-P-K et pesticides) et la mécanisation ont permis d'accroître massivement l'offre alimentaire dans les pays occidentaux, mais ont aussi entraîné une détérioration de l'environnement (Meynard *et al.*, 2013; Therond *et al.*, 2017). Les impacts environnementaux sont particulièrement importants en élevage puisqu'ils cumulent ceux qui sont spécifiques (émission de méthane par les ruminants) ou amplifiés par cette activité (du fait d'émissions de N<sub>2</sub>O, pollutions des eaux par nitrates et phosphates, et de l'air par l'ammoniac) et ceux provenant des productions végétales nécessaires à l'alimentation des animaux (Nijdam *et al.*, 2012; Chatterton *et al.*, 2015; Schader *et al.*, 2015). De manière concomitante, les changements dans les systèmes alimentaires des pays occidentaux ont porté sur l'accroissement de la consommation de sucres rapides et de matières grasses saturées (Friel *et al.*, 2009), ainsi que de la part des protéines animales (Guyomard *et al.*, 2014), et du déséquilibre dans la consommation en acides gras polyinsaturés (Simopoulos, 2006). Ces changements, joints à la réduction de l'activité physique, ont été néfastes pour la santé humaine (Tilman et Clark, 2014). Ils contribuent au développement de maladies chroniques (maladies cardiovasculaires, cancer, obésité, diabète, etc...).

Face à ces enjeux environnementaux et nutritionnels, de nombreuses études portent sur une alimentation plus durable, pour à la fois réduire son impact environnemental et améliorer la santé humaine (Friel *et al.*, 2009; Biesbroek *et al.*, 2014; Garnett *et al.*, 2014). Dans les pays occidentaux, un premier scénario porte sur la réduction de consommation de produits animaux qui émettent, par unité de production de protéines, plus de gaz à effet de serre que les produits végétaux (Westhoek *et al.*, 2014). Du point de vue santé, il a été montré que l'excès de consommation de viande rouge (Yip *et al.*, 2013) accroît les risques de cancer du colon (Ekmekcioglu *et al.*, 2016) et que les charcuteries du fait de leur mode de transformation (nitrite et molécules associées) ont un impact sur la santé (Jiang et Xiong 2016). Dans cette compétition pour les ressources entre alimentation animale et alimentation humaine, d'autres scénarios proposés cantonnent l'élevage de ruminants aux surfaces obligatoire-

ment en herbe, et les monogastriques à l'utilisation des sous-produits (Röös *et al.*, 2016a).

Les légumineuses sont reconnues pour leur intérêt environnemental, notamment la réduction des émissions des gaz à effet de serre, liée à la non-utilisation d'engrais azotés de synthèse et de l'économie de carbone fossile qui en résulte. Riches en protéines et apportant des micronutriments d'intérêt nutritionnel, elles permettent de réduire la consommation de protéines animales et contribuent aussi à la santé humaine (Chardigny et Walrand, 2016). Les légumes secs par exemple contiennent des anti-oxydants, dont les flavonoïdes, qui contribuent à la prévention du diabète de type 2 chez des patients à risque (Mirmiran *et al.*, 2014). Cependant, malgré leur intérêt pour l'environnement et la santé humaine, les légumineuses ont fortement régressé dans les systèmes de culture, l'alimentation animale et humaine. Leur développement est bloqué par une situation de verrouillage socio-technique (Magrini *et al.*, 2016) qui fait que pour dépasser les verrous propres à chaque acteur (agriculteurs, éleveurs, consommateurs, opérateurs des filières, décideurs publics), il est nécessaire d'évaluer les bénéfices d'utilisation des légumineuses conjointement entre des domaines divers (le sol, les écosystèmes, la planète, l'homme). Cependant, les études disponibles présentent plusieurs limites du fait de la complexité du sujet :

- Les façons de produire en agriculture (nature et niveau d'intrants) sont presque toujours examinées séparément des régimes alimentaires, ou lorsque c'est fait (cas de l'agriculture et de l'alimentation biologique), les échelles d'analyse sont difficilement compatibles.

- Les scénarios de forte réduction de consommation de protéines animales n'envisagent pas à notre connaissance la culture de légumineuses pour la consommation humaine de façon à atteindre un équilibre entre protéines d'origines végétale et animale. De même, pour rendre réalistes des scénarios où l'alimentation des ruminants repose sur l'herbe et celle des monogastriques sur des co-produits, des cultures de légumineuses fourragères et à graines doivent être considérées pour apporter des protéines en quantité suffisante pour nourrir les animaux.

- Les scénarios sont basés sur la prise en compte de l'origine des protéines (animales vs. végétales), mais ils n'incluent pas les acides gras qui sont aussi un problème de santé publique. Cette caractéristique est à prendre en compte car la composition des produits en acides gras à longue chaîne est très dépendante des modes d'alimentation des animaux (Mourot, 2015).

- Les impacts environnementaux de l'agriculture sont souvent considérés simultanément pour nombre de polluants (analyse de cycle de vie) mais à l'échelle de la ferme sans distinguer ceux pour lesquels cet impact est local ( $\text{NO}_3$ ) ou global ( $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{CH}_4$ ), ou bien au contraire en se limitant à un élément (azote) examiné à plusieurs niveaux (cascade de l'azote).

- Les relations de dépendance entre les pratiques agricoles et leurs effets environnementaux, de même qu'entre les modes d'alimentation et la santé humaine sont généralement explicités par type de processus : quantité et qualité des nutriments, émissions de gaz et de particules dans le sol, l'eau et l'air. Ce cloisonnement limite fortement la compréhension des impacts de changements dans les systèmes agricoles ou surtout alimentaires compte tenu de la diversité des interactions (concurrence, complémentarité) en jeu

avec d'autres cultures pour l'utilisation des terres, ainsi qu'avec d'autres ressources pour l'alimentation animale et humaine.

Pour ces raisons, il importe de construire un cadre d'analyse multi-domaines et multi-niveaux pour examiner les impacts de changements dans les systèmes agricoles (les productions et les façons de produire) et *in fine* alimentaires (des produits à leur consommation). Une telle approche est nécessaire pour valoriser les atouts « santé » des légumineuses. Après avoir rappelé quelle est la place des légumineuses dans les systèmes agricoles et dans notre alimentation (partie 2), nous proposons un nouveau concept, celui de « santé globale » et un cadre heuristique associé, un « multiscope », pour étudier les relations de santé entre plusieurs compartiments du vivant et de l'environnement (partie 3). Ce concept s'appuie sur la combinaison du concept de « One-Health » (« une seule santé ») utilisé pour rapprocher médecine humaine et animale (Roger *et al.*, 2016), et de celui de « système alimentaire durable » (Allen *et al.*, 2014) utilisé en particulier pour analyser les relations entre régime alimentaire et émissions de gaz à effet de serre. Nous montrerons que ce cadre facilite (partie 4) : i) l'identification des verrouillages limitant les innovations sur les légumineuses qui sont très peu présentes dans nos systèmes agricoles et alimentaires, ii) la co-conception de systèmes agricoles (cultures et élevages) dans lesquels les légumineuses constituent des ressources pivot, iii) la construction de scénarios de transition agroécologique à l'échelle du système alimentaire.

## Les légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires

### Diversité et place des légumineuses pour les apports en protéines dans l'alimentation animale et humaine

En France, d'après l'enquête INCA 2, la consommation de protéines est en moyenne de 86 g par jour et par personne, à raison de 35-40% de protéines végétales et de 60-65% de protéines animales (Guéguen *et al.*, 2016). Ces valeurs sont supérieures aux recommandations officielles tant pour : i) la quantité totale de protéines recommandée, fixée à 0,83 g/jour/kg de poids corporel d'un adulte en bonne santé<sup>1</sup>, ii) que pour la proportion de protéines animales (objectif de 50% d'apports protéiques d'origine animale (Anses, 2016).

En France, la consommation humaine de protéines végétales est d'environ 9 millions de tonnes/an, dont 3% de légumineuses. Depuis un siècle, elle a diminué au profit des protéines animales. A titre d'exemple, la consommation de légumes secs a fortement chuté de 7,3 à 1,4 kg/personne/an entre 1920 et 1985 (Champ *et al.*, 2015). Ce niveau est très faible alors que la consommation de légumineuses constitue un bon substitut pour compenser une diminution des protéines animales, au regard notamment de leur composition en acides aminés complémentaires des céréales (Ekmekcioglu *et al.*, 2016 ; Chardigny et Walrand, 2016).

L'alimentation animale consomme l'essentiel des protéines végétales, environ 34 millions de tonnes dont 12 millions provenant des prairies (4 par les légumineuses et 8 par les non légumineuses). Les autres apports proviennent des tourteaux (pour un peu moins de la moitié par les tourteaux de tournesol et de colza produits en France et pour moitié

<sup>1</sup> <https://www.anses.fr/fr/content/les-protéines>

par les tourteaux de soja importés), des fourrages annuels et des céréales (maïs grain, blé, tournesol). Après avoir beaucoup augmenté depuis les années 1960, l'importation des tourteaux de soja s'est stabilisée et a même diminué depuis les années 2000 au profit des tourteaux de colza et de tournesol. Le pois représente la principale espèce de protéagineux cultivée en France ; sa production a beaucoup cru entre 1980 et 1990, mais elle s'est effondrée dans les années 2000, entre autre avec la réforme des aides PAC et le développement du pathogène *Aphanomyces* (Voisin *et al.*, 2014 ; Magrini *et al.*, 2016).

La production de protéines animales mobilise en France près de 80% des sources de protéines végétales (nous estimons que cela représente au final environ 75% pour tenir compte qu'environ 40% des produits laitiers sont exportés) pour fournir 60 % des protéines de l'alimentation humaine.

### Atouts des légumineuses pour l'environnement et la santé humaine en comparaison des autres sources de protéines

Nous synthétisons ci-dessous la littérature (Fig. 1), notamment sur la base de l'ouvrage coordonné par Schneider et Huyghe (2015).

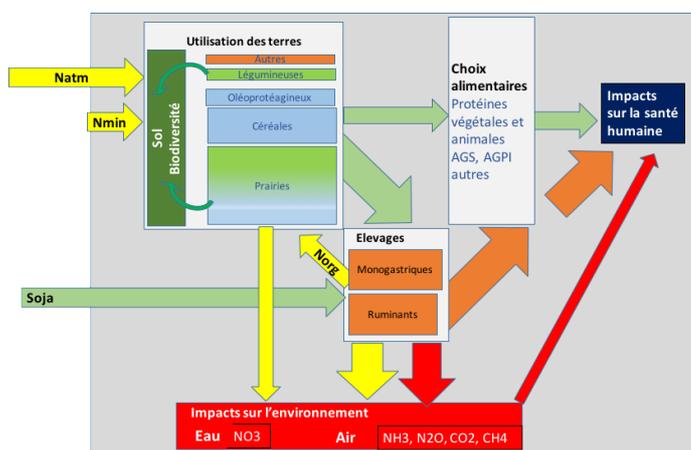


Figure 1 : Principales sources de protéines (légumineuses fixant l'azote atmosphérique et non-légumineuses nécessitant de l'azote minéral) pour l'alimentation animale et humaine, et impacts sur l'environnement (eau et air, sol et biodiversité) et la santé humaine.

Flux d'azote (flèches jaunes), de protéines végétales (flèches vertes) et animales (flèches oranges). Impacts négatifs (flèches rouges et jaunes verticales). Services écosystémiques fournis par les légumineuses et les prairies (flèches vertes courbes) ; AGS : Acide gras saturés, AGPI : acides gras poly-insaturés ; Norg : N organique ; Natm : N atmosphérique.

### Agriculture et environnement

L'introduction de légumineuses dans les systèmes de culture peut se faire en culture seule ou en culture associée avec des espèces non fixatrices (mélange d'espèces) pour la vente ou l'auto-consommation pour les animaux, ou en tant que culture intermédiaire multi-services (Vukicevich *et al.*, 2016). Pour bien caractériser les domaines d'impacts, il importe de distinguer les services écosystémiques fournis par les légumineuses selon les bénéficiaires. Plusieurs auteurs (ex, Zhang *et al.*, 2007) distinguent les agriculteurs et la société.

Les services rendus à l'agriculture sont appelés services intrants car ils permettent de réduire les fertilisants et les pesticides chimiques (Duru *et al.*, 2015a). Dans la majorité des cas, les légumineuses ne nécessitent pas d'apport d'engrais de synthèse, tout en permettant des rendements de bons niveaux. En culture associée, grâce aux processus

de complémentarité de niche et de facilitation, les deux cultures permettent de produire sur une même surface autant qu'en cultures pures, et ce d'autant plus que le niveau d'intrants est bas. Les légumineuses permettent aussi de restituer plus d'azote aux cultures suivantes que les espèces non fixatrices (Bedoussac *et al.*, 2015) et contribuent ainsi à améliorer la fertilité chimique et biologique du sol en situation de faible disponibilité en engrais azoté (Fig 1, boîte « sol ») (Crotty *et al.*, 2015). Par l'allongement et la diversification de la rotation, elles permettent de mieux gérer les adventices et de réduire les épandages de certains produits phytosanitaires en utilisant l'effet de culture de rupture par rapport aux cycles des pathogènes. L'introduction des légumineuses dans les systèmes d'élevage peut se faire grâce (i) à des prairies temporaires de légumineuses pures (luzerne, sainfoin) ou associées à des graminées, et (ii) aux méteils (céréales associées de céréales avec du pois ou de la féverole) utilisables comme pâturage, en ensilage ou sous forme de graines. Du fait de leurs propriétés nutritionnelles, les légumineuses fourragères permettent une meilleure autonomie protéique fourragère des exploitations d'élevage, participent à l'amélioration de la santé du troupeau et permettent une diminution de l'utilisation de médicaments vétérinaires (Peysson et Vulliet, 2013). Par exemple, les légumineuses riches en tanins (sainfoin) permettent de réduire ou supprimer l'utilisation d'anthelminthiques de synthèse pour lutter contre les nématodes gastro-intestinaux des ruminants (Hoste *et al.*, 2015).

Les principaux services environnementaux fournis à la société portent sur la réduction de certaines émissions polluantes (Voisin *et al.*, 2014), notamment dans l'air : i) gaz à effet de serre (CO<sub>2</sub> et N<sub>2</sub>O) du fait de la non fabrication et de la non utilisation d'engrais de synthèse, et ii) ammoniac (NH<sub>3</sub>) (Kim *et al.*, 2015, Misselbrook *et al.*, 2013, Siddique *et al.*, 2012). Par exemple, remplacer une culture de céréale par du pois et/ou du soja dans le cas d'une rotation de trois à cinq ans, peut réduire les impacts environnementaux, de l'ordre de : i) 20% des apports d'azote de synthèse, ii) environ 80% de la formation d'ozone, iii) environ 90% de l'eutrophisation et des GES, et enfin iv) de l'ordre de 15% l'effet d'acidification (Nemecek *et al.*, 2008). En plus de ces effets, les prairies avec légumineuses augmentent le stockage du carbone, contribuant ainsi à atténuer le changement climatique (Lüscher *et al.*, 2014). La culture de certaines espèces (luzerne, trèfle violet) permet de réduire les émissions de méthane (CH<sub>4</sub>) par les ruminants, en comparaison des graminées (Baumont *et al.*, 2016). Les résidus de médicaments vétérinaires pouvant se retrouver dans les déjections animales puis dans les eaux de drainage ou transférant vers les rivières sont également réduits (Peysson et Vulliet, 2013). Enfin, l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture et d'élevage contribue à la préservation de la biodiversité cultivée dans les paysages ruraux (Cellier *et al.*, 2016) ; ainsi elles enrichissent la mosaïque paysagère, favorisant en retour la régulation biologique des ennemis naturels des cultures et la pollinisation. Les effets se manifestent alors au niveau infra paysage par la réduction du besoin en pesticides ou un meilleur rendement des cultures qui dépendent de la pollinisation (Barthomeus *et al.*, 2014).

Des travaux récents sur l'insertion des légumineuses dans les systèmes céréaliers pointent cependant les faiblesses des systèmes intégrant des légumineuses à graines, notamment pour le stockage du carbone dans le sol (Plaza-

Bonilla *et al.*, 2016a) et les émissions directes de N<sub>2</sub>O (Peyrard *et al.*, 2016). Pour stocker plus de carbone dans le sol et limiter les émissions de N<sub>2</sub>O, il est nécessaire de coupler introduction des légumineuses à graines et utilisation de couverts intermédiaires multi-services (CIMS) en interculture pour obtenir un effet globalement positif des légumineuses à graines (Plaza-Bonilla *et al.*, 2016b).

Les ACV permettent de bien d'évaluer la réduction de plusieurs types d'impacts (acidification, eutrophisation,...) permis par les légumineuses. Cependant, elles sont mal adaptées à l'évaluation des régulations biologiques, et à la quantification de certains effets négatifs générés par l'utilisation des légumineuses. Par exemple, l'utilisation de légumineuses en cultures intermédiaires, seules ou en mélange avec d'autres espèces, peut augmenter les prélèvements d'eau à un niveau pénalisant la culture principale suivante, si la date de destruction des CIMS n'est pas adaptée à la situation locale et au climat (Plaza-Bonilla *et al.*, 2015).

### **Agriculture, alimentation et santé humaine**

Les effets des légumineuses sur la santé peuvent provenir de l'alimentation ou bien de l'environnement, de manière indirecte du fait de la réduction de certaines émissions polluantes.

Les plus forts consommateurs de protéines végétales sont mieux protégés contre le risque de mortalité par infarctus et par cancer (Champ *et al.*, 2015). En outre, une alimentation des animaux renforçant la place des légumineuses (luzerne pour les monogastriques) ou de l'herbe, en particulier avec légumineuses (ruminants), améliore leur santé (Basiricò *et al.*, 2017) et la teneur en omega 3 de tous les produits animaux, ce qui permet de réduire fortement l'écart entre les recommandations (Anses, 2015) et les apports moyens (Duru et Magrini, 2016). Néanmoins, cet effet positif ne s'exprime pleinement qu'avec une complémentation à partir de tourteaux et huiles de colza riches en omega 3 ; une complémentation avec des tourteaux et huiles de tournesol réduisant la teneur en omega 3 des produits animaux, et ceux de soja conduisent à des valeurs intermédiaires entre tourteaux et huiles de colza et de soja étant intermédiaires (Glasser *et al.*, 2008).

L'élevage est un fort émetteur d'ammoniac en comparaison des cultures surtout lors de l'épandage des déjections (De Vries *et al.*, 2015). Une partie de l'ammoniac émis peut former des aérosols qui sont alors susceptibles d'un transport atmosphérique à longue distance. L'ammoniac contribue ainsi pour une part importante (30-70 %) à la pollution de l'air par les particules fines (<2,5 µm) qui représentent une menace réelle pour la santé humaine (Kim *et al.*, 2015). A l'opposé, les légumineuses permettent de réduire ces émissions. L'élevage et les légumineuses contribuent donc respectivement à amplifier et réduire les effets sur la santé humaine associés à ces émissions.

## **La santé comme concept fédérateur**

### **Relier agriculture, environnement et alimentation**

#### **Articuler les approches « une seule santé » et « système alimentaire durable »**

Nous proposons ci-dessous un cadre d'analyse multi-niveaux et multi-domaines pour décortiquer les relations complexes entre les impacts environnementaux et les impacts santé des systèmes agricoles et alimentaires. Plusieurs courants de recherche se sont attaqués à cette complexité. Celui d'une seule santé (one-health), d'abord ciblé sur les interdépendances entre la santé des animaux et des hommes pour l'étude des maladies infectieuses transmissibles (Lerner *et al.*, 2015), a été étendu aux relations entre la santé des sols, des plantes, des animaux et des hommes (Viewdeger *et al.*, 2015). D'autres travaux offrent une vision plus large basée sur la prise en compte de la « santé de la planète » (Whitmee *et al.*, 2015); l'analyse étant fondée sur l'interdépendance croissante entre santé animale, humaine et environnementale (Shomaker *et al.*, 2013), sans pour autant prendre en considération les systèmes alimentaires.

Les recherches portant sur la santé humaine et la sécurité alimentaire prennent aussi de plus en plus en compte l'environnement au travers du concept de système alimentaire durable qui permet de mettre l'accent sur la santé humaine (accès à la nourriture et réduction des maladies chroniques) tout en intégrant la dimension de préservation des ressources de la planète (Allen *et al.*, 2014 ; Johnson *et al.*, 2014 ; Friel et Ford, 2015).

Ces deux cadres d'analyse sont complémentaires ; le premier traite principalement des relations entre l'agriculture (le sol, les plantes, les animaux, les écosystèmes) et l'environnement sous l'angle de la santé, le second porte sur la santé humaine en lien avec l'alimentation et ses impacts environnementaux. C'est pourquoi nous les avons couplés, permettant ainsi de considérer la santé dans six domaines (sol, plante, animal, écosystème à l'échelle du paysage, planète et santé humaine).

Cette représentation (le « multiscopie »), issue du couplage de ces deux cadres complémentaires, nous permet de caractériser les processus reliant les niveaux d'organisation micro et macro. Ceci permet de situer les échelles et les domaines d'action pour améliorer la santé dans un ou plusieurs domaines sans la détériorer dans les autres domaines connexes (figure 2). Afin de comprendre les liens entre ces domaines de santé, nous les avons regroupés par niveau d'organisation, l'humain étant positionné sur la courbe extérieure car sa santé est tributaire de la santé dans les cinq autres domaines. Ainsi définie, la « santé globale » constitue un nouveau paradigme permettant de repenser les relations entre agriculture, environnement et alimentation ; l'hypothèse étant que la santé d'un domaine a des effets directs et indirects sur la santé dans plusieurs autres domaines ou que la façon d'assurer la santé dans un domaine a des effets sur la santé des autres domaines. La santé constitue en quelque sorte une métrique conceptuelle entre les différents domaines et niveaux d'organisation.

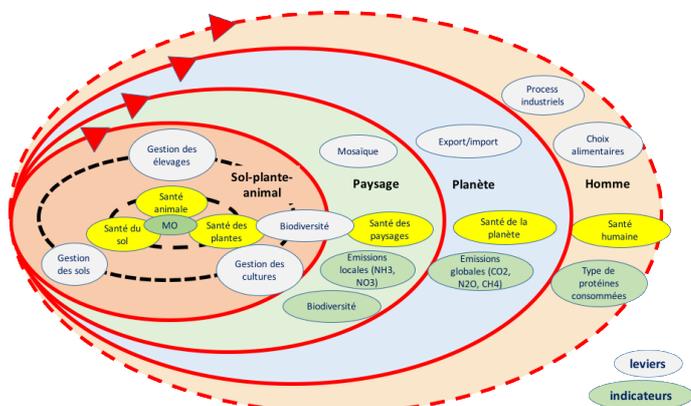


Figure 2 : Une représentation systémique du concept de « santé globale » en six domaines (en jaune) avec les principaux indicateurs (en vert) et leviers (en gris clair) pour améliorer la santé dans les différents domaines. Les flèches rouges et les ovales concentriques signifient que les états de santé entre différents domaines sont pour partie interdépendants ; MO : matières organiques.

### Identifier les relations entre domaines de santé

Ce paradigme de santé globale, matérialisé dans le multiscopie présenté ci-avant, permet de montrer comment les grands enjeux de santé humaine et de « santé de la planète » sont liés entre eux, et comment ils déterminent ceux de « santé des agroécosystèmes » (sols, plantes et animaux) et vice versa.

L'analyse de la littérature sur la santé des sols (ex, Laishram *et al.*, 2012), des plantes (ex, Ren *et al.*, 2014), des animaux (ex, Bertoni *et al.*, 2016), des écosystèmes (Ford *et al.*, 2015) en lien avec la santé humaine permet d'identifier des leviers pour augmenter la santé simultanément dans plusieurs domaines. Ces leviers portent sur : i) la gestion des sols, ii) la conception et le pilotage de systèmes de culture et d'élevage au niveau des exploitations agricoles, iii) la gestion de la biodiversité à l'échelle des exploitations agricoles et des paysages (répartition spatiale des cultures et des infrastructures paysagères), iv) les grands échanges de matières et d'énergie entre pays à l'échelle de la planète, v) les process industriels au sein des filières et les choix alimentaires des consommateurs (Fig 2). Elle permet aussi d'identifier des indicateurs de santé (ou de nuisances); quelques-uns étant indiqués fig.2. Cette analyse montre aussi que trois grands principes permettent d'améliorer la santé de manière transverse à plusieurs domaines : i) développer la biodiversité pour promouvoir toute une gamme de services écosystémiques, d'une échelle fine à l'échelle du paysage, ii) boucler les cycles biogéochimiques, d'une échelle fine (e.g. rhizosphère) à la planète (e.g. échanges internationaux de produits agricoles), et enfin iii) assurer le bien-être animal et humain, notamment par une alimentation équilibrée. Les domaines de la « santé globale » sont interconnectés par de nombreux facteurs (Döring *et al.*, 2014) : i) les flux de nutriments et de toxines dans la chaîne alimentaire, ii) les émissions dans l'air et le sol, iii) la biodiversité (pour la fourniture de services écosystémiques), les micro-organismes, et iv) les liens structurels dans le système alimentaire (par ex., la part des protéines végétales et animales). Des changements en cascade peuvent se manifester du local (le sol) au global (la planète) et vice versa. Leur explicitation est nécessaire pour comprendre les interconnexions entre agriculture, environnement et alimentation.

L'analyse de la santé de manière transversale aux six domaines nous amène à identifier cinq propriétés à examiner pour accompagner les transitions agricoles et alimentaires. Nous les examinons ci-dessous dans la perspective du déve-

loppement de la production et de la valorisation alimentaire des légumineuses.

Les légumineuses ont des effets dans les différents domaines de santé qui peuvent être quantifiés par des indicateurs tels que ceux indiqués sur la figure 2. Cependant, les principaux effets de l'introduction des légumineuses dans les systèmes agricoles et dans les systèmes alimentaires sont diffus, ce qui nécessite que leur introduction soit fortement accrue et raisonnée pour réduire de manière perceptible les émissions aux niveaux des territoires et de la planète et les risques de maladies chroniques. Autrement dit, ce n'est pas le fait d'un seul acteur (agriculteur ou citoyen). En outre, les effets sont aussi différés dans le temps, ce qui fait qu'un changement de système agricole et de régime alimentaire ne se traduit pas par des effets immédiats sur le réchauffement global et la santé humaine. Les effets sont aussi dépendants d'autres pratiques pour qu'ils s'expriment pleinement. Ainsi ils dépendent i) de la maîtrise des résidus après culture pour éviter des relargages ultérieurs d'azote actif dans le système (notion d'effet suivant), ii) de la mise en place d'une économie circulaire pour promouvoir par exemple des échanges entre cultivateurs et éleveurs (Moraine *et al.*, 2016), et aussi iii) de la suppression des facteurs anti-nutritifs tant pour l'alimentation humaine (Guéguen *et al.*, 2016) qu'animale (Baumont, 2016). Ces effets sont aussi déportés dans l'espace. C'est l'exemple des polluants, comme les ions nitrate, pour lesquels le transfert dans l'environnement (cascade de l'azote), au-delà de la pollution des nappes et des eaux de consommation humaine, entraîne un renforcement de l'eutrophisation des milieux aquatiques, qui se manifeste à l'exutoire des bassins versants et non en bout de champ. Un second exemple est le cas des gaz à effet de serre dont les effets sur les rendements des cultures via le changement climatique se manifestent plus dans les zones tropicales que dans les zones tempérées, et donc relativement loin des zones d'émissions (pays industrialisés). Enfin, ces effets sont décalés en ce sens qu'ils sont le plus souvent transverses à différents niveaux d'organisation, mais à des degrés dépendant des vecteurs des « atouts santé » dont les mobilités sont différentes. Ainsi, l'introduction de légumineuses participe très localement à la santé des sols par l'augmentation de la vie biologique, des paysages par la diversification des cultures et la réduction de polluants ( $\text{NH}_3$ ), et de la planète par réduction de l'émission en gaz à effet de serre.

### Analyse des atouts santé des légumineuses avec le multiscopie

Nous analysons l'effet de l'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture et d'élevage, dans les paysages (importance et distribution) et dans les systèmes alimentaires, concomitamment à des changements dans les habitudes alimentaires et le marché international de protéines. Nous en décrivons les impacts sur la santé dans chacun des six domaines, et les effets en cascade entre niveaux et domaines. Les impacts portent sur quelques indicateurs comme la matière organique des sols, la biodiversité à différentes échelles, les émissions (N et C), et l'offre en différents types de protéines (Fig. 3).

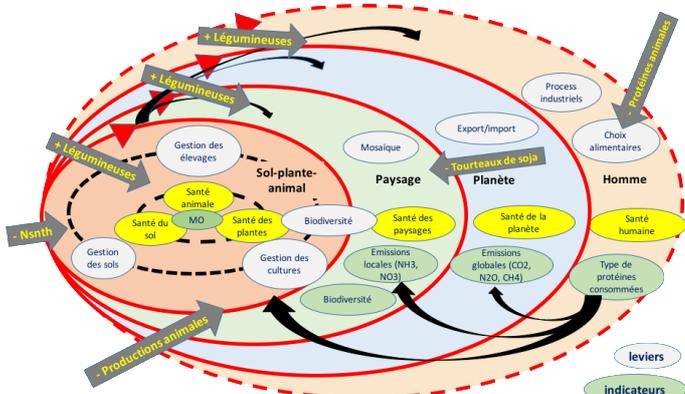


Figure 3 : Représentation systémique des impacts de l'introduction des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires, en substitution de la réduction de l'azote de synthèse (Nsmth), des productions animales entrant en compétition avec l'alimentation humaine et des tourteaux de soja importés, sur les six domaines de la santé (en jaune) déterminant la « santé globale ». Les légumineuses élargissent la palette des leviers permettant d'améliorer la santé sectorielle ou locale en ayant un effet sur les vecteurs que sont les nuisances liées aux émissions, les nutriments et les matières organiques (MO), la biodiversité et l'offre en protéines. Les flèches indiquent quelques-uns des impacts en cascade des effets de l'introduction des légumineuses et des choix alimentaires.

### Analyse multi domaines de la substitution des protéines animales par des protéines végétales

Comme d'autres auteurs, Garnett (2013) montre que pour tendre vers des systèmes alimentaires durables, réduire la consommation de protéines animales est un levier plus efficace que de se limiter à la réduction des impacts environnementaux de l'élevage uniquement par l'amélioration de l'efficacité d'utilisation des intrants. Ce scénario suppose de développer des légumineuses pour la consommation humaine. Il présente cependant trois spécificités qui ont rarement été considérées ensemble :

- Au-delà de la réduction des impacts environnementaux liés au détour par les animaux pour la fabrication de protéines, le remplacement d'une partie des surfaces en céréales par des légumineuses fournit un ensemble de services écosystémiques intrants et environnementaux. Un tel choix, s'il est de grande ampleur, induit aussi en cascade une amélioration de la santé des sols, des écosystèmes et de la planète (Fig. 3) ;
- La recherche d'une plus grande autonomie en protéines des élevages à l'échelle de la France suppose de réduire encore les importations des tourteaux de soja qui contribuent à des émissions de gaz à effet de serre élevées, en partie du fait de la déforestation en Amérique Latine (Karsensen et al., 2013). Cependant leur remplacement par des tourteaux de colza présente deux inconvénients : c'est une espèce non fixatrice et l'indice de fréquence de traitement phytosanitaire est élevé. C'est pourquoi un scénario basé sur l'augmentation des protéines végétales issues de légumineuses produites en France serait susceptible d'accroître le bénéfice santé dans les différents domaines présentés ci-dessus ;
- L'introduction de légumineuses dans les prairies (Yan et al., 2013), et, plus généralement, la diversification des ressources fourragères avec des légumineuses (Martin et Guillaume, 2016) améliore la teneur en oméga 3 des produits animaux (Duru, 2016).

Le multiscopie permet de mettre en évidence le fait que le bouclage des cycles met en jeu des décisions et des pratiques qui portent sur l'insertion des légumineuses à la fois dans les systèmes agricoles et dans les systèmes alimen-

taires, tant au niveau local (Le Noé et al., 2016) qu'au niveau planétaire, comme illustré par la « cascade de l'azote » (Billen et al., 2014). Le développement des légumineuses interroge donc des processus biophysiques localisés, par exemple au niveau de la rhizosphère (Philippot et al., 2013), mais aussi des organisations de marché, du niveau local jusqu'à l'échelle planétaire.

L'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture participe à l'amélioration d'une partie de la santé du sol avec des effets en cascade potentiellement déterminants puisqu'ils portent sur la santé des plantes, laissant la possibilité de réduire les intrants impactant l'environnement (pesticides, engrais de synthèse) via des émissions dont certaines impactent aussi directement la santé humaine à une échelle locale (NH<sub>3</sub>), alors que d'autres émissions ont un effet à une échelle globale (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>) au travers de leurs effets indirects mais réels sur la sécurité alimentaire (Fig. 3).

Sous certaines conditions, l'introduction des légumineuses dans les systèmes d'alimentation animale améliore la santé animale via la réduction des émissions locales (résidus de produits vétérinaires), diminuant en conséquence le risque de nuisance pour la santé humaine. Les émissions à l'échelle globale (CH<sub>4</sub>) sont également réduites contribuant aussi à améliorer la santé de la planète.

En réintroduisant massivement les légumineuses dans les systèmes de culture et d'élevage (par exemple 30% dans les prairies), le paysage est refaçonné, favorisant ainsi des externalités positives. L'introduction des légumineuses dans les systèmes de culture et d'élevage est un des leviers à coupler à d'autres (par ex. réduction du travail du sol, cultures de diversification comme les cultures intermédiaires multi-services, ou l'agroforesterie) pour amplifier le bouclage des cycles (couplage des cycles du C et de l'N), ou comme les infrastructures paysagères pour amplifier les régulations biologiques (Muller, 2005).

Cependant l'introduction des légumineuses dans les systèmes agricole doit être concomitante à d'autres pratiques pour que certains des effets potentiellement négatifs des légumineuses ne se manifestent : introduction des CIMS pour stocker du carbone dans les sols cultivés en grandes cultures (Plaza-Bonilla et al., 2016a), choix d'espèces ou de variétés résistantes pour éviter la propagation du pathogène racinaire *Aphanomyces*, pratiques de récolte des fourrages pour limiter le risque de météorisation des ruminants.

### Analyse multi niveaux des flux d'azote en fonction de la place des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires

Pour illustrer l'intérêt d'une lecture multi-niveaux de la place des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires européens (en resituant ces changements dans un contexte mondial), nous décrivons ci-dessous les conséquences d'un des traits majeurs du système agroalimentaire dominant qui s'est construit depuis les années 1970, à savoir le développement massif de la culture du soja, le plus souvent en rotation courte, en Argentine, au Brésil et aux USA (la production mondiale de soja a été multipliée par 5 depuis les années 1960) : la culture massive du soja a ainsi induit :

- (i) Des résistances de certaines adventices à l'utilisation du glyphosate, qui ont conduit à augmenter les quantités d'herbicides et les résidus dans les graines (Cuhra et al., 2015), ainsi que la déforestation au Brésil et en Argentine

(Gasparri *et al.*, 2013). A l'augmentation de la culture du soja est associée en partie l'obésité aux USA qui outre l'excès de consommation de sucres rapides provient de l'augmentation considérable de la quantité d'huiles de soja consommées via les produits transformés (Hawkes *et al.*, 2012), ou les margarines supposées meilleures pour la santé du fait d'une moindre teneur en acides gras saturés que les produits animaux (Schleifer, 2012) ;

(ii) Des transferts massifs de tourteaux de soja vers l'Europe, principalement dans les régions de forte concentration en élevage comme la Bretagne, ce qui a amplifié cette économie d'agglomération, et a accompagné le développement de systèmes d'élevage d'herbivores à base de maïs plutôt que d'herbe. Il s'en suit des excédents structurels en phosphore (Pellerin *et al.*, 2015) et en azote conduisant à des impacts comme les marées vertes (Levain *et al.*, 2015). En outre, il a été observé au Danemark que les résidus de glyphosate présents dans les aliments du bétail sont toxiques pour le métabolisme des vaches et se retrouvent dans le lait, (Krüger *et al.*, 2013). Cette évolution des systèmes d'élevage a aussi entraîné une forte modification de la composition en acides gras polyinsaturés du lait et des produits laitiers qui ne jouent plus alors le rôle équilibrant qu'ils avaient par rapport aux huiles (Duru et Magrini, 2017). Cette évolution contribue au développement de maladies chroniques (Molendi *et al.*, 2011). La substitution des tourteaux de soja par ceux de colza ne présente pas le même inconvénient mais, n'étant pas une légumineuse, sa culture génère plus de gaz à effet de serre que le soja. En parallèle, la production de cultures de légumineuses à graines s'est effondrée depuis les années 1970, laissant moins de possibilité en autonomie azotée d'un territoire.

Dès lors, développer des systèmes agricoles plus vertueux pour la « santé globale », requiert :

(i) Dans les pays producteurs et exportateurs de soja, une diversification des cultures pour allonger les rotations, réduire l'usage des herbicides et plus largement des pesticides.

(ii) Dans les régions européennes à forte concentration d'élevage comme la Bretagne, une plus grande autonomie en protéines. Pour les ruminants, le développement de systèmes herbagers (prairies en mélange d'espèces dont des légumineuses) à la place de systèmes à base de céréales/tourteaux de soja permet de réduire les fuites de nitrate vers les eaux de surface et souterraines, ainsi que l'indice de fréquence de traitements et les résidus de pesticides, et ceci sans pour autant réduire les revenus des exploitations (Acosta-Alba *et al.*, 2012). En retour, ces changements améliorent le profil en acides gras des produits animaux, ce qui est bénéfique pour la santé humaine. En outre, une baisse de la densité animale (porc par exemple), et la réintroduction de légumineuses à graines dans les systèmes de culture sont nécessaires pour les monogastriques.

Ces deux options demandent des actions collectives ambitieuses, passant par des réorganisations fortes dans les filières (Meynard *et al.*, 2016).

### **Mobiliser le multiscopie pour accompagner les transitions sociotechniques**

Pour mettre « en action » l'approche de santé globale, il importe d'examiner comment les chercheurs travaillant sur

les systèmes agricoles et alimentaires peuvent s'en saisir afin de limiter tel ou tel groupe d'impacts ou renforcer la santé dans tel ou tel domaine, sans pour autant augmenter les nuisances collatérales. Nous examinons ici comment le multiscopie peut être mobilisé pour mieux contextualiser les recherches dans un domaine donné ou enrichir le champ des possibles à partir d'exemples portant sur les dynamiques d'innovations et de transition sociotechnique (e.g. Geels, 2011), sur la conception de systèmes agricoles innovants (e.g. Berthet *et al.*, 2016), ou de scénarios (e.g. Rööös *et al.*, 2016b).

### **Analyser les dynamiques d'innovations**

L'approche MLP « Multi level perspective » (Geels, 2011) offre un cadre d'analyse intéressant pour appréhender la dynamique des innovations dans les secteurs productifs, en mettant l'accent sur différents types de verrous qui renforcent les acteurs du système dominant et empêchent les expériences innovantes de dépasser le statut de niche. L'approche MLP permet d'examiner pourquoi certains systèmes innovants où les légumineuses sont essentielles peinent à se développer (Meynard *et al.*, 2015 ; Magrini *et al.*, 2016).

Un paradigme « agrochimique », encouragé par les politiques publiques françaises et européennes depuis des décennies et soutenu par des dynamiques de marché ayant favorisé les céréales dans les systèmes de culture (Meynard *et al.*, 2013 ; Magrini *et al.*, 2016) ou le maïs ensilage dans les systèmes d'élevage (Duru et Magrini, 2017), a progressivement verrouillé le système actuel autour de ces espèces dominantes. En partie pour ces raisons, des systèmes agricoles, tels que l'agriculture biologique ou de « conservation des sols » pour lesquels les légumineuses sont un pilier (Siddique *et al.*, 2012), peinent à se développer. A contrario, de nombreux travaux montrent que les acteurs testent ou sont réceptifs à d'autres alternatives. Des coopératives agricoles testent des innovations couplées dans les systèmes de culture et les filières (Meynard *et al.*, 2016). Au niveau des agriculteurs, des initiatives pour le développement des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires émergent, comme le développement des cultures associées blé-légumineuses (Bedoussac *et al.*, 2015). Enfin, il est possible de mettre en avant et de mieux faire reconnaître les services écosystémiques que les légumineuses fournissent (Zander *et al.*, 2016).

Dans le domaine des systèmes alimentaires, plusieurs auteurs pointent les habitudes des consommateurs comme un frein majeur au changement (Mathijs, 2015), habitudes qui peuvent être soutenues par l'industrie agroalimentaire (Chiles, 2016), et étonnamment par les classifications nutritionnelles des pyramides alimentaires. En effet, certains pays cantonnent les légumineuses comme source de féculents (cas de la France) alors que d'autres les classent comme une source de protéines (cas des pays anglo-saxons) (Magrini *et al.*, 2016). Toutefois, des consommateurs mieux informés et éduqués sont tout à fait capables de modifier leurs habitudes alimentaires. Des initiatives pour le développement des légumineuses émergent dans l'agroalimentaire comme le développement des farines de légumineuses dans différents produits de base (pâtes, pains, biscuits...) (Lascialfari et Magrini, 2016).

Le multiscopie, par l'opportunité qu'il offre de relier systèmes agricoles et alimentaires, devrait permettre de mieux contextualiser les analyses portant sur l'un ou l'autre des domaines, voire d'imaginer des mises en relation entre des innovations dans les systèmes agricoles et alimentaires au travers de la mise en place de circuits courts ou d'opérations de sensibilisation et d'information.

### **Concevoir des systèmes de culture et d'élevage innovants**

La recherche agronomique a depuis les années 2000 amplifié les recherches sur les légumineuses dans les systèmes agricoles, mais le plus souvent par domaine disciplinaire et insuffisamment en s'intéressant à la fois à la production et à la transformation alimentaire. Ainsi, des travaux de recherche ont été réalisés sur les légumineuses au niveau i) génétique (Tayeh *et al.*, 2015), ii) agronomique avec la recherche de modalités d'associations de légumineuses avec des espèces non fixatrices en culture principale (ex., Bedoussac *et al.*, 2015) ou en période d'interculture avec des couverts intermédiaires multi-services (Tribouillois *et al.*, 2015b, 2016), ou encore leur insertion dans les systèmes de culture. Ces travaux mettent en avant l'intérêt des légumineuses, mais aussi certaines faiblesses (Plaza-Bonilla *et al.*, 2016a ; 2016b). Néanmoins, ces recherches sont réalisées à l'échelle de la parcelle et peu de travaux examinent en quoi les légumineuses favorisent simultanément la fourniture de services écosystémiques en distinguant les services fournis à l'agriculture de ceux fournis à la société, ainsi que le bouclage des cycles et le bien-être animal et humain.

Nous indiquons ci-dessous des pistes pour prendre en compte ces relations entre domaines de santé dans une perspective de « santé globale ».

Une première piste porte sur l'analyse des conditions de développement des services écosystémiques intrants et environnementaux de façon à limiter les intrants chimiques. Pour la fertilisation, cela suppose d'optimiser les réservoirs organiques et minéraux (avec des temps de séjour longs) qui peuvent être mobilisés au travers de processus médiés par les microorganismes et les plantes plutôt que de se concentrer sur le pool minéral soluble (Drinkwater et Snapp, 2007). L'utilisation de sources de nutriments variés, y compris les engrais inorganiques, combinées à l'augmentation de la diversité des plantes, en particulier les légumineuses, permet alors de promouvoir les fonctions souhaitées au sein des agroécosystèmes. Cela correspond à un véritable changement de paradigme. Outre les recherches nécessaires pour concevoir des conduites appropriées (dates de destruction de ces couverts, ou bien les pratiques associées de travail ou non travail du sol pour augmenter la réserve du sol en eau ou son renouvellement ...), la mobilisation du multiscopie avec de larges collectifs d'acteurs doit aider à distinguer les services selon les bénéficiaires : services à l'agriculture via la réduction d'intrants, mais nécessitant souvent une augmentation de la prise de risque (Duru *et al.*, 2015a), services à la société via la réduction de certaines émissions qu'il est alors légitime de rémunérer.

Une recherche systémique considérant la santé du sol, des plantes et des écosystèmes, est aussi nécessaire pour identifier les pratiques à associer aux légumineuses afin que les impacts sur la santé transverses à ces domaines s'expriment pleinement. En vue de construire des scénarios territorialisés,

il est utile d'évaluer quel devrait être le niveau d'incorporation de légumineuses dans les assolements pour atteindre un niveau de réduction affirmé de l'impact environnemental, notamment en réduisant l'usage des pesticides des systèmes de culture. Cela suppose de développer des approches intégrées où sont considérées ensemble la nutrition, les adventices et les maladies (Siddique *et al.*, 2012), et ce à des échelles de temps et d'espace adaptées pour définir des temps de retour de certaines espèces et des surfaces maximales qui peuvent être allouées au niveau d'un espace donné.

### **Construire des scénarios et définir des chemins pour la transition agroécologique**

Evaluer l'intérêt d'une augmentation importante des légumineuses dans les systèmes agricoles et alimentaires s'inscrit dans une perspective de transition agroécologique et alimentaire, qui interroge à la fois les praticiens agricoles, les acteurs dans les territoires, et ceux des politiques nationales et supra (Binot *et al.*, 2015).

A l'échelle des territoires, il a été montré que concevoir la transition agroécologique nécessite des approches multi-acteurs et multi-domaines basées sur une combinaison de connaissances scientifiques et expérientielles et sur la construction d'objets intermédiaires appropriés (Duru *et al.*, 2015b). Une première étape est la construction de scénarios, c'est-à-dire d'images de futurs possibles. Ces scénarios nécessitent d'abord d'identifier les principaux changements exogènes qui pourraient modifier le fonctionnement (i) des systèmes agricoles (par exemple, le climat, la technologie, les politiques, les intrants et les produits, les prix, la disponibilité du travail), (ii) des chaînes d'approvisionnement (par exemple, la technologie, les réglementations, les prix de l'énergie, les intrants et les produits agricoles, les services commercialisés) et (iii) de la gestion des ressources naturelles (par exemple, l'état et l'utilisation des ressources, les règlements). La mobilisation du multiscopie peut dans une deuxième étape aider à définir un ou des plan(s) d'action(s) en associant les acteurs locaux dans la conception d'un processus d'innovation coordonné entre les systèmes agricoles, les chaînes d'approvisionnement et la gestion des ressources naturelles. Ce plan d'action doit spécifier à la fois l'agriculture locale à développer, ainsi que les changements organisationnels nécessaires, pour des impacts santé au sein du territoire investigué tout en identifiant ceux dépassant ce périmètre. Des synergies entre activités sont à rechercher, notamment pour augmenter la souveraineté ou l'autonomie d'un territoire en intrants ou en aliments, notamment au travers du développement des légumineuses.

A l'échelle d'un pays, des ateliers participatifs mobilisant des acteurs des filières et de l'agro-alimentaire, des responsables des politiques publiques, et des représentants des consommateurs engagés dans la transition agroécologique, sont un moyen d'échanger des points de vue, et d'identifier des verrous et des points d'accord pour faire évoluer l'organisation des filières pour favoriser des coordinations entre acteurs visant à soutenir une « santé globale ». Là encore, l'utilisation du multiscopie peut aider à la concertation en hiérarchisant des facteurs selon leurs effets, en pointant les situations où peuvent s'exprimer des synergies de services écosystémiques ou encore en précisant des échelles de fonctionnement et des échelles d'action, comme

cela a été fait pour des innovations basées sur la complémentarité agriculture-élevage (Moraine et al., 2016).

## Conclusion

Bien que les atouts des légumineuses soient nombreux pour le sol, les écosystèmes et l'homme, leur culture et leur utilisation ont fortement régressé en Europe au cours du 20<sup>ème</sup> siècle. La plupart des études ne considère ces atouts que par domaine (l'agriculture, l'environnement, l'alimentation animale, l'alimentation humaine) indépendamment les uns des autres, ou bien par niveau (le sol, les changements globaux) sans connectivité spatio-temporelle. Partant du constat que ces atouts peuvent paraître minimes en regard des verrous à leur développement lorsqu'ils sont considérés un à un, ou bien parce que les bénéfices à leur utilisation sont distribués entre des domaines très divers (le sol, les plantes, la planète, l'homme), nous proposons le concept de « santé globale » pour relier la santé du sol, des plantes, des animaux, des écosystèmes, de la planète et de l'homme. Nous l'avons décliné en un cadre heuristique multi-niveaux (du sol à la planète). Ce cadre, le multiscopie, permet de décrire la complexité des interactions et les effets en cascade suite à des changements de pratiques dans les systèmes agricoles ou d'habitudes alimentaires. Il invite à porter l'attention sur certains effets qui sont différés (dans le temps), déportés (sur un autre lieu), décalés (à un autre niveau d'organisation), diffus (effet de masse nécessaire) et dépendants d'autres innovations. Il conduit à considérer ensemble les processus sous-jacents au bouclage des cycles biogéochimiques qui dépendent tout autant de processus très localisés en relation avec l'association de plantes, que globaux en relation avec les échanges internationaux (tourteaux de soja), au développement des services écosystémiques en considérant conjointement les fonctionnalités des écosystèmes et au bien-être animal et humain (qualité de l'environnement et choix alimentaires). Le concept de santé appliqué à des domaines très différents du vivant et de l'environnement constitue une sorte de métrique conceptuelle qui facilite la mise en relation de processus différents se déroulant à des échelles différentes.

Nous avons illustré l'intérêt du multiscopie pour enrichir les études portant sur les dynamiques d'innovations, la conception de systèmes de culture et d'élevage innovants, l'élaboration de scénarios et de plans d'actions pour une transition agroécologique. Toutefois, cette première approche mérite d'être étayée par d'autres applications, pour tester son intérêt et en faire la preuve de concept, notamment dans sa capacité à décloisonner les travaux de recherche, à favoriser l'interdisciplinarité pour la conception intégrée de systèmes agricoles et agro-alimentaires.

## Références bibliographiques

Acosta-Alba, I., Lopéz-Ridaura, S., van der Werf, H. M. G. 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.

Allen, T., Prosperi, P., Cogill, B., & Flichman, G., 2014. Agricultural biodiversity, social-ecological systems and sustainable diets. *The Proceedings of the Nutrition Society*, 73(4), 498-508. <http://doi.org/10.1017/S002966511400069X>.

ANSES., 2015. *Apports en acides gras de la population vivant en France*.

<https://www.anses.fr/fr/system/files/NUT2014sa0117Ra.pdf>.

ANSES., 2016. AVIS et RAPPORTS de l'Anses relatifs à l'Actualisation des repères du PNNS : Révision des repères de consommations alimentaires.

Bartomeus, I., Potts, S. G., Steffan-Dewenter, I., Vaissière, B. E., Woyciechowski, M., Krewenka, K. M., ... Bommarco, R., 2014. Contribution of insect pollinators to crop yield and quality varies with agricultural intensification. *PeerJ*, 2, e328. <http://doi.org/10.7717/peerj.328>.

Basiricò, L., Morera, P., Dipasquale, D., Tröscher, A., & Bernabucci, U., 2017. Comparison between conjugated linoleic acid and essential fatty acids in preventing oxidative stress in bovine mammary epithelial cells. *Journal of Dairy Science*, 100(3), 2299-2309.

Baumont R., Bastien D., Féraud A., Maxin G., Niderkorn V., 2016 "Les intérêts multiples des légumineuses fourragères pour l'alimentation des ruminants", *Fourrages*, 227, 171-180.

Bedoussac, L., Journet, E.-P., Hauggaard-Nielsen, H., Naudin, C., Corre-Hellou, G., Jensen, E. S., Justes, E., 2015. Ecological principles underlying the increase of productivity achieved by cereal-grain legume intercropping in organic farming. A review. *Agronomy for Sustainable Development*:35(3), 911-935.

Berthet, E., Barnaud, C., Girard, N., Labatut, J., Martin, G., 2016. How to foster agroecological innovations? A comparison of participatory design methods. *Journal of Environmental Planning and Management*, 59(2), 280-301.

Bertoni, G., Trevisi, E., Houdijk, J., Calamari, L., 2016. Nutrition and the Welfare of Farm. *Animals*, 16. <http://doi.org/10.1007/978-3-319-27356-3>.

Biesbroek, S., Bueno-de-Mesquita, H. B., Peeters, P. H. M., Verschuren, W. M., van der Schouw, Y. T., Kramer, G. F. H., ... Temme, E. H. M., 2014. Reducing our environmental footprint and improving our health: greenhouse gas emission and land use of usual diet and mortality in EPIC-NL: a prospective cohort study. *Environmental Health : A Global Access Science Source*, 13(1), 27. <http://doi.org/10.1186/1476-069X-13-27>.

Billen, G., Lassaletta, L., Garnier, J., 2014. A biogeochemical view of the global agro-food system: Nitrogen flows associated with protein production, consumption and trade. *Global Food Security*, 3(3-4), 209-219. <http://doi.org/10.1016/j.gfs.2014.08.003>.

Binot, A., Duboz, R., Promburom, P., Phimpraphai, W., Cappel, J., Lajaunie, C., ... Roger, F. L., 2015. A framework to promote collective action within the One Health community of practice: Using participatory modelling to enable interdisciplinary, cross-sectoral and multi-level integration. *One Health*, 1, 44-48. <http://doi.org/10.1016/j.onehlt.2015.09.001>.

Cellier P., Odoux J.F., Thiébeau P., Vertès F., 2016. Ce que les légumineuses fourragères et prairiales apportent à l'environnement. *Fourrages*, 226, 87-94.

Champ, M., Magrini, M.-B., Simon, N., Le Guilou, C., 2015. Les légumineuses pour l'alimentation humaine : apports nutritionnels et effets santé, usages et perspectives. In Schneider A. et Huygues Ch. (Eds) 2015 Les légumineuses pour des

systèmes agricoles et alimentaires durables, QUAE Editions, France, 263-296.

Chardigny, J., Walrand, S., 2016. A How might oil seeds help meet the protein challenge? - OCL, 23, 6p.

Charrier, F., Magrini, M. B., Charlier, A., Fares, M., Le Bail, M., Messéan, A., & Meynard, J. M., 2013. Alimentation animale et organisation des filières: une comparaison pois protéagineux-lin oléagineux pour comprendre les facteurs freinant ou favorisant les cultures de diversification. OCL, 20(4), D407.

Chatterton, J., Graves, A., Audsley, E., Morris, J., & Williams, A., 2015. Using systems-based life cycle assessment to investigate the environmental and economic impacts and benefits of the livestock sector in the UK. *J. of Cleaner Production*, 86, 1-8. <http://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.05.103>.

Chiles, R.M., 2016. Hidden in plain sight: How industry, mass media, and consumers' everyday habits suppress food controversies. *Sociologia Ruralis*, doi:10.1111/soru.12152.

Crotty F.V., Fychan R., Scullon J., Sanders R., Marley C.L., 2015. Assessing the impact of agricultural forage crops on soil biodiversity and abundance. *Soil Biology and Biochemistry*, 91, 119-126.

Cuhra, M., Bonn, T., Cuhra, P., 2016. Too Much of a Good Thing? *Frontiers in Environmental Science*, 4(April), 1. <http://doi.org/10.1097/JGP.ob013e318263a0e0>.

De Smet, S., Vossen, E., 2016. Meat: The balance between nutrition and health. A review. *Meat Science*, 120, 145-156. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.008>.

De Vries, J. W. W., Groenestein, C. M. M., Schröder, J. J. J., Hoogmoed, W. B. B., Sukkel, W., Groot Koerkamp, P. W. G. W. G., & De Boer, I. J. M. J. M., 2015. Integrated manure management to reduce environmental impact: II. Environmental impact assessment of strategies. *Agricultural Systems*, 138, 88-99. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2015.05.006>.

Döring, T. F., Vieweger, A., Pautasso, M., Vaarst, M., Finckh, M. R., & Wolfe, M. S., 2014. Resilience as a universal criterion of health. *J of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 455-465. <http://doi.org/10.1002/jsfa.6539>.

Drinkwater, L. E., & Snapp, S. S. (2007). Nutrients in agroecosystems : Rethink the management paradigm. *Advances in Agronomy*, 92(04). [http://doi.org/10.1016/S0065-2113\(04\)92003-2](http://doi.org/10.1016/S0065-2113(04)92003-2).

Duru, M., Therond, O., & Fares, M. (2015a). Designing agroecological transitions. A review. *Agronomy for Sustainable Development*. <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0318-x>.

Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-clouaire, R., Magne, M., Justes, E., ... Sarthou, J. P., 2015b. How to implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services : a review. *Agronomy for Sustainable Development*. <http://doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>.

Duru, M., 2016. Les légumineuses « en action » : une lecture sociotechnique des enjeux et des verrous, *Fourrages*, 227, 223-231.

Duru, M., Magrini, M., 2016. Consommer des produits dont les animaux ont été alimentés à l'herbe est-il suffisant pour équilibrer notre alimentation en acides gras poly-insaturés? *Fourrages*, 228, 301-312.

Duru, M., Magrini, M.B., 2017. Composition en acides gras poly-insaturés de notre assiette et utilisation des matières premières agricoles en France : une amélioration lente, mais insuffisante. OCL 24(2), DOI: 10.1051/ocl/2017007.

Ekmekcioglu, C., Wallne, P., Kundi, M., Weisz, U., Haas, W., Hutter, H. P., 2016. Red meat, diseases and healthy alternatives: A critical review. *Critical reviews in food science and nutrition*, (just-accepted), 00-00.

Ford, A. E. S., Graham, H., White, P. C. L., 2015. Integrating Human and Ecosystem Health Through Ecosystem Services Frameworks. *EcoHealth*, 12(4), 660-671.

Friel, S., Dangour, A. D., Garnett, T., Lock, K., Chalabi, Z., Roberts, I., ... Haines, A., 2009. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. *The Lancet*, 374(9706), 2016-2025. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(09\)61753-0](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(09)61753-0).

Friel, S., Ford, L., 2015. Systems, food security and human health. *Food Security*, 7(2), 437-451. <http://doi.org/10.1007/s12571-015-0433-1>.

Garnett, T., 2013. Food sustainability: problems, perspectives and solutions. *Proceedings of the Nutrition Society*, 72(01), 29-39. <http://doi.org/10.1017/S0029665112002947>.

Garnett, T., Appleby, M. C., Balmford, A., Bateman, I. J., Benton, T. G., Bloomer, P., ... & Herrero, M., 2014. What is a sustainable healthy diet? A discussion paper.

Gasparri, N. I., Grau, H. R., & Gutierrez Angonese, J., 2013. Linkages between soybean and neotropical deforestation: Coupling and transient decoupling dynamics in a multi-decadal analysis. *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions*, 23(6), 1605-1614. <http://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2013.09.007>.

Geels, F., 2011. The multi-level perspective on sustainability transitions: responses to seven criticisms. *Environ. Innov. Soc. Trans.* 1 (1), 24-40.

Glaser, M., Glaeser, B., 2014. Towards a framework for cross-scale and multi-level analysis of coastal and marine social-ecological systems dynamics. *Regional Environmental Change*, 14(6), 2039-2052. <http://doi.org/10.1007/s10113-014-0637-5>.

Glasser, F., Ferlay, A., Chilliard, Y., 2008. Oilseed lipid supplements and fatty acid composition of cow milk: a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, 91(12), 4687-703. <http://doi.org/10.3168/jds.2008-0987>.

Guéguen, J., Walrand, S., Bourgeois, O., 2016. Les protéines végétales : contexte et potentiels en alimentation humaine. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 1-9.

Guyomard, H., Darcy-Vrillon, B., Esnouf, C., Marin, M., Russel, M., Guillou, M., 2012. Eating patterns and food systems: critical knowledge requirements for policy design and implementation. *Agriculture & Food Security*, 1(1), 13. <http://doi.org/10.1186/2048-7010-1-13>.

- Hawkes, C., Friel, S., Lobstein, T., Lang, T., 2012. Linking agricultural policies with obesity and noncommunicable diseases: A new perspective for a globalising world. *Food Policy*, 37(3), 343-353. <http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.02.011>.
- Hoste, H., Torres-Acosta, J. F. J., Sandoval-Castro, C. A., Mueller-Harvey, I., Sotiraki, S., Louvandini, H., ... & Terrill, T. H., 2015. Tannin containing legumes as a model for nutraceuticals against digestive parasites in livestock. *Veterinary Parasitology*, 212(1), 5-17.
- Jiang, J., Xiong, Y. L., 2016. Natural antioxidants as food and feed additives to promote health benefits and quality of meat products: A review. *Meat Science*, 120, 107-117. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2016.04.00>.
- Johnson, J.L., Fanzo, J.C., Cogill, B., 2014. Understanding Sustainable Diets: A Descriptive Analysis of the Determinants and Processes That Influence Diets and Their Impact on Health, Food Security, and Environmental Security. *Advances in Nutrition* 5:418-429.
- Karstensen, J., Peters, G.P., Andrew, R.M., 2013. Attribution of CO<sub>2</sub> emissions from Brazilian deforestation to consumers between 1990 and 2010. *Environ. Res. Lett.* 8 (2), 024005.
- Kim, K.-H., Kabir, E., & Kabir, S. (2015). A review on the human health impact of airborne particulate matter. *Environment International*, 74, 136-143. <http://doi.org/10.1016/j.envint.2014.10.005>.
- Krüger, M., Schrödl, W., Neuhaus, J., Shehata, A. A., 2013. Field Investigations of Glyphosate in Urine of Danish Dairy Cows. *Journal of Environmental & Analytical Toxicology*, 3(5), 1000186. <http://doi.org/http://dx.doi.org/10.4172/2161-0525.1000186>.
- Laishram, J., Saxena, K. G., Maikhuri, R. K., & Rao, K. S., 2012. Soil Quality and Soil Health : A Review. *International Journal of Ecology and Environmental Sciences*, 38(1), 19-37.
- Lascialfari M., Magrini M-B., 2016. Towards more sustainable diets: insights from firms' innovation dynamics on new legumes-based food products., 10ème journée des recherches en sciences sociales, 8-9 décembre 2016, Paris.
- Le Noë, J., Billen, G., Lassaletta, L., Silvestre, M., Garnier, J., 2016. La place du transport de denrées agricoles dans le cycle biogéochimique de l'azote en France : un aspect de la spécialisation des territoires. *Cahiers Agricultures*, 25(1), 15004. <http://doi.org/10.1051/cagri/2016002>.
- Lerner, H., Berg, C., 2015. The concept of health in One Health and some practical implications for research and education: what is One Health? *Infection Ecology & Epidemiology*, 5, 25300. <http://doi.org/10.3402/iee.v5.25300>.
- Levain, A., Vertès, F., Ruiz, L., Delaby, L., Gascuel-Oudou, C., Barbier, M., 2015. "I am an Intensive Guy": The Possibility and Conditions of Reconciliation Through the Ecological Intensification Framework. *Environmental Management*. <http://doi.org/10.1007/s00267-015-0548-3>.
- Lüscher, A., Mueller-Harvey, I., Soussana, J. F., Rees, R. M., Peyraud, J. L., 2014. Potential of legume-based grassland-livestock systems in Europe: a review. *Grass and Forage Science*, 69(2), 206-228. <http://doi.org/10.1111/gfs.12124>.
- Magrini, M.-B., Anton, M., Cholez, C., Corre-Hellou, G., Duc, G., Jeuffroy, M.-H., ... Walrand, S., 2016. Why are grain-legumes rarely present in cropping systems despite their environmental and nutritional benefits? Analyzing lock-in in the French agrifood system. *Ecological Economics*, 126, 152-162. <http://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2016.03.024>.
- Martin, G., Willaume, M., 2016. A diachronic study of greenhouse gas emissions of French dairy farms according to adaptation pathways. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 221, 50-59. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2016.01.027>.
- Mathijs, E., 2015. Exploring future patterns of meat consumption. *Meat Science*, 109, 112-116. <http://doi.org/10.1016/j.meatsci.2015.05.007>.
- Meynard, J.-M., Messéan, A., Charlier, A., Charrier, F., Fares, M., Le Bail, M., ... Savini, I., 2013. Freins et leviers à la diversification des cultures : étude au niveau des exploitations agricoles et des filières. *Ocl*, 20(4), D403. <http://doi.org/10.1051/ocl/2013007>.
- Meynard, J-M., Charlier A., Charrier F., Fares M., Le Bail M., Magrini M-B., Messéan A., 2015. La diversification des cultures : comment la promouvoir ? Notes et Etudes Socio-Economiques n° 39, Avril 2015, pp. 7-29.
- Meynard, J.-M., Jeuffroy, M.-H., Le Bail, M., Lefèvre, A., Magrini, M.-B., & Michon, C., 2016. Designing coupled innovations for the sustainability transition of agrifood systems. *Agricultural Systems*. <http://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.08.002>.
- Mirmiran, P., Bahadoran, Z., Azizi, F., 2014. Functional foods-based diet as a novel dietary approach for management of type 2 diabetes and its complications : A review. *World J Diabetes* 5(3): 267-281. <http://doi.org/10.4239/wjd.v5.i3.267>.
- Misselbrook, T., Prado, A., Chadwick, D., 2013. Opportunities for reducing environmental emissions from forage-based dairy farms. *Agricultural and Food Science*, 93-107.
- Molendi-Coste, O., Legry, V., Leclercq, I. A., 2011. Why and How Meet n-3 PUFA Dietary Recommendations? *Gastroenterology Research and Practice*, 364040. <http://doi.org/10.1155/2011/364040>.
- Moraine, M., Duru, M., Therond, O., 2016. A social-ecological framework for analyzing and designing integrated crop-livestock systems from farm to territory levels. *Renewable Agriculture and Food Systems*, 1-14.
- Mourot, J., 2015. Évolution de la qualité des produits animaux au cours des cinquante dernières années. *Cahiers de Nutrition et de Diététique*, 50(6), 6S30-6S35.
- Muller, F., 2005. Ecosystem indicators for the integrated management of landscape health and integrity. *Handbook of Ecological Indicators for Assessment of Ecosystem Health*, 277-303.
- Nemecek, T., Von Richthofen, JS., Dubois, G., Casta, P., Charles, R., Pahl, H., 2008. Environmental impacts of introducing grain legumes into European crop rotations. *Eur J Agron* 28:380-393.
- Nijdam, D., Rood, T., Westhoek, H., 2012. The price of protein: Review of land use and carbon footprints from life

- cycle assessments of animal food products and their substitutes. *Food Policy*, 37(6), 760-770. <http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2012.08.002>.
- Pellerin, S., Bamiere, L., Angers, D., Beline, F., Benoit, M., Butault, J.P., Chenu, C., Colenne-David, C., De Cara, S., Delame, N., Doreau, M., Dupraz, P., Faverdin, P., Garcia-Launay, F., Hassouna, M., Henault, C., Jeuffroy, M.H., Klumpp, K., Metay, A., Moran, D., Recous, S., Samson, E., Savini, I., Pardon, L., 2013. Quelle contribution de l'agriculture française à la réduction des émissions de gaz à effet de serre? Potentiel d'atténuation et coût de dix actions techniques. Synthèse du rapport d'étude, INRA (92 pp.).
- Peyrard C., Mary B., Perrin P., Véricel G., Gréhan E., Justes E., Léonard J. (2016). N<sub>2</sub>O emissions of low input cropping systems as affected by legume and cover crops use. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 224: 145-156. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2016.03.028>.
- Peysson, W., Vulliet, E., 2013. Determination of 136 pharmaceuticals and hormones in sewage sludge using quick, easy, cheap, effective, rugged and safe extraction followed by analysis with liquid chromatography-time-of-flight-mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 1290, 46-61. <http://doi.org/10.1016/j.chroma.2013.03.057>.
- Philippot, L., Raaijmakers, J. M., Lemanceau, P., van der Putten, W. H., 2013. Going back to the roots: the microbial ecology of the rhizosphere. *Nature Reviews. Microbiology*, 11(11), 789-99.
- Plaza-Bonilla D., Nolot J-M, Raffailac D., Justes E., 2015. Cover crops mitigate nitrate leaching in cropping systems including grain legumes: field evidence and model simulations. *Agriculture, Ecosystem and Environment*. 212, 1-12. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.06.014>.
- Plaza-Bonilla D., Nolot J-M, Passot S., Raffailac D., Justes E., 2016a. Grain legume-based rotations managed under conventional tillage need cover crops to mitigate soil organic matter losses. *Soil & Tillage Research*. 156, 33-43. <http://dx.doi.org/10.1016/j.still.2015.09.021>.
- Plaza-Bonilla, D., Nolot, J. M., Raffailac, D., Justes, E., 2016b. Innovative cropping systems to reduce N inputs and maintain wheat yields by inserting grain legumes and cover crops in southwestern France. *European Journal of Agronomy*. 82, 331-341.
- Ren, W., Hu, L., Zhang, J., Sun, C., Tang, J., Yuan, Y., Chen, X. (2014). Can positive interactions between cultivated species help to sustain modern agriculture? *Frontiers in Ecology and the Environment*, 12(9), 507-514. <http://doi.org/10.1890/130162>.
- Roger, F., Caron, A., Morand, S., Pedrono, M., Garine-Wichatitsky, M. de, Chevalier, V., ... Binot, A., 2016. One Health and EcoHealth: the same wine in different bottles? *Infection Ecology & Epidemiology*, 6(0), 4-7. <http://doi.org/10.3402/iee.v6.30978>.
- Röös, E., Bajželj, B., Smith, P., Patel, M., Little, D., Garnett, T., 2016b. Protein futures for Western Europe: potential land use and climate impacts in 2050. *Regional Environmental Change*. <http://doi.org/10.1007/s10113-016-1013-4>.
- Röös, E., Patel, M., Spångberg, J., Carlsson, G., Rydhmer, L., 2016a. Limiting livestock production to pasture and by-products in a search for sustainable diets. *Food Policy*, 58, 1-13. <http://doi.org/10.1016/j.foodpol.2015.10.008>.
- Schader, C., Muller, A., Scialabba, N. E.-H., Hecht, J., Isensee, A., Erb, K.-H., ... Niggli, U., 2015. Impacts of feeding less food-competing feedstuffs to livestock on global food system sustainability. *Journal of The Royal Society Interface*, 12(113), 20150891. <http://doi.org/10.1098/rsif.2015.0891>.
- Schleifer, D., 2012. The Perfect Solution: How Trans Fats Became the Healthy Replacement for Saturated Fats. *Technology and Culture*, 53(1), 94-119.
- Schneider A., Huygues Ch. (Eds) 2015. Les légumineuses pour des systèmes agricoles et alimentaires durables, QUAE Editions, France.
- Shomaker, T. S., Green, E. M., Yandow, S. M., 2013. Perspective. *Academic Medicine*, 88(1), 49-55. <http://doi.org/10.1097/ACM.0b013e31827651b1>.
- Siddique, K. H. M., Johansen, C., Turner, N. C., Jeuffroy, M. H., Hashem, A., Sakar, D., ... Alghamdi, S. S. (2012). Innovations in agronomy for food legumes. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 32(1), 45-64. <http://doi.org/10.1007/s13593-011-0021-5>.
- Simopoulos, A. P., 2006. Evolutionary aspects of diet, the omega-6/omega-3 ratio and genetic variation: nutritional implications for chronic diseases. *Biomedicine & Pharmacotherapy*, 60(9), 502-507. <http://doi.org/10.1016/j.biopha.2006.07.080>.
- Sordillo, L. M., Mavangira, V., 2014. The nexus between nutrient metabolism, oxidative stress and inflammation in transition cows. *Animal Production*, 54, 1204-1214.
- Tayeh, N., Klein, A., Le Paslier, M. C., Jacquin, F., Houtin, H., Rond, C., ... & Burstin, J. (2015). Genomic prediction in pea: effect of marker density and training population size and composition on prediction accuracy. *Frontiers in plant science*, 6, 941.
- Therond, O., Duru M., Roger Estrade J., Richard G., 2017. A new analytical framework of farming system diversity to identify knowledge gaps in agronomy research: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 37(3), 21.
- Tilman, D., Clark, M., 2014. Global diets link environmental sustainability and human health. *Nature*, 515(7528), 518-522. <http://doi.org/10.1038/nature13959>.
- Tribouillois, H., Fort, F., Cruz, P., Charles, R., Flores, O., Garnier, E., Justes, E., 2015a. A functional characterisation of a wide range of cover crop species: growth and nitrogen acquisition rates, leaf traits and ecological strategies. *PLoS one*, 10(3), e0122156.
- Tribouillois H., Cruz P., Cohan J-P., Justes E., 2015b. Modelling agroecosystem nitrogen functions provided by cover crop species in bispecific mixtures using functional traits and environmental factors. *Agriculture, Ecosystem and Environment*, 207, 218-228. <http://dx.doi.org/10.1016/j.agee.2015.04.016>.
- Tribouillois H., Cohan J-P., Justes E., 2016. Cover crop mixtures including legume produce ecosystem services of ni-

trate capture and green manuring: assessment combining experimentation and modelling. *Plant and Soil*. 401, 347-364. <http://dx.doi.org/10.1007/s11104-015-2734-8>.

Vieweger, A., Döring, T. F., 2014. Assessing health in agriculture? towards a common research framework for soils, plants, animals, humans and ecosystems. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 95(3), 438-446. <http://doi.org/10.1002/jsfa.6708>.

Voisin, A.-S., Guéguen, J., Huyghe, C., Jeuffroy, M.-H., Magrini, M.-B., Meynard, J.-M., ... Pelzer, E., 2014. Legumes for feed, food, biomaterials and bioenergy in Europe: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34(2), 361-380. <http://doi.org/10.1007/s13593-013-0189-y>.

Vukicevich, E., Lowery, T., Bowen, P., Úrbez-Torres, J. R., Hart, M., 2016. Cover crops to increase soil microbial diversity and mitigate decline in perennial agriculture. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(3), 48. <http://doi.org/10.1007/s13593-016-0385-7>.

Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D., ... Oenema, O., 2014. Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. *Global Environmental Change*, 26, 196-205.

Whitmee, S., Haines, A., Beyrer, C., Boltz, F., Capon, A. G., De Souza Dias, B. F., ... Yach, D., 2015. Safeguarding human health in the Anthropocene epoch: Report of the Rockefeller Foundation-Lancet Commission on planetary health. *The Lancet*, 386(10007), 1973-2028. [http://doi.org/10.1016/S0140-6736\(15\)60901-1](http://doi.org/10.1016/S0140-6736(15)60901-1).

Yan, M.-J., Humphreys, J., Holden, N. M., 2013. The carbon footprint of pasture-based milk production: can white clover make a difference? *Journal of Dairy Science*, 96(2), 857-65. <http://doi.org/10.3168/jds.2012-5904>.

Yip, C. S. C., Crane, G., Karnon, J., 2013. Systematic review of reducing population meat consumption to reduce greenhouse gas emissions and obtain health benefits: Effectiveness and models assessments. *International Journal of Public Health*, 58(5), 683-693. <http://doi.org/10.1007/s00038-013-0484-z>.

Zander, P., Amjath-Babu, T. S., Preissel, S., Reckling, M., Bues, A., Schlfke, N., ... Watson, C., 2016. Grain legume decline and potential recovery in European agriculture: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 36(2).

Zhang, W., Ricketts, TH., Kremen, C., Carney, K., Swinton, SM., 2007. Ecosystem services and dis-services to agriculture. *Ecol Econ* 64: 253-260.