



Caractérisation et performances de systèmes de culture et de production en rupture

Marie Thiollet-Scholtus

► To cite this version:

Marie Thiollet-Scholtus. Caractérisation et performances de systèmes de culture et de production en rupture. Agronomie. Université de Lorraine; École doctorale SIRENa - Science et ingénierie des ressources naturelles, 2021. tel-03295544

HAL Id: tel-03295544

<https://hal.univ-lorraine.fr/tel-03295544>

Submitted on 22 Jul 2021

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.

Université de Lorraine
École Nationale Supérieure d'Agronomie et des Industries Alimentaires
Laboratoire Agronomie et Environnement

École Doctorale Sciences et Ingénierie des Ressources Naturelles

Mémoire présenté en vue de l'obtention du diplôme
D'Habilitation à Diriger des Recherches

Caractérisation et performances de systèmes de culture et de production en rupture

Par
Marie THIOLLET
Ingénieur de recherche INRAE
UMR 1132 LAE, INRAE Colmar, 68000 Colmar

Le vendredi 2 juillet 2021 à 14h devant le jury composé de :

MAGRINI Marie-Benoît, Ingénieur de Recherche INRAE, HDR, UMR AGIR	Rapporteur
METAY Aurélie, Maître de Conférence, HDR, UMR ABSYS	Rapporteur
MUNIER-JOLAIN Nicolas, Ingénieur de recherche INRAE, HDR, UMR Agroécologie	Rapporteur
BOCKSTALLER Christian, Ingénieur de Recherche INRAE, HDR, UMR LAE	Examineur
MARTIN Guillaume, Directeur de Recherche INRAE, UMR AGIR	Examineur
PLANTUREUX Sylvain, Professeur Université de Lorraine, UMR LAE	Examineur

Remerciements

Cette habilitation à diriger des recherches est le fruit d'un travail collectif et je tiens à remercier l'ensemble des personnes m'ayant aidé à la réaliser.

Un grand merci à Marie-Benoît Magrini, Aurélie Métay, Nicolas Munier-Jolain, Guillaume Martin, Sylvain Plantureux et Christian Bockstaller, qui m'ont fait l'honneur d'accepter de participer à mon jury et d'évaluer et de discuter mon travail. Je sais combien leur temps à tous est précieux et je leur en suis d'autant plus reconnaissante d'avoir accepté d'examiner mon travail.

Je remercie mes formateurs et encadrants, des classes préparatoires du Lycée Saint Louis à Paris, de l'ENSAIA de Nancy et des centres INRA de Bordeaux, d'Angers et de Colmar.

Je remercie Christian Bockstaller, Christophe Robin et Olivier Therond qui m'ont encouragé de façon constructive à mener à bien ce projet.

Au risque de répéter les remerciements de ma thèse, il n'est pas un seul jour où je ne pense à ceux qui m'ont permis d'atteindre mes objectifs professionnels, Jacques Thiollet, qui alors que j'étais inscrite en faculté de médecine pour faire plaisir à mon chirurgien militaire de grand-père, m'a demandé si je voulais toujours être agronome. Mes yeux ont brillé. J'ai écrit ma première lettre de motivation à Claude Guérin-Pigeret, proviseur du Lycée Saint Louis à Paris qui m'admise en classes préparatoires et qui a cru en mon projet. J'ai appris à travailler intensément dans la joie et les rires avec André Darchis, mon professeur de biologie en Math Spé C Bio, qui avait prédit que je ferais de la recherche. Et enfin, j'ai appris l'optimisation ultra efficace du temps de travail en faisant simultanément ma thèse de doctorat et INDIGO®-vigne avec Philippe Girardin, directeur de recherche à l'INRA.

Un sincère merci à toutes les personnes précieuses que j'ai rencontrées tout au long de ma trajectoire, sans être exhaustive : Jean-Marc Meynard, Anne Mérot, les agronomes du SAD, et « mes » extraordinaires objets de recherche : les viticulteurs d'Alsace, de Loire, de Champagne, de Bourgogne et d'Aquitaine qui se reconnaîtront, mais qui par souci de RGPD, resteront anonymes et confidentiels.

Un grand merci à tous les collègues et amis de mon quotidien professionnel.

Un grand merci à toute l'UMR LAE, et en particulier à Séverine Piutti, Sophie Slezack, et Julie Wohlfahrt.

Un grand merci au personnel administratif INRAE qui rend mon travail possible.

Merci aux doctorants et aux stagiaires que j'ai encadrés.

Un sincère et profond merci à toute ma famille de sang et de cœur.

Merci à mes fantastiques sœurs Hélène et Sarah.

*A mon père encore une fois,
Au double magnum de Haut-Bailly 1978 que nous aurions ouvert ensemble,
A Mathilde, Laura, Pierre, David, Claire, Esther et Samuel, pour votre avenir.*

Résumé

La majeure partie de mes travaux ont concerné la connaissance de l'itinéraire technique viticole et l'évaluation de ses multiples performances. D'une façon générale, ils ont pour ambition de contribuer à permettre à la viticulture de faire sa transition agroécologique tout en maintenant la qualité de ses produits, pour beaucoup d'Appellations d'Origine Contrôlée (AOC) en France. Pour répondre à cette double contrainte, j'ai posé l'hypothèse que l'itinéraire technique viti-vinicole et les pratiques qui s'articulent en son sein, sont centraux pour faire progresser la durabilité des systèmes et tout en pérennisant la qualité des produits qui en sont issus.

L'apport majeur de mes travaux réside en premier lieu dans la connaissance et la place des itinéraires techniques viticoles. J'ai décrit précisément l'itinéraire technique viticole et les pratiques qui le constituent et s'y articulent. Ces connaissances m'ont permis de caractériser la place de l'itinéraire technique au sein des concepts du terroir viticole et de la typicité des vins, qui jusque-là étaient souvent centrés sur le triptyque sol, sous-sol et climat. Je me suis intéressée aux systèmes viticoles les plus représentés sur le territoire français, et j'ai traqué les systèmes innovants par leur faible usage d'intrants et qui pourraient répondre aux enjeux de la transition agroécologique de la viticulture. En parallèle, j'ai mené des travaux de co-conception avec des viticulteurs et des agents du développement, des systèmes viticoles beaucoup plus respectueux de l'environnement tout en maintenant leurs performances agronomiques.

L'apport majeur de mes travaux sur l'évaluation des systèmes viticoles est la construction et l'adaptation de méthodes d'évaluation de la durabilité (environnemental, social et économique) et de la qualité des produits pour la viticulture à différentes échelles et avec différents prérequis : (i) en enrichissant l'évaluation environnementale des spécificités de la vigne, culture pérenne, en lien avec le maintien de la qualité des produits qui permettent d'élaborer des vins d'Appellation d'Origine ; (ii) en produisant des indicateurs d'impact environnementaux à différentes échelles spatiales (parcelle, exploitation et bassin versant) ; (iii) en construisant un indicateur d'évaluation socio-économique des systèmes innovants viticoles à très bas intrants ; (iv) en contribuant à l'adaptation de l'ACV à la viticulture ; (v) en contribuant à l'agrégation des évaluations de l'environnement et de la qualité.

L'application de mes outils à des systèmes viticoles innovants a rencontré certaines limites, ce qui ouvre une perspective à mes travaux.

Ainsi à la fin de ce mémoire, je présente les questions de recherche que je souhaite traiter lors de la suite de mes travaux : (i) quelles sont les spécificités des systèmes agricoles innovants à très bas intrants exogènes (agroécologiques) ? et (ii) comment évaluer la durabilité et les performances des systèmes agroécologiques ?

Abstract

Most of my work has been concerned with the knowledge of the viticultural technical management route and the evaluation of its multiple performances. In a general way, this knowledge has the ambition to contribute to allow the viticulture to make its agroecological transition while maintaining the quality of its grapes and wines, for many Protected Designation of Origin (PDO) in France. To answer to this double constraint, I hypothesized that the vineyard technical management route and the practices that are articulated within it, are central to advance the sustainability of the vineyard systems while perpetuating the quality of grapes and wines.

The major contribution of my work lies first in the knowledge and the place of technical management routes. I have described precisely the technical management routes of the vineyard and the practices that constitute it and are articulated in it. To do this, I was interested in the most common vineyard systems in France, but I also tracked down innovative vineyard systems with very low input use that could meet the challenges of the agro-ecological transition in viticulture. This allowed me to co-design with winegrowers and extension agents, vineyard systems that are much more environmentally friendly while maintaining their yield and quality performances. This knowledge also allowed me to characterize the place of the technical management route within the concepts of vineyard terroir and wine typicity, which until then had been regularly focused on the triptych soil, subsoil and climate.

The major contribution of my work on the evaluation of vineyard systems is the design and adaptation of methods for evaluating sustainability (environmental, social and economic) and grape and wine quality for viticulture at different scales and with different prerequisites: (i) by enriching the environmental assessment of the specificities of the vine, a perennial crop, in relation to the maintenance of the quality of grape and wine that allow the elaboration of PDO wines; (ii) by producing environmental impact indicators at different spatial scales (plot, farm and watershed); (iii) building a socio-economic evaluation indicator for innovative low-input viticultural systems; (iv) contributing to the aggregation of environmental and quality evaluations; (v) contributing to the adaptation of LCA to viticulture.

The tools that I have contributed to develop are usable beyond viticulture and existing production systems. This allows me to build a follow-up to my work.

And so, at the end of this thesis, I present the research questions that I wish to address in the continuation of my research work: (i) what are the specificities of innovative viticulture and agricultural systems with very low exogen inputs? and (ii) how to evaluate the sustainability and performance of innovative viticulture and agricultural systems with very low exogen inputs?

Table des matières

1. CURRICULUM VITAE	7
2. LISTE DES PUBLICATIONS.....	13
3. SYNTHÈSE DE MES TRAVAUX DE RECHERCHE	23
3.1. Introduction sur les enjeux de la viticulture et son écologisation	23
3.2. Mon cadre de recherche	23
3.3. L'itinéraire technique viticole : sa caractérisation, sa place en recherche viticole et en viticulture	26
3.3.1. Caractérisation des itinéraires techniques viticoles existant en France.....	26
3.3.2. Co-conception de systèmes viticoles agroécologiques	29
3.3.3. Élaboration et application d'une méthode de repérage et de caractérisation des systèmes innovants, par la 'traque'	32
3.3.4. La démonstration de la place l'itinéraire technique viticole dans les concepts interdisciplinaires de terroir et de typicalité	33
3.3.5. La contribution de l'itinéraire technique viticole aux avancées en modélisation ..	37
3.3.6. Discussion	45
3.4. L'évaluation multicritère du système viticole.....	46
3.4.1. L'évaluation environnementale multicritère aux échelles spatiales et temporelles multiples	46
3.4.2. L'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes viticoles	51
3.5. Conclusion du bilan.....	56
4. PROJET DE RECHERCHE.....	58
4.1. Contexte et objectifs.....	58
4.2. La caractérisation des systèmes agroécologiques	59
4.2.1. Questions de recherche.....	59
4.2.2. Stratégie de recherche	59
4.2.3. Résultats attendus	60
4.3. L'évaluation des systèmes agroécologiques	61
4.3.1. État de l'art	61
4.3.2. Questions de recherche.....	66
4.3.3. Stratégie de recherche	66
4.3.4. Résultats attendus.....	68
4.4. Conclusion.....	68
5. BIBLIOGRAPHIE	69

1. CURRICULUM VITAE

Marie Thiollet-Scholtus
45 ans, née le 08/03/1976 à Paris
Mariée, 3 enfants (2007, 2010, 2013)
Marie.thiollet-scholtus@inrae.fr

Formation et diplômes

2004 : Doctorat de sciences agronomiques de l'INPL. « Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant ». Soutenance le 23 septembre 2004 à Nancy
1999 : Diplôme d'Ingénieur agronome de l'ENSAIA, spécialité productions végétales, option protection des cultures
1999 : Diplôme d'Études Approfondies de sciences agronomiques (ENSAIA, Nancy)
1996 : Entrée à l'ENSAIA de Nancy après trois années de classes préparatoires au lycée Saint Louis à Paris
1993 : Baccalauréat général série C, lycée Hélène Boucher à Paris

Expérience professionnelle

Depuis février 2020	Ingénieur de recherche en agronomie système à INRAE, UMR LAE, Colmar (68)
D'avril 2015 à janvier 2020	Ingénieur de recherche en agronomie viticole à l'INRA de Colmar, UR-ASTER-Mirecourt (54)
De janvier 2006 à février 2015	Ingénieur de recherche en agronomie viticole à l'UEVV Unité Expérimentale Vigne et Vins, UMT Vinitera, Angers (49)
D'avril à décembre 2005	Expert en environnement et en écotoxicologie pour les procédures réglementaires de demande d'autorisation de mise sur le marché des substances actives de produits phytosanitaires. Syngenta Agro S.A.S. St-Cyr-l'école (78)
2002	Prix de l'innovation scientifique pour le logiciel PhytoChoix®, au salon VIFF'EFF à Epernay (51)
De janvier 2000 à février 2004	Ingénieur de recherche en environnement au sein de l'équipe Agriculture Durable. UMR LAE, Colmar (68)
De mars à août 1999	Stage simultané de Diplôme d'Agronomie Approfondie et Diplôme d'Études Approfondies. « Nutrition soufrée et précurseurs d'arômes pour <i>Vitis vinifera</i> , cépage Sauvignon blanc ». Station agronomique de l'INRA, Bordeaux (33)
Juillet-août 1998	Stage volontaire en recherche agronomique appliquée « Carences en fer et en zinc du maïs et du soja ». North Dakota State University (USA)
Septembre 1998	Stage facultatif de préparation des caves pour les vendanges au Château Soutard à Saint Emilion (33)
Avril et juillet 1997	Stage en exploitation polyculture-élevage-viticulture au Château Berjon à Saint Antoine de Breuilh (24)

Formations complémentaires

	Ecole-chercheurs
2019	Formation à accompagner et encadrer un doctorant
2019	Formation à la communication non violente
	Cours d'anglais de niveau confirmé
2009	Ecole-Chercheurs Recherches participatives
2008	Formation à exercer une responsabilité d'encadrement d'équipe
2008	Formation pour définir une stratégie collective de publication
2008	Réflexives® : Module Formation séminaire encadrants-doctorants. Reconnaître et formuler ses compétences
2008	Réflexives® : Communication scientifique et conduite responsable de la recherche

Responsabilités et activités scientifiques

Animatrice d'une équipe de recherche (2007-2010)
Expertise dans les comités des projets : projet BASIC, Vitinnobio, Entretien du Sol, ...
Élue au conseil scientifique de département SAD-ACT pendant 2 mandats (2021 à 2020)
Élue au conseil scientifique de INRAE (2020-)
Co-animatrice du groupe disciplinaire des agronomes du SAD-ACT (2012-)
Expert pour l'écriture de la réponse à la saisine sur le glyphosate (2017)
Expert pour l'écriture de l'accord cadre INRAE-IFV 2020-2030

Encadrement scientifique

Co-encadrement de doctorants (4)

Nom du doctorant	Mark-Anthony Arceño
Sujet	Walking and Talking with Winegrowers about Terroir, Place-Based Identity, and Environmental Change in Alsace, France and in Ohio, USA. (4 articles publiés en anthropologie)
Date de soutenance	9 décembre 2020
Taux d'encadrement	30% (directrice de thèse : Anna Willow, Ohio State University)
Liste des travaux co-publiés	ACL2
Situation actuelle du doctorant	Coordinateur du programme académique au département des études comparatives de l'État de l'Ohio (travail essentiellement administratif : aide à la programmation des cours, etc.) avec un soutien à continuer à publier et à enseigner pour son département de thèse

Nom du doctorant	Florine Mailly
Sujet	Concilier réduction de l'usage des produits phytosanitaires et consommation énergétique. Évaluation des systèmes techniques combinant performances agronomiques et environnementales en viticulture
Date de soutenance	Thèse non soutenue, commencée en octobre 2012 et arrêtée en mai 2015
Taux d'encadrement	40% (directeur de thèse : Christian Gary, INRA UMR System)

Liste des travaux co-publiés	ACL9, COM8, COM23,
Situation actuelle du doctorant	Depuis novembre 2015, Conseillère à la chambre d'agriculture du Roussillon

Nom du docteur	Sandra Beauchet
Sujet	Évaluation multicritère d'itinéraires techniques viticoles associant l'évaluation environnementale par Analyse du Cycle de Vie avec l'évaluation de la qualité du raisin. Contribution au choix des pratiques pour une amélioration des itinéraires techniques viticoles.
Date de soutenance	8 novembre 2016
Taux d'encadrement	50% (directrice de thèse : Frédérique Jourjon, ESA d'Angers)
Liste des travaux co-publiés	ACL8, ACLS1, ACALS2, ACLS3, ACLF4, COM7, COM12, COM13, COM18, COM19, COM25, COM26,
Situation actuelle du docteur	Depuis octobre 2017, Ingénieur de recherche en ACV transition énergétique et écologie industrielle chez IFP Energies nouvelles (Le Chesnay)

Nom du docteur	Cécile Coulon-Leroy
Sujet	Méthode de caractérisation systémique du fonctionnement de la vigne, à partir de l'évaluation des effets combinés du milieu et des pratiques culturales, pour prévoir les types de vins.
Date de soutenance	11 mai 2012
Taux d'encadrement	90% (directeur de thèse : René Morlat, INRA UEVV Angers)
Liste des travaux co-publiés	ACL12, ACL13, ACL14, ACLF5, COM24, COM32, COM33, COM34,
Situation actuelle du docteur	Depuis septembre 2012, Enseignant-chercheur à l'ESA d'Angers, responsable du laboratoire GRAPPE

Encadrement d'ingénieurs d'étude contractuels (5)

Alix Muller (novembre 2017-mars 2019), analyse de données du projet Pepsvi ; taux d'encadrement : 100%

Bruno Striffler (novembre 2017- septembre 2019), enquêtes du projet Vitifutur ; taux d'encadrement : 100%

Cécile Coulon-Leroy (septembre 2006- août 2007), expérimentatrice ; taux d'encadrement : 100%

Laétitia Chégard (Octobre 2000-février 2001), Indigo®-vigne ; taux d'encadrement : 100%

Patricia Griffith (janvier 2020-décembre 2003), Indigo®-arboriculture ; taux d'encadrement : 50%

Encadrement d'une technicienne INRA

Séverine Roger-Julien (janvier 2006-decembre 2009), technicienne INRA ; taux d'encadrement : 50%

Encadrement de stages de fin d'étude de master ou d'ingénieur (24)

Prénom Nom	Formation	Sujet	Période
Luc Dirlor	Université de Bourgogne	Évaluation multicritère	2021
Mathilde Wisselmann	IUT Agronomie Nancy	Traque aux innovations	2021
Ismaël Bakayoko	ENSAIA	Innovations viticoles	Avril-juin 2020
Théophile Thamouze	ENS-Ulm	Bibliographie	Mai-juillet 2020
Clémence Bailly	ISARA	Pédologie viticole	Mars-août 2017
Pierre Mustin	IUT Agronomie Nancy	Évaluation multicritère	2017
Zakaria Bibès	Université de Besançon	ACV	2016
Marine Rizzitelli	AgroSup-Dijon	Évaluation multicritère	2016
Antoine Cugniet	ESA-Angers	Évaluation multicritère	2015
Marguerite Penot	ESA-Angers	Agronomie viticole	2015
Jean-Moïse Utard	AgroSup-Dijon	Innovations viticoles	2013
Katerina Pidorenko	AgroSup-Dijon	Évaluation multicritère	2012
Matéus Valduga	ESA-Angers	Agronomie viticole	2010
Nicolas Housset	ESA-Angers	Évaluation multicritère	2010
Alexis Tonus	Université de Bourgogne	Évaluation multicritère	2009
Rodrigo Scapin-Rosa	ESA-Angers	Évaluation multicritère	2009
Camille Hérouard	ESA-Angers	Agronomie viticole	2007
Valérie Pétremont	Université de Bourgogne	Agronomie viticole	2006
Adrienne Trillaud	Université de Haute Alsace	Évaluation multicritère	2003
Vengadessan Kulandaivelu	ENSAIA	Évaluation multicritère	2002
Inès Cornejo	Université de Madrid	Évaluation multicritère	2002
Matthieu Hergott	Université de Haute Alsace	Évaluation multicritère	2001
Fabrice Allier	ENSAIA	Évaluation multicritère	2001
Aurélien Bosc	Université de Reims	Agronomie viticole	2000

Participation à des comités de suivi de thèse (4)

Esther Fouillet (octobre 2020-), INRAE dpt. AgrEcoSystem : Analyse des changements de pratiques, de leurs trajectoires et des performances associées dans les systèmes viticoles du réseau DEPHY. Directeur de thèse : Bruno Rapitel, co-encadrante : Anne Mérot.

Audrey Naulleau (octobre 2018-), INRAE dpt. AgrEcoSystem : Co-construction et évaluation de scénarios de gestion technique des paysages viticoles adaptés au changement climatique. Directeur de thèse : Christian Gary, co-encadrante : Laure Hossard

Anthony Rouault (2015-2019), ESA-Angers : Développement méthodologique pour la mise en oeuvre d'une démarche participative d'éco-quali-conception© appliquée aux systèmes de production viticoles. Directrice de thèse : Frédérique Jourjon, co-encadrante : Christel Renaud-Gentié

Christel Renaud-Gentié (2009-2015), ESA-Angers : Eco-efficience des itinéraires techniques viticoles : intérêt et adaptations de l'analyse du cycle de vie pour la prise en compte des spécificités de la viticulture de qualité. Directrice de thèse : Frédérique Jourjon, co-encadrant : Marc Benoit (ASTER Mirecourt)

Enseignements

Je suis rentrée à INRAE en tant qu'ingénieur de recherche, donc je n'ai pas d'obligation d'enseignement lié à ma fonction.

J'ai donc enseigné en fonction des souhaits, des invitations et des partenariats avec des universités et des écoles d'ingénieurs, des lycées agricoles.

ISARA de Lyon – Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD/an)

ISARA de Lyon – terroirs et typicité des vins (4h CM et 4h TD /an)
 Mines de Paris - terroirs et typicité des vins (8h CM/an en 2011)
 Université d'Angers - Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD /an en 2011)
 Bordeaux Sciences Agro – Terroirs du vignoble de Loire (8h CM/an en 2011)
 ESA d'Angers - terroirs et typicité des vins (4h CM et 4h TD /an en 2011)
 Bordeaux Sciences Agro - Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD en 2008)
 Institut National d'Horticulture Angers - Évaluation multicritère (8h CM et 8h TD en 2008)
 Lycée agricole (57) - Évaluation multicritère (8h CM et 8h TD en 2003)
 Formation professionnelle pour adultes IFV (31) - INDIGO®-vigne (8h CM et 8h TD en 2002 et 2003)
 INRAE-ACT (41) – Formation aux techniques d'enquêtes (8h CM et 8h TD en 2006)
 Formation des directeurs des lycées viticoles (33) – Évaluation multicritère (16h CM en 2003)
 Lycée viticole de Beaune– Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD en 2002)
 Formation des professeurs des lycées agricoles– Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD en 2002)
 ISA de Lille– Évaluation multicritère (4h CM et 4h TD en 2001)

Participation à 15 projets de recherche

En cours

PPR – VITAE : Cultivating the grapevine without pesticides : towards agroecological wine producing socio-ecosystems – **Participante** - 3 M€ - 2020-2026
 Ecophyto-Dephy-Expé2 – SALSA : Systèmes viticoles agroécologiques mobilisant la résistance variétale et les régulations naturelles – **Responsable de tâche** - 575 K€ - 2018-2023
 Ecophyto-Dephy-Expé2 – BEE : Bio contrôle et Équilibre de l'Écosystème vigne – **Responsable de tâche** - 647 K€ - 2018-2023
 Ecophyto-Dephy-Expé2 – DiverViti: Diversifier les agroécosystèmes viticoles pour réduire les intrants – **Responsable de tâche** - 717 K€ - 2018-2023
 Ecophyto BASIC : Systèmes faiblement consommateurs de cuivre : suivre et évaluer les impacts environnementaux et économiques pour mieux accompagner le changement de pratiques – **Expert scientifique**– 263 K€ - 2019-2022
 ADEME-Graine - BEST : Systèmes bioéconomiques pour des territoires durables – **Participante** - **Participante** - 270 K€ - 2018-2020
 FranceAgriMer - DECIDEP : Aide à la DECISION et DEPérissement du vignoble : analyse technicoéconomique de l'impact des pratiques culturales pour faire face au dépérissement - **Participante** - 259 K€ - 2020-2023
 ADEME - ACV-bio : Analyse du cycle de vie de produits issus de l'agriculture biologique française - **Participante** - 398 K€ - 2018-2020

Terminés

Ecophyto-Dephy-Expé1 – PEPSVI : Expérimenter des systèmes viticoles innovants à faible niveau d'intrants phytopharmaceutiques en vignoble septentrional : EcoViti Alsace – **Coordinatrice** - 863 K€ - 2013-2018
 INTERREG – VITIFUTUR : Réseau transnational de recherche et de formation en viticulture – **Participante** - 4 M€ - 2013-2018
 AGRIBIO4 – VIBRATO : Dynamique inter-annuelle des performances productives, environnementales et commerciales - caractérisation, évaluation et analyse des mécanismes sous-jacents en AB - **Participante** - 80 K€ - 2015-2018

CASDAR – SYSVITSOLVIN : Impact de systèmes viticoles à faibles intrants sur la qualité des sols et la qualité des productions - **Participante** - 481 K€ - 2014-2016
 CASDAR – VITINNOBIO : Repérer, caractériser et partager des innovations pour concevoir des systèmes viticoles innovants et accompagner le développement de la viticulture biologique - **Participante** - 252 K€ - 2014-2016
 CASDAR – QUALENVIC : Comment combiner qualité des produits alimentaires et leurs performance environnementale ? Quelles perceptions par les consommateurs ? cas des filières vitivinicole et laitière bovine - **Responsable d'action** - 488 K€ - 2012-2015
 INTERREG – BACCHUS : Réseau transfrontalier de recherche et de transfert des connaissances pour une viticulture durable - Participante - 481 K€ - 2013-2015
 AERM – PACOV : Plateforme alsacienne du cuivre d'origine viticole – **Participante** - 350 K€ - 2013-2015

Collaborations en cours ayant donné, donnant, ou qui donneront lieu à publication

En France, notamment avec l'UMR ABSYS (Montpellier, Agrosystèmes diversifiés - ex UMR System, Anne Merot, Christian Gary, Nathalie Smits), l'UMR Innovation (Montpellier, Jean-Marc Barbier), l'UMR Sadapt (Paris, Jean-marc Meynard), l'ESA d'Angers (Christelle Renaud-Gentié, Frédérique Jourjon), l'ITAB (Natacha Sauterreau, Cécile Blanc), l'IFV (David Lafond, Eric Chantelot, Nicolas Aveline), L'UMR SAVE (Bordeaux, Adeline Ugaglia, Laurent Delière), L'UEAV (Colmar, Lionel Ley), L'EPLFPA (Rouffach, Christine Klein), BioGrandEst (Colmar, Joseph Weuissbart), Rittmo Agroenvironnement (Colmar, Najat Nassr, Aude Langenfeld), IFP Energies Nouvelles (Rueil-Malmaison, Sandra Beauchet)

A l'étranger, principalement avec

Mark-Anthony Arceño (Ohio State University, USA) : co-encadrement de sa thèse, accueil du doctorant de juin 2018 à mai 2019

Charlotte Fechter (Université de Landau, Allemagne) : échanges méthodologiques sur la construction d'un questionnaire et carnet d'adresses pour enquêtes en 2018

Jay Goos (North Dakota State University, USA) : séjour en juillet-août 1998

Responsabilités d'expert-évaluateur

Évaluation de projets européens CORE ORGANIC (2017, 2020, 2021)

Évaluation de projets français FranceAgriMer (tous les ans)

2. LISTE DES PUBLICATIONS

Articles dans des revues internationales à comité de lecture

- [ACL1] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller, A., Abidon, C., Grignion, J., Keichinger, O., Koller, R., Langenfeld, A., Ley, L., Nassr, N., Rabolin-Meinrad, C., Wohlfahrt, J. 2021. Multidimensional assessment demonstrates sustainability of new low-input viticulture systems in north-eastern France. *European Journal of Agronomy*. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126210>
- [ACL2] **Thiollet-Scholtus M.**, Arceno, M.-A., Valduga M., Sarrazin, F. 2020. Typing winegrower profiles to ease agroecological change in viticulture practices in the Loire Valley, France. *Journal of Wine Research* 31(4), 265-282. <https://doi.org/10.1080/09571264.2020.1855579>
- [ACL3] Gisan-Guisou, G., Alaphilippe, A., Aubin, J., Bockstaller, C., Boutrou, R., Buche, P., Collet, C., Girard, A., Martinet, V., Membré J-M, Sabbadin, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, van der Werf, H. 2020. Diversity and Potentiality of Multi-Criteria Decision Analysis Methods for Agri-food Research. *Agronomy for Sustainable Development*. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-020-00650-3>
- [ACL4] Beauchet, S., Cariou, V., Renaud-Gentié, C., Siret, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, Jourjon, F., 2020. Modeling grape quality by multivariate analysis of viticulture practices, soil and climate. *Oeno One* 3, 601-622. <https://doi.10.20870/oeno-one.2020.54.3.1067>
- [ACL5] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller, A., Abidon, C., Grignion, J., Keichinger, O., Koller, R., Langenfeld, A., Lemarquis, G., Ley, L., Rabolin-Meinrad, C., and Nassr, N., 2020. Assessment of new low input vine systems: dataset on environmental, soil, biodiversity, growth, yield, disease incidence, juice and wine quality, cost and social data. *Data in Brief* 31, 105663. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105663>
- [ACL6] Renaud-Gentié C., Dieu V., **Thiollet-Scholtus M.**, Merot A., 2020. Addressing organic viticulture environmental burdens by better understanding interannual impact variations. *The International Journal of Life Cycle Assessment*. 24.12.1-16. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01694-8>
- [ACL7] Gésan-Guiziou, G., Alaphilippe, A., Andro, M., Aubin, J., Bockstaller, C., Botreau, R., Buche, P., Collet, C., Darmon, N., Delabuis, M., Girard, A., Grateau, R., Kansou, K., Martinet, V., Membre, J.-M., Sabbadin, R., Soler, L.-G., **Thiollet-Scholtus, M.**, Tonda, A., and van der Werf, H., 2019. Annotation data about Multi Criteria Assessment Methods used in the agri-food research: the French National Institute for Agricultural Research (INRA) experience. *Data in Brief* 25, 104-204. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104204>
- [ACL8] Beauchet S., Rouault A., **Thiollet-Scholtus M.**, Renouf M., Jourjon F., Renaud-Gentié, C., 2019. Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical 1 management routes - a case study in the Middle Loire Valley (France). *International Journal of Life Cycle Assessment* 24(2), 253-265. <https://doi.10.1007/s11367-018-1516-y>
- [ACL9] Mailly, F., Hossard, L., Barbier J-M., **Thiollet-Scholtus, M.**, Gary, C., 2017. Quantifying the impact of crop protection practices on pesticide use in wine-

- growing systems. *European Journal of Agronomy* 84, 23-34.
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2016.12.005>
- [ACL10] **Thiollet-Scholtus, M.**, Bockstaller, C., 2015. Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity: the INDIGO® method. *European Journal of Agronomy* 62, 13-25. <http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.001>
- [ACL11] **Thiollet-Scholtus, M.**, Caillé, S., Samson, A., Lambert J-J., Morlat R., 2014. Use of production practices and sensory attributes to characterize Loire Valley red wines. *American Journal of Enology and Viticulture* 65 (1), 50-58.
<http://dx.doi.org/10.5344/ajev.2013.12141>
- [ACL12] Coulon-Leroy C., Charnomordic B., **Thiollet-Scholtus M.**, Guillaume S., 2013. Imperfect knowledge and data-based approach to model a complex agronomic feature – application to vine vigor. *Computers and Electronics in Agriculture* 99, 135-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.010>
- [ACL13] Coulon-Leroy, C., Morlat, R., Barbeau, G., Gary, C., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2012. A conceptual representation of the joint effects of environmental, plant material and agricultural practices on wine quality. *Sustainable Agriculture Reviews* 11, 241-264. https://doi.org/10.1007/978-94-007-5449-2_10
- [ACL14] Coulon-Leroy, C., Charnomordic, B., Rioux, D., **Thiollet-Scholtus, M.**, Guillaume, S., 2012. Prediction of vine vigor and precocity using data and knowledge-based fuzzy inference systems. *OENO One* 46(3), 185-205.
<https://doi.org/10.20870/oeno-one.2012.46.3.1518>
- [ACL15] Cadot, Y., Caille, S., **Thiollet-Scholtus, M.**, Samson, A., Barbeau, G., Cheynier, V., 2012. Characterisation of the sensory representation of the conceptual and the perceptual typicality for wines related to terroir. An application to red wines from Loire Valley. *Food Quality and Preference* 24, 48-58.
<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.012>
- [ACL16] Goos, R.J., Johnson, B.E., **Thiollet, M.**, 2000. A comparison of the availability of three zinc sources to maize (*Zea mays* L.) under greenhouse conditions. *Biology and Fertility of Soils* 31, 343-347. <https://doi.org/10.1007/s003740050666>

Articles soumis ou en cours d'écriture

- [ACLS1] Beauchet, S., Botreau, R., Bockstaller, C., Renaud-Gentié, C., Jourjon, F., **Thiollet-Scholtus, M.** Multi-criterion method for jointly assessing the environmental impact and harvest quality of perennial crops, with applications for viticulture (Method). Soumis à *International Journal of Life Cycle Assessment*
- [ACLS2] Beauchet, S., Botreau, R., Bockstaller, C., Renaud-Gentié, C., **Thiollet-Scholtus, M.**, Jourjon, F. Application of a multi-criteria assessment method to assess jointly the environmental impact and product quality in viticulture, a case study on five technical management wine-growing routes (Application). Soumis à *International Journal of Life Cycle Assessment*
- [ACLS3] Beauchet, S., Renaud-Gentié, C., Jourjon, F., **Thiollet-Scholtus, M.** Data for multi-criterion assessment of the environmental impact and harvest quality of viticulture. Data in Brief.
- [ACLS4] **Thiollet-Scholtus, M.**, Catarino, R., Mérot, A. The agronomic performance of very low-input systems, focusing on yield and damage from the main diseases. *Agricultural Systems*

Articles dans des revues francophones à comité de lecture

- [ACLF1] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller A., Grignion, L., Klein C., Ley L., Lemarquis, G., Nassr, N., Weissbart, J. 2020. Des vins issus d'itinéraires techniques à faibles

intrants phytosanitaires : parfaitement compatibles biochimiquement et sensoriellement, vis-à-vis des attendus de l'AOC Alsace. Revue suisse de viticulture arboriculture et horticulture

- [ACLF2] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller, A., Abidon, C., Audema, P., Bailly, C., Chaumonnot, S., Grignion, J., Keichinger, O., Klein, C., Koller, R., Langenfeld, A., Ley, L., Lemarquis, G., Nassr, N., Nibaudeau, R., Rabolin-Meinrad, C., Ribeiro, S., Schneider, C., Weissbart, J., 2019. Performances multicritères de systèmes viticoles à réduction drastique d'intrants phytopharmaceutiques dans le vignoble alsacien (PEPSVI). *Innovations Agronomiques*, 76, 219-236
- [ACLF3] Petit, A., Barbier, J.-M., **Thiollet-Scholtus, M.**, Cresson, C., Chovelon, M., and Meynard, J.-M., 2019. VITINNOBIO : Repérage et caractérisation des innovations techniques chez des viticulteurs biologiques en France *Innovations Agronomiques*, 71, 123-134
- [ACLF4] Botreau R., Beauchet S., Laurent C., Hulin S., Hérisset R., **Thiollet-Scholtus M.**, Kanyarushoki C., Boucault P., Renaud-Gentié C., Jourjon F., 2019. Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits – Application aux filières vin et lait. *Innovations Agronomiques*, 63. 23-42
- [ACLF5] Coulon-Leroy C., Renaud-Gentié C., **Thiollet-Scholtus M.**, Cadot Y., 2013. Mieux caractériser les types de raisin ou de vin pour évaluer l'impact des itinéraires techniques. *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*, 45 (4) 250–257
- [ACLF6] Renaud, C., Benoit, M., **Thiollet-Scholtus, M.**, & Jourjon, F., 2011. Evaluation globale des impacts environnementaux des itinéraires techniques viticoles par l'analyse du cycle de vie (ACV). *Revue Suisse de Viticulture, d'Arboriculture et d'Horticulture*, 43(3), 184-189
- [ACLF7] Pervanchon, F., **Thiollet, M.**, Amiaud B., Bockstaller, C., Girardin, P., Keichinger, O., Plantureux S., 2004. Un indicateur Indigo® pour l'analyse énergétique des systèmes de production. *Travaux & Innovations*, 105

Communications dans des conférences

Communications invitées

- [COMI1] **Thiollet-Scholtus, M.**, 2018. Plateforme d'Évaluation des Performances de Systèmes Viticoles Innovants -PEPSVI- 2013-2018 Projet Dephy-Expe. SIVAL. 18 janvier 2018, Angers

Communications orales

- [COM1] **Thiollet-Scholtus, M.**, Keichinger, O., 2021. Human capital assessment method to assess sustainability of new low-input viticulture systems. 2e International Symposium on Work in Agriculture. Visioconférence. 29 march-1st April 2021
- [COM2] Ballot, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, Jeuffroy, M.-H., 2019. Current on-farm glyphosate uses and alternative practices in France 6th Farming System Design Montevideo, Uruguay, 19-23 August 2019
- [COM3] **Thiollet-Scholtus, M.**, Striffler, B., and Wohlfahrt, J., 2019. Low input innovation in vineyard system, multi-scale, multi-criteria analysis. 6th Farming System Design Montevideo, Uruguay, 19-23 August 2019
- [COM4] Renaud-Gentié, C., Dieu, V., **Thiollet-Scholtus, M.**, van der Werf, H., Perrin, A., and Merot, A., 2019. Life Cycle Assessment helps addressing environmental

- burdens of organic viticulture. 42nd World Congress of Vine and Wine Genève (Suisse), 15-19 July 2019
- [COM5] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller, A., Abidon, C., Audema, P., Bailly, C., Chaumonnot, S., Grignon, J., Keichinger, O., Klein, C., Koller, R., Langenfeld, A., Ley, L., Lemarquis, G., Nassr, N., Nibaudeau, R., Rabolin-Meinrad, C., Ribeiro, S., Schneider, C., and Weissbart, J., 2019. Success of organic and biodynamic system experiment to produce high quality wines. 42nd World Congress of Vine and Wine Genève (Suisse), 15-19 July 2019
- [COM6] Striffler, B., Wohlfahrt, J., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2018. Fungi resistant grape variety diffusion: a multi-scale, multi-factor approach. XIIth International Terroir Congress Saragoza, Spain, 18-22 June 2018
- [COM7] Renaud-Gentie, C., Dieu, V., **Thiollet-Scholtus, M.**, Perrin, A., Julien, S., Beauchet, S., Jourjon, F., Merot, A., 2018. Addressing organic viticulture environmental burdens by better understanding causes of inter-annual impacts variations. 11. International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2018 (LCA Food). 16-20 october 2018. Bangkok (THA). In : Global food challenges towards sustainable consumption and production
- [COM8] Barbier, J.M., Ducasse-Cournac, A.M., Mailly, F., Hossard, L., **Thiollet-Scholtus, M.**, Gary, C., 2017. Intensité et variabilité des pratiques de traitements phytosanitaires des vignes en France : analyse de l'influence de certaines caractéristiques du vignoble. In: Proceedings of the 20th GiESCO International Meeting. Book of Full Manuscripts / Libro de Manuscritos Completos (p. 907-912). Presented at 20. GiESCO International Meeting, Mendoza, ARG
- [COM10] Keichinger O., **Thiollet-Scholtus M.**, 2017. SOECO : indicateurs socio-economiques pour la viticulture et les systèmes de culture innovants / SOECO: Socio-economic indicators for viticulture and inovative cultural systems. Sofia, Bulgaria. May 29th-June 2nd 2017. 40th World Congress of Vine and Wine.
- [COM11] Merot A., **Thiollet-Scholtus M.**, 2017. Success of organic grapes in different vineyard conditions: yield and berry quality. Sofia, Bulgaria. May 29th-June 2nd 2017. 40th World Congress of Vine and Wine.
- [COM12] Beauchet, S., **Thiollet-Scholtus M.**, Renaud-Gentié C., Jourjon F., 2017. Improvement of the environmental performance of winegrowing practices and risk analysis for grape quality: Step towards ecoqualiconception. Sofia, Bulgaria. May 29th-June 2nd 2017. 40th World Congress of Vine and Wine
- [COM13] Beauchet, S., **Thiollet-Scholtus M.**, Renaud-Gentié C., Jourjon F., 2017. Improvement of the environmental performance of winegrowing practices and risk analysis for grape quality: Step towards ecoqualiconception. Sofia, Bulgaria. May 29th-June 2nd 2017. 40th World Congress of Vine and Wine
- [COM14] Rabolin C., Schneider C., **Thiollet-Scholtus M.**, Bockstaller C. 2017. Flora richness as a trigger to maintain biodiversity in viticulture? Sofia, Bulgaria. May 29th-June 2nd 2017. 40th World Congress of Vine and Wine.
- [COM15] Métral R., Delière L., Lafond D., Burgun X., Chevrier C., Serrano E., **Thiollet-Scholtus M.**, Wery J., 2017. Conception de systèmes viticoles innovants à bas intrants phytosanitaires pour répondre aux attentes du plan Ecophyto : synthèse des premiers résultats et perspectives. Actes de la 9e Journée Scientifique Vigne – Vin, Montpellier, France, 7 mars 2017
- [COM16] **Thiollet-Scholtus, M.**, Pidorenko K., Pernet, C. 2016. Which risk assessment of water quality in PDO vineyards in Burgundy (France)? XIth International Terroir Congress. Portland, USA. 11-14 July 2016

- [COM17] Rabolin, C., Schneider C., Bockstaller C., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2016. Effects of environmental factors and vineyard practices on wine flora dynamics. XIth International Terroir Congress. Portland, USA. 11-14 July 2016
- [COM17] **Thiollet-Scholtus, M.**, Ley L., Weissbart J., Abidon C. 2016. Good grape quality and small yield: tension between no use of pesticides and use of organic fertilizers? IFSA. Newport, UK. 11-14 July 2016
- [COM18] Beauchet S., Renaud-Gentie C., **Thiollet-Scholtus M.**, Jourjon F., 2016. Method comparison between aggregation of environmental Life Cycle Assessment results by midpoint characterization results vs. Endpoint characterization method; Application to vineyard plots on two contrasted years. In 10th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2016, 19th –21st October 2016. Dublin (Irlande)
- [COM19] Beauchet, S., Renaud-Gentié, C., **Thiollet-Scholtus, M.**, Jourjon, F., 2016. LCA comparison results with midpoint method associated with fuzzy logic vs. endpoint method. In 10th International Conference on Life Cycle Assessment of Food 2016, 19th –21st October 2016. Dublin (Irlande)
- [COM20] Metral R., Rapidel B., Delière L., Petitgenet M., Lafond D., Chevrier C., Bernard F-M, Serrano, E., **Thiollet-Scholtus, M.**, Wery J., 2015. A prototyping method for the re-design of intensive perennial systems: the case of vineyards in France. In, 5th Farming System Design. Montpellier, France. 7-9 septembre 2015
- [COM21] **Thiollet-Scholtus, M.**, Ley L., Grignon J., Bockstaller C., Delière L., Forget D., Metral R., Lafond D., 2015. Getting good environmental performances combining to good yield and grape quality performances is possible with new viticulture systems under a set of high constraints. In, GiESCO. Montpellier, France. 31 mai-5 juin 2015
- [COM22] Nassr N., Langenfeld A., Benbrahim M., Ley L., Delière L., Lafond D., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2015. Improvement of wine terroir management according to biogeochemical cycle of nitrogen in soil. In, European Geosciences Union. Division on Soil System Sciences Session SSS9.12. Vienna, Austria. 12-17 april 2015
- [COM23] Mailly, F., Barbier, J. M., **Thiollet-Scholtus, M.**, Hossard, L., Gary, C., (2015). Impact of soil and canopy management practices on pesticide use in viticulture in French regions. In: IPM Innovation in Europe: book of abstracts (p. 149). Presented at 2. Stakeholders Congress IPM innovation in Europe, Poznan, POL (2015-01-14 - 2015-01-16).
- [COM24] Coulon-Leroy, C., Charnomordic, B., **Thiollet-Scholtus, M.**, Guillaume, S., 2014. Fuzzy modeling of a composite agronomical feature using FisPro: the case of Vine Vigor. In: Information Processing and Management of Uncertainty in Knowledge-Based Systems, Proceedings, Part I (p. 127-137). Communications in Computer and Information Science, 442. Presented at 15. International Conference - IPMU 2014, Montpellier, FRA. Switzerland: Springer International Publishing
- [COM25] Beauchet S., Renaud-Gentié, C., **Thiollet-Scholtus, M.**, Siret, R., Jourjon, F., 2014. An innovative methodology combining Life Cycle Assessment of a product with the assessment of its quality; case of Chenin grapes in Loire Valley vine yards. 9th International Conference LCA of Food. San Francisco, USA. 8-10 October 2014
- [COM26] Beauchet S., Renaud-Gentié, C., Cariou V., **Thiollet-Scholtus, M.**, Siret, R., Jourjon, F., 2014. Analyses multivariées pour une meilleure compréhension des pratiques viticoles et des facteurs du milieu afin d'expliquer la qualité du raisin.

OIV 37th World Congress of Vine and Wine, Mendoza, Argentina, 10-14 November 2014

- [COM27] Cadot Y., Samson A., Caillé S., **Thiollet Scholtus M.**, Barbeau G., Casabianca F., 2012. Vins et terroirs : du concept à la réalisation ; ou la nécessaire appropriation individuelle d'un patrimoine collectif. In Colloque ESSCA. Angers-France
- [COM28] Valduga M., Sarrazin, F., **Thiollet-Scholtus M.**, 2012. Analysis of the statistical links between socio-systems, technical systems and vineyard durability in Loire valley. In European Society of Agronomy, Helsinki, Finlande. 20-24/08
- [COM29] Cadot, Y., Caillé, S., Samson, A., **Thiollet-Scholtus, M.**, Barbeau, G., Casabianca, F. & Cheynier, V. 2011. Sensory typicality related to terroir: from conceptual to perceptive representation. Are winemaking practices decisive? 9th International Symposium of Oenology, "Ceno 2011". Bordeaux, France. June 15-17 2011
- [COM30] **Thiollet-Scholtus, M.**, Barbeau, G., & Badier, M., (2010). Changing the scale of characterization of a wine area: from protected designation of origin to a vineyard Loire Valley Observatory (ViLVO). In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM31] **Thiollet-Scholtus, M.**, Barbeau, G., Tonus, A., & Bockstaller, C., (2010). Assessment of environmental sustainability of wine growing activity in France. In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM32] **Thiollet-Scholtus, M.**, Coulon, C., Morlat, R., 2008. Comparaison d'itinéraires techniques viticoles et d'unités de terroir en moyenne vallée de la Loire à l'aide d'un réseau de parcelles. Congrès de l'OIV. Vérone, Italie. 16-20 juin 2008
- [COM33] **Thiollet-Scholtus, M.**, Coulon, C., Morlat, R., 2008. Image sensorielle empirique du vin et pratiques des vignerons dans l'aire de production Anjou Villages Brissac (France). VIIth International Terroir Congress. Nyon, Suisse. 19-23 mai 2008
- [COM34] Cadot, Y., Samson, A., Caillé, S., **Thiollet-Scholtus, M.**, Coulon, C., & Morlat, R., (2008). Étude de la dimension sensorielle de la typicité de vins liée à un terroir. Mise en correspondance avec leurs caractéristiques viti-vinicoles. VIIth International Terroir Congress. Nyon, Suisse. 19-23 mai 2008
- [COM35] **Thiollet-Scholtus M.**, Morlat R., Barbeau G., 2007. A new way to study relationships between Terroir and typical wine using technical and corporate surveys in an AOC territory. GESCO. Porec, Croatia. 20-23 juin 2007
- [COM36] **Thiollet-Scholtus, M.**, Bockstaller, C, Girardin, P., 2007. Évaluation de l'impact environnemental des pratiques viticoles à l'aide de des indicateurs INDIGO®-VIGNE. 4e Rencontres du Végétal. Angers, France. 16-17 janvier 2007
- [COM37] **Thiollet, M.**, Girardin, P., 2004. Construction d'indicateurs viti-environnementaux pour les vignobles septentrionaux. 3e Rencontres du Réseau des Vignes et Vins Septentrionaux. Colmar. 1er-2 avril 2004. p 31
- [COM38] Bockstaller, C, **Thiollet, M.**, Kuntzmann, P. 2003. PhytoChoix : impact environnemental et choix des produits. Euroviti 2003, 26-27 novembre 2003. Montpellier, p 34
- [COM39] **Thiollet, M.**, Bockstaller, C, Girardin, P., 2003. Environmental assessment of pesticides in vineyards: I-Phy indicator. Groupe Français des Pesticides. Aix-en-Provence, 20-24 mai 2003
- [COM40] **Thiollet, M.**, Bockstaller, C., Girardin, P., Morvan G. 2002. Adaptation of a pesticide indicator to the watershed scale. Proceedings of the VII Congress of European Society of Agronomy. Cordoba, Spain, July 15-18 2002, 845p. p 585-586.

- [COM41] **Thiollet, M.**, Girardin, P., 2002. A vineyard cover crop soil indicator. Proceedings of XIV Internationales Kolloquium « Begrünung im Weinbau ». Geisenheim, September 4-7 2002
- [COM42] **Thiollet, M.**, Girardin, P., 2002. Evaluation de l'impact des pratiques viticoles sur le milieu à l'aide d'indicateurs viti-environnementaux. Deuxièmes Rencontres du Réseau Vignes et Vins Septentrionaux. Reims, 25-26 avril 2002. p 28-29
- [COM43] **Thiollet, M.**, Kuntzmann, P. 2001. Choix des produits phytosanitaires selon leur impact sur l'environnement à l'aide de I-Phy VIGNE. Euroviti 2001, 15-16 novembre 2001. Montpellier, 34. p 111-113
- [COM44] Girardin, P., **Thiollet, M.**, 2000. Evaluation de l'impact des pratiques viticoles sur le milieu à l'aide d'indicateurs viti-environnementaux. Premières Rencontres du Réseau Vignes et Vins Septentrionaux. Dijon, 27-28 avril 200. p 8

Posters

- [COM45] **Thiollet-Scholtus, M.**, Muller, A., Grignion, J., Weissbart, J., 2018. Essential oils to successfully reduce copper fungicide in vineyard. XV. European Society for Agronomy Congress. Genève (CHE). 27-31 August 2018. In: Innovative cropping and farming systems for high quality food production systems. 180 p.
- [COM46] Merot, A., Alonso Ugaglia, A., Renaud-Gentie, C., Smits, N., **Thiollet-Scholtus, M.**, Wéry, J., 2018. A methodology to guide the conceptualization of a farm system: application to the transition of vineyards to agro-ecological farming XV. European Society for Agronomy Congress. Genève (CHE). 27-31 August 2018. In : Innovative cropping and farming systems for high quality food production systems. 180 p.
- [COM47] Merot A., **Thiollet-Scholtus M.**, 2017. Success of organic grapes in different vineyard conditions: yield and berry quality. In, GiESCO. Mendoza, Argentina. 6-10 November 2017
- [COM48] **Thiollet-Scholtus, M.**, Grignion, J., Weissbart, J., 2016. To drastically reduce pesticides uses: two cases of re-designed systems with biodynamic and protected designation of origin constraints. Proceedings of the 14th Congress of European Society of Agronomy (ESA). Edinburgh, Scotland.
- [COM49] **Thiollet-Scholtus, M.**, Ley L., Delière L., Lafond D., Metral R., 2016. French map of tested re-designed vineyards systems according to drastic reduction of pesticides in PDO constraints. Proceedings of the 14th Congress of European Society of Agronomy (ESA). Edinburgh, Scotland
- [COM50] **Thiollet-Scholtus, M.**, Ley L., Weissbart, J., Abidon, C., 2016. Good quality of grapes and small yield: Tension between no use of pesticides and use of organic fertilizers? Proceedings of the 14th Congress of European Society of Agronomy (ESA). Edinburgh, Scotland
- [COM51] Desmonts M-H., **Thiollet-Scholtus, M.**, Hamon E., Rapin A., Gavignet S., Ley L., Langenfeld A., Nassr N., 2016. An innovative soil management impacts white grapes and wines sensory qualities. XIth International Terroir Congress. Portland, USA. 11-14 July 2016
- [COM52] **Thiollet-Scholtus, M.**, Nassr N., Langenfeld A., Benbrahim M., Ley L., Grignion J. & Bockstaller C. 2015. Improvement of vineyard sustainability according to biogeochemical cycle of nitrogen in field. In, 5th Farming System Design. Montpellier, France. 7-9 septembre 2015
- [COM53] **Thiollet-Scholtus, M.**, Coquil X., Fiorelli, J-L., Grignion J. 2015. Farming systems design to facilitate transition toward low input agriculture. In, 5th Farming System Design. Montpellier, France. 7-9 septembre 2015

- [COM54] **Thiollet-Scholtus M.**, Ley L., Bockstaller C., Delière L., Forget D., Metral R., Lafond D., 2013. Conception and évaluation de systèmes viticoles innovants « bas intrants » : Design and assessment of new low-input viticulture systems. In, GiESCO. Porto, Portugal. 7-11 July 2013
- [COM55] Coulon C., **Thiollet-Scholtus M.**, Charnomordic B., Guillaume S., Barbeau G., 2012. Vine vigor modelling according to perennial and semi-perennial practices. In IXe Congrès International des Terroirs Viticoles, Reims-Dijon, France
- [COM56] Bernard, F.-M., Winterholer, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2010. Successive surveys to define practices and decision process of winegrowers to produce « vins de pays charentais » in the Cognac firewater vineyard area. In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM57] Cadot, Y., Caillé, S., **Thiollet-Scholtus, M.**, Samson, A., Barbeau, G., Cheynier, V., 2010. Typicality related to terroir: from conceptual to perceptual representation. Study of the links with enological practices. In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM58] Coulon, C., Barbeau, G., Morlat, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2010. Design of a model to predict berry composition and wine style according to soil factors, climate and winegrowers' practices. In I. Shili-Touzi & O. Piau, Proceedings of Agro 2010 the XIth ESA Congress. Montpellier, France
- [COM59] Coulon, C., Rioux, D., Guillaume, S., Charnomordic, B., Barbeau, G., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2010. Design of an indicator of vine vigor potential conferred by soil (VIPOS), using a fuzzy expert system. In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM60] Renaud, C., Benoit, M., **Thiollet-Scholtus, M.**, Jourjon, F., 2010. Evaluation des impacts environnementaux des itinéraires techniques viticoles de production de vins AOP en Val de Loire : démarche d'adaptation de la méthode de l'analyse du cycle de vie. In, VIII th International Terroir Congress. Soave, Italie. 14-18 juin 2010
- [COM61] **Thiollet-Scholtus, M.**, Coulon, C., Morlat, R., 2009. Relationship between practices and terroir for high quality grapes. In, GiESCO. Davis, USA. 12-15 juillet 2009
- [COM62] **Thiollet-Scholtus, M.**, Sarrazin, F., Badier, M., Barbeau, G., 2009. Design of a participatory research to study the contributive factors in the building of wines fame. In, II Farming System Design. Monterey, USA. 17-19 août 2009
- [COM63] **Thiollet-Scholtus, M.**, Morlat, R., Carey V.A., 2008. Characterisation of viticultural and oenological practices in two French AOC in the middle Loire Valley: comparison of different methods to extract information from a survey among winegrowers. VIIth International Terroir Congress. Nyon, Suisse. 19-23 mai 2008
- [COM64] **Thiollet-Scholtus, M.**, Bockstaller, C., Girardin, P., 2006. From field to watershed scale: Adaptation of a vineyard pesticide indicator. Proceedings of the IX Congress of European Society of Agronomy (ESA). Varsovie, Pologne. p 719-720
- [COM65] **Thiollet, M.** Construction d'un indicateur Bassin versant en viticulture. Poster de vulgarisation. Les doctoriales, 15-19 octobre 2001. La Bresse, 88.

- [VUL1] Bailly, C., Koller, R., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2018. Impacts des chantiers de plantation et des modes d'entretien des sols viticoles sur la structurer des sols limoneux et le développement racinaire. La Revue des Œnologues, 169special 51-53
- [VUL2] Durocher, E., Ley, L., Klein, C., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2018. Entretien du sol sans herbicide et gestion de l'enherbement par la combinaison d'outils, impacts agronomiques, environnementaux et économiques. La Revue des Œnologues, 169special 55-58
- [VUL3] Petit A., Cresson C., Chovel M., Barbier, J-M, Meynard, J-M, **Thiollet-Scholtus, M.**, 2017. Recherche et évaluation de pratiques innovantes chez des viticulteurs Offrir des pistes pour des solutions alternatives. La grappe d'Autun, 1-2
- [VUL4] Petit A., Cresson C., Chovel M., Barbier, J-M, Meynard, J-M, **Thiollet-Scholtus, M.**, 2016. Recherche et évaluation de pratiques innovantes chez des viticulteurs Offrir des pistes pour des solutions alternatives. Revue des Œnologues, 161-HS, 1-3
- [VUL5] **Thiollet-Scholtus, M.**, 2015. Décrire et différencier la qualité des vins rouges. Combinaison des pratiques viti-œnologiques et des descripteurs sensoriels. Exemple des vins rouges AOC du val de Loire. Revue des Œnologues, 157, 1-2
- [VUL6] Grignon J., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2015. Itinéraires viticoles innovants en agricultures biologiques et biodynamiques. Modes d'entretiens du sol et protection fongiques. Revue des Œnologues, 156, 17-18
- [VUL7] **Thiollet-Scholtus, M.**, 2012. Peut-on relier les pratiques viti-œnologiques et la couleur des vins rouges ? Revue des Œnologues ,142, 24-25
- [VUL8] **Thiollet-Scholtus, M.**, Badier, M., 2011. Environmental assessment of vineyard practices in Loire Valley. Progrès agricole et viticole, 128(18), 372-376
- [VUL9] Thiollet-Scholtus, M., **Badier, M.**, 2011. Environmental assessment of vineyard practices in Loire Valley. Progrès agricole et viticole, 128(18), 372-376
- [VUL10] Coulon, C., Ganeco, A., Neethling, E., **Thiollet-Scholtus, M.**, 2011. Method of typology of reference climatic years intended for modelling. Application to the middle Loire valley. Progrès agricole et viticole, 128(17), 347-353
- [VUL11] **Thiollet-Scholtus, M.**, 2011. Évaluation environnementale des pratiques viticoles en Alsace, Bourgogne & Champagne. Revue des Œnologues, 137-HS, 10-1
- [VUL12] **Thiollet-Scholtus, M.**, 2010. L'eau et la vigne : évaluer l'impact des pratiques viticoles sur la qualité des eaux. Revue des Œnologues, 139, 11-12
- [VUL13] **Thiollet-Scholtus, M.**, Symoneaux, R., Thibault, C., Morlat, R., 2009. Relation entre les caractéristiques sensorielles et les conditions de production de vins rouges haut de gamme du Val de Loire. Revue française d'œnologie, 233 p 6-10

Rapport de synthèse, d'expertise et de vulgarisation

- [RE1] Reboud X., Blanck M., Aubertot J-N, Jeuffroy M-H, Munier-Jolain N, **Thiollet-Scholtus M.**, 2017. Usages et alternatives au glyphosate dans l'agriculture française. Rapport Inra à la saisine Ref TR507024, 85 pages
- [RE2] Delière L., Burgun X., Lafond D., Mahé H., Métral R., Serrano E., **Thiollet-Scholtus M.**, Rougier M., Emonet E., Pillet E., 2016. Réseau DEPHY EXPE : Synthèse des résultats à miparcours à l'échelle nationale - filière Viticulture. Cellule d'Animation Nationale DEPHY Ecophyto, 70p

- [RE3] Recueil de pratiques observées en viticulture biologique : des pistes pour innover ? 2016. A. Petit (IFV) coord., Projet CASDAR n°5322 VITINNOBIO, 112p.
- [RE4] Livrets Qualenvic en pratique. 2016. Livret 1 : Qualenvic à l'épreuve du terrain : Evaluation conjointe de la performance environnementale des exploitations agricoles et de la qualité des produits. 16p. Coordinatrice du Livret 3 : Application à une parcelle viticole. Casdar-QUALENVIC. 36p
- [RE5] **Thiollet-Scholtus, M.** 2004. Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant. Doctorat de l'INPL. Sciences agronomiques. Nancy, France. 177 p
- [RE6] **Thiollet, M.** 2003. Construction des indicateurs viti-environnementaux de la méthode INDIGO®. Janv. 2000-Dec. 2003. 113 p

3. SYNTHÈSE DE MES TRAVAUX DE RECHERCHE

3.1. Introduction sur les enjeux de la viticulture et son écologisation

Le renouvellement de l'accord Cadre INRAE-IFV (interprofession de la vigne et du vin en France) auquel j'ai participé en 2020, valide 5 axes prioritaires de travail : 1- Les innovations variétales, leur déploiement et l'évaluation de leur performance, de la vigne au vin ; 2- Lutte contre le dépérissement du vignoble et des problèmes sanitaires émergents ; 3- Conduite et gestion du vignoble pour la transition agroécologique et l'agriculture biologique ; 4- Changement climatique : adaptation des vignobles et atténuation ; et 5- Qualité des vins et attentes des consommateurs. Les enjeux communs à des 5 axes sont de pouvoir accompagner et d'outiller la filière viti-vinicole pour opérationnaliser la transition de la viticulture vers l'agroécologie.

La filière viti-vinicole présente un intérêt stratégique majeur par la valeur ajoutée qu'elle permet pour la balance commerciale française et son image de produits de qualité et de luxe, mais fait aussi l'objet de controverses en particulier à cause des importantes quantités de produits phytosanitaires consommées. Le système viticole est un très fort enjeu pour l'agriculture et aussi pour les territoires français.

3.2. Mon cadre de recherche

Mes recherches s'inscrivent dans le champ de l'agronomie systémique viticole, autrement dit, je fais des recherches sur les systèmes de production viticoles à l'échelle de la parcelle (Figure 1).

J'ai abordé ce champ en mobilisant les trois piliers traditionnels de cette discipline :

L'approche systémique : le système de production viticole est issu d'interactions entre les facteurs du milieu et des facteurs humains historiques et géographiques cristallisés en appellations d'origine (Morlat, 1998). Le système de production viticole a été longtemps étudié de façon analytique, fractionnée et factorielle. Compléter ces savoir par des analyses systémiques du système viticole sont mes objets d'étude, comme cela a été fait dans d'autres productions agricoles (Gouttenoire *et al.*, 2010).

L'interdisciplinarité : une approche systémique est obligatoirement plurielle (Martin *et al.*, 2013), à plusieurs niveaux et en particulier en termes de disciplines. Concernant le système de production viticole, mobiliser les sciences biotechniques (agronomie, œnologie, analyses sensorielles) et les sciences humaines et sociales (sociologie, économie) me permettent d'explorer toutes les dimensions possibles pour répondre à mes questions de recherche.

Les démarches participatives : la création de savoir et de connaissances, l'essai d'innovations techniques et organisationnelles (Gamache *et al.*, 2020), l'expérimentation en recherche participative (Warner, 2008) avec les viticulteurs et avec les conseillers viticoles des organismes de développement servent à échanger des connaissances sur les itinéraires techniques et sur les résultats d'expérimentations (Compagnone, 2004).

Mon objet d'étude principal a été l'itinéraire technique viti-vinicole, partie intégrante du système de production viticole, sa place dans l'élaboration de produits de qualité, ses adaptations techniques et organisationnelles à l'écologisation de la viticulture et à ses impacts potentiels sur la dégradation des composantes de l'environnement et sur la qualité des produits qu'il génère.

J'ai étudié cet objet dans un objectif de production de connaissances académiques en agronomie systémique d'une part et utilisables par les acteurs de la filière viticole (étudiants, viticulteurs, conseillers viticole, partenaires ingénieurs des institut techniques, etc) d'autre part.

Mon travail s'inscrit dans un double contexte d'écologisation de la viticulture et de maintien voire d'amélioration de la qualité des produits d'appellation d'origine issus des itinéraires techniques viti-vinicole en prenant en compte au cours de mes projets de recherche, les interactions de cet itinéraire technique avec les autres composantes qui constituent le système viticole.

Dès lors, mon ambition de 2000 à aujourd'hui a été :

- D'analyser et caractériser les itinéraires techniques viti-vinicoles, leur place dans les concepts de terroir viticole, de typicité des vins, et dans le modèle conceptuel du fonctionnement de la vigne en contexte d'appellation d'origine ;
- D'évaluer la durabilité des itinéraires techniques viticoles en contexte conjoint d'appellation d'origine et de transition agroécologique de la viticulture ;
- De transmettre les résultats des performances de systèmes de production viticole aux viticulteurs et aux conseillers viticoles pour aller vers des exploitations plus autonomes et plus économes vis-à-vis des intrants exogènes.

Mon premier axe de recherche a été systémique et pluridisciplinaire et centré sur la création de connaissances fines de l'itinéraire technique et de la place de ce dernier dans les modèles conceptuels (ex. terroir viticole, typicité des vins, physiologie de la vigne).

Mon second axe de recherche a été systémique, prospectif et pluridisciplinaire et a porté sur le développement et l'adaptation à la vigne de méthodes d'évaluation multicritère de toutes les dimensions de la durabilité, de la qualité des produits viti-vinicoles, à différentes échelles spatiales et temporelles et en mobilisant les disciplines pertinentes pour traiter ces questions de recherche (par ex. : agronomie, pédologie biochimie, analyses sensorielles, sociologie, économie). Cette démarche est classique en agronomie systémique et a été conceptualisée (Giller *et al.*, 2008).

3.3. L'itinéraire technique viticole : sa caractérisation, sa place en recherche viticole et en viticulture

3.3.1. Caractérisation des itinéraires techniques viticoles existant en France

- **Itinéraires techniques de protection de la vigne**

Dans le cadre de mon co-encadrement de la thèse de Florine Mailly, (commencée en 2012 et non soutenue), j'ai contribué à l'analyse statistique de l'utilisation des pesticides et de la gestion des cultures sur deux saisons (2006 et 2010) pour 11 régions viticoles françaises (environ 10 000 données issues de la statistique agricole AGRESTE). Nous avons montré qu'il existe une diversité d'usage des pesticides dans les itinéraires techniques viticoles (Mailly *et al.*, 2017) (ACL9).

Le calcul des Indices de Fréquence des Traitements (IFT) dans les 11 régions permet d'identifier trois leviers de différenciation de gestion des cultures entre les itinéraires techniques : (i) le type de couverture du sol, (ii) le type de lutte contre les mauvaises herbes et (iii) la période de la première pulvérisation de fongicide (Figure 2).

Pour chaque levier de gestion des adventices, des pathogènes et des ravageurs, nous avons comparé avec F. Mailly les pratiques alternatives ou à faible niveau d'intrants aux pratiques chimiques normales : par exemple, le contrôle mécanique des mauvaises herbes (option alternative) par rapport aux herbicides (option chimique normale). Pour aller plus loin dans la caractérisation des itinéraires techniques d'usage des pesticides en viticulture, nous avons analysé deux variables quantitatives : (i) la dose moyenne de fongicide pulvérisée dans la parcelle et (ii) le nombre de fongicides pulvérisés dans la parcelle chaque année. Nous avons montré que chaque pratique alternative ou à faibles intrants avait un impact sur l'IFT, mais que cet impact différait selon les régions viticoles et selon les leviers de gestion envisagés. En ce qui concerne les fongicides, nos résultats ont montré qu'une pulvérisation tardive du premier fongicide (par rapport à la référence régionale) contribue à réduire jusqu'à 50 % de la partie de l'IFT due aux fongicides, par rapport aux parcelles pulvérisées à la date médiane ou à la date précoce. En ce qui concerne les herbicides, les résultats des pratiques à faible intrant ou de substitution étaient plus homogènes en termes d'impact relatif sur la réduction de l'IFT. Enfin, nous avons montré qu'il y a plus de différences dans l'utilisation et l'impact des pratiques de protection des cultures entre les 14 régions qu'entre les deux années étudiées.

Ces résultats permettent de caractériser les systèmes viticoles existants *a posteriori*, à l'échelle de la France. De tels travaux sont fondamentaux pour ensuite nourrir des travaux de modélisation, de construction de scénarios à cette échelle. En revanche, utiliser les méthodes statistiques ne permet pas de mettre en évidence les pratiques des itinéraires techniques à très bas intrants ou alternatifs, ou innovants, par leur très faible niveau de représentation statistique dans les vignobles.

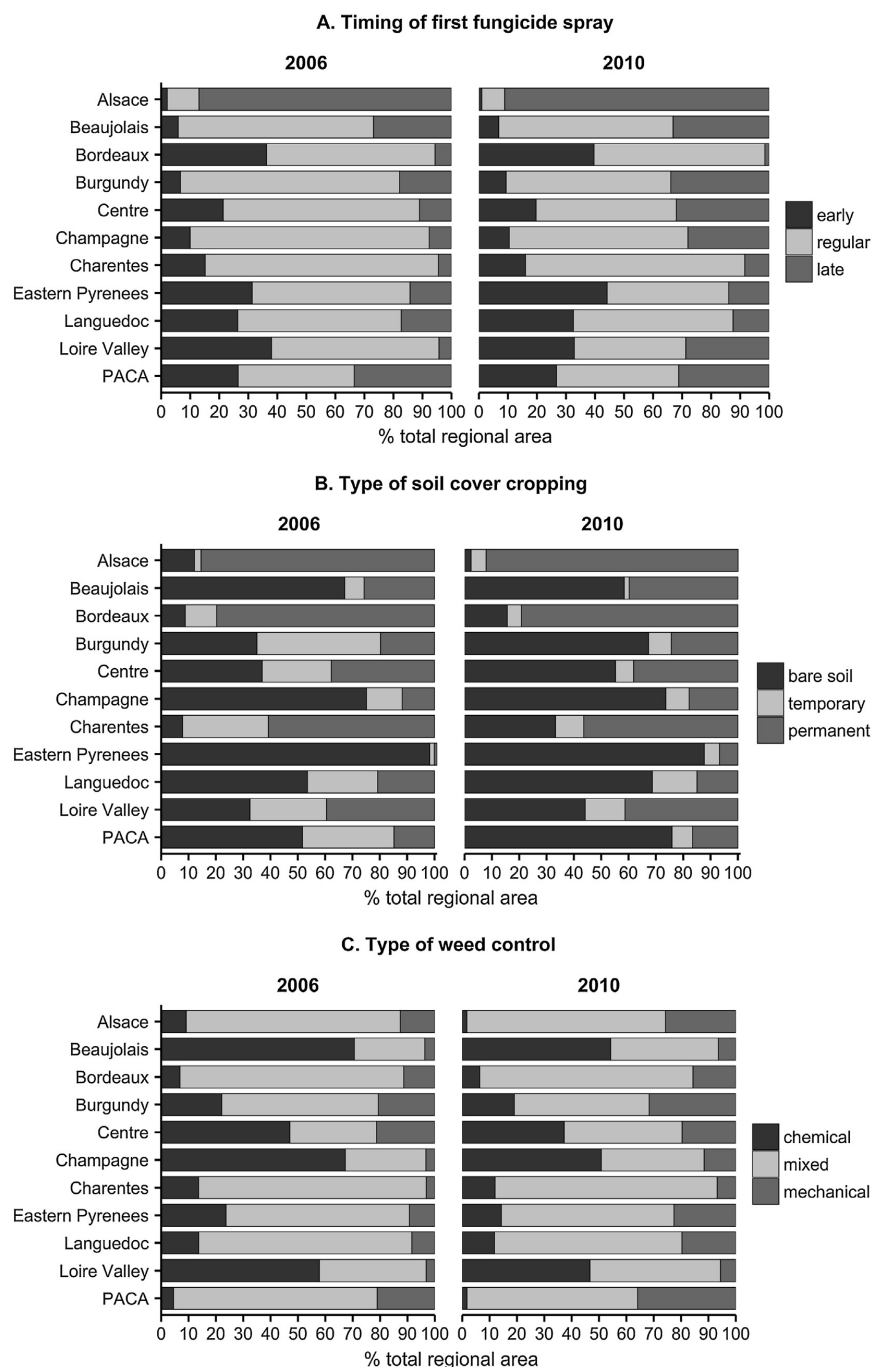


Figure 2. Proportion des pratiques d'application des pesticides dans les 11 bassins de production viticoles en 2006 et en 2010 : (A) la période de la première pulvérisation de fongicide, (B) le type de couverture du sol, et (C) le type de lutte contre les mauvaises herbes. (ACL9). Les données sont exprimées en fraction de la surface totale régionale cultivée en vigne.

- **Itinéraire technique et réseaux sociaux** liés pour le changement de pratiques vers la transition agroécologique

J'ai travaillé à l'échelle du vignoble du Val de Loire, dans le cadre d'une collaboration interdisciplinaire qui a croisé l'agronomie système et la sociologie des réseaux. J'ai démontré le lien entre l'itinéraire technique et l'appartenance aux réseaux sociaux professionnels dans le cadre de la transition agroécologique.

illustratives (cercles : viticulteurs COP ; triangles : viticulteurs DIN ; carrés : viticulteurs NEG ; losanges : viticulteurs VAL). Les pratiques sont représentées avec leur nom en noir (par exemple, le mélange des raisins, le travail du sol sous le rang de vigne), et les pratiques de vendange sont en gris, italique soulignées. (ACL2).

3.3.2. Co-conception de systèmes viticoles agroécologiques

La caractérisation des itinéraires viticoles de protection phytosanitaire issu de la thèse de F. Mailly a été un point de départ pour ensuite envisager de proposer des solutions techniques pour réduire l'usage des produits phytosanitaires. J'ai choisi la voie de la co-conception d'itinéraires techniques innovant.

J'ai utilisé une méthode de co-conception de systèmes viticoles innovants avec des viticulteurs et des acteurs du développement. L'objectif de l'usage de cette méthode était de produire des itinéraires techniques en rupture avec les pratiques habituelles du viticulteur dans son exploitation (Grignion & Thiollet-Scholtus, 2015; Thiollet-Scholtus *et al.*, 2009) (VUL6, COM62). La première originalité ne réside pas dans la méthode de co-conception, utilisée précédemment en Val de Loire, mais bien d'aboutir à des itinéraires techniques qui utilisaient beaucoup moins d'intrants et en particulier d'intrants phytosanitaires. La seconde originalité est que ces itinéraires techniques prennent en compte un fort cadre de contrainte incluant la certification des cahiers des charges AB, biodynamie, AOC, le maintien du coût de l'itinéraire technique et enfin le maintien de l'objectif de rendement de la parcelle. Ces itinéraires techniques sont ambitieux quant aux innovations introduites : par exemple la division de la dose de cuivre métal par 12 (Figure 4) ou l'enherbement total de la parcelle (tous les inter-rangs et le cavaillon).

J'ai co-construit avec des viticulteurs et des agents du développement, des systèmes de production très économes en pesticides (

Tableau 1) en utilisant trois sortes de leviers : (i) des leviers techniques (ex. : utilisation d’huiles essentielles pour compenser la réduction de la dose de cuivre, 100 % de couverture du sol appliqué sur le cavaillon et sur tous les inter-rangs) ; ii) des leviers organisationnels (ex. : nouvelles règles de décision en matière de pulvérisation, d’organisation du travail des salariés, d’usage d’outils d’aide à la décision) ; et iii) le levier de la reconception de l’ensemble du système (ex. : plantation de cépages résistants conjointement au mildiou (*Plasmopora viticola*) et à l’oïdium (*Erysiphe necator*)) (Thiollet-Scholtus *et al.*, 2021) (ACL1).

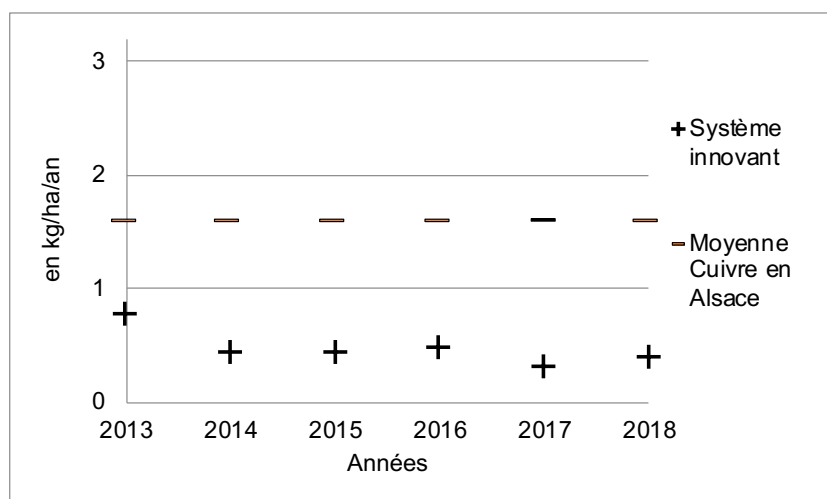


Figure 4. Doses de cuivre utilisé dans le système innovant pendant les 6 années d’étude (2013-2018, projet PEPSVI, site de Châtenois).

Tableau 1. Classement des systèmes innovants à très bas intrants (NLIVS) en fonction de l'intensité de réduction d'usage des pesticides dans leurs itinéraires techniques. Nature des changements: Tek : technique, Org : organisationnel, Re : reconception. Pour les détails des changements: concernant les herbicides, il y a un gradient de diminution d'utilisation dans la parcelle allant d'une utilisation sur toute la surface de la parcelle (xxx), puis une utilisation seulement sur la moitié des inter-rangs (xx), puis une utilisation sur tous les inter-rangs (x) et enfin aucune utilisation sur la parcelle (). Le gradient de notation est inversé pour le labour "plowing" et pour la couverture du sol "crop soil cover". Concernant l'usage du cuivre « Copper », il y a une diminution de son utilisation dans la parcelle en commençant par la dose de référence (xxx), issue de la base de données E-phy, puis en divisant la dose par au moins 2 (xx), pour en divisant la dose par au moins 5 (x), et enfin en supprimant totalement l'usage du cuivre (). Le gradient est le même pour l'usage du soufre « Sulfur » et pour les fongicides de synthèse « Chemical ». (ACL1).

		Gradient of new low input vine systems (NLIVS)										
Nature of changes		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K
Details of changes		Tek	Tek	Tek	Tek	Tek	Org	Org	Org	Org	Re	Re
Soil management	Herbicides	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	x	-	-	-	-	-
	Plowing	x	x	x	x	x	xx	xx	x	x	x	x
	Crop soil cover	x	x	x	x	x	xx	xx	xxx	xxx	x	x
Fungicides	Copper	xxx	xxx	xx	xx	xx	x	xx	x	x	x	-
	Sulfur	xx	xxx	xx	xx	xx	xx	xx	x	x	x	-
	Chemical	xxx	xxx	xxx	xxx	xx	x	-	-	-	-	-
Variety	Resistant variety	-	-	-	-	-	-	-	-	-	yes	yes

3.3.3. Élaboration et application d'une méthode de repérage et de caractérisation des systèmes innovants, par la 'traque'

Parallèlement à cela, j'ai utilisé une autre approche pour faire évoluer les pratiques viticoles vers la transition agroécologique qui était de chercher les innovations pratiquées par des viticulteurs isolés, de les caractériser et de les évaluer pour ensuite contribuer à leur transfert à d'autres viticulteurs et à d'autres contextes pédo-climatiques. La viticulture biologique n'autorise pas l'usage de pesticides de synthèses, mais elle implique néanmoins l'usage fréquent d'intrants et en particulier du cuivre comme fongicide pour lutter contre le mildiou, ce qui pose un certain nombre de problèmes environnementaux (ex : l'accumulation de cuivre dans les sols, la toxicité du cuivre pour les microorganismes du sol).

Dans le cadre du projet Vitinobio, avec J-M Meynard et J-M Barbier, j'ai construit une méthode de traque aux innovations en viticulture biologique que nous avons appliquée à 3 bassins de production viticoles français à l'aide d'une collaboration avec les agents du développement de ces vignobles et les instituts techniques IFV et ITAB. J'ai travaillé avec un large consortium de partenaires du développement : l'IFV, les chambres d'agriculture, les GRAB et l'ITAB (Petit *et al.*, 2019) (ACLF3).

Dans mon travail, la méthode de traque avait pour objectif de détecter les pratiques atypiques mises en place par des viticulteurs sur trois bassins de production : Aquitaine, Bourgogne et Provence. Par la détection d'un grand nombre de pratiques innovantes permettant de réduire l'usage des intrants en viticulture biologique, ce travail de recherche a permis de confirmer le dynamisme des vigneron pour l'amélioration de leurs systèmes, la création de connaissances empiriques, et la volonté de continuer à faire progresser la réduction d'impact environnemental au-delà du cahier des charges AB (résultats non publiés).

J'ai ensuite poursuivi ce travail d'utilisation de la méthode ainsi construite : comme seule agronome dans un projet européen Interreg Vitifutur, en me nourrissant les résultats faits en parallèle en grandes cultures par C. Salembier sur la traque aux systèmes innovants en Argentine (Salembier *et al.*, 2016). J'ai appliqué cette méthode à deux bassins de production viticole pour (i) affiner la caractérisation des innovations (Striffler *et al.*, 2018; Thiollet-Scholtus *et al.*, 2019) (COM6, COM3), (ii) définir un degré de généricité des innovations, (iii) trouver d'autres innovations existantes et (iv) identifier des leviers et des verrous propres à l'organisation des filières et des bassins de production. A l'aide du projet Vitifutur, j'ai complété la liste des innovations techniques et organisationnelles qui permettent de limiter l'usage des intrants exogènes en viticulture (Tableau 2). J'ai constaté que les innovations utilisées par les viticulteurs sont majoritairement appliquées à toutes les parcelles de leur exploitation. J'ai repéré les leviers et les verrous qui permettraient ou pas d'introduire ces innovations dans d'autres exploitations et dans d'autres contextes que ceux dans lesquelles ces innovations ont été traquées et repérées.

Ces innovations n'ont pas fait l'objet d'une évaluation de leurs performances et de leur durabilité. C'est un travail à venir que je proposerai dans mon projet de recherche.

Tableau 2. Liste des innovations identifiées dans le projet Vitifitur et classées selon leur nature et le type de réduction d'intrant qu'elles induisent. (COM3).

Pratique	Innovation	Réduction d'usage d'herbicides	Réduction d'usage de fongicides	Réduction d'usage d'engrais	Réduction d'usage de fuel	Type d'innovation	Échelle
Variété plantée	PIWI		X		X	Technique	Parcelle
Travail du sol sous le cavaillon	Etoiles Kress en cahoutchouc	X			X	Technique	Parcelle
	Etoiles Rollhacke de binage	X			X	Technique	Parcelle
Travail du sol dans les inter rangs		X			X	Technique	Parcelle
Semis dans les inter-rangs	Semis direct	X		X		Technique	Parcelle
	Couverture herbeuse totale	X		X		Technique	Parcelle
Fertilisation	Epandage collectif d'engrais organique				X	Organisationnelle	Exploitation
Pulvérisation de pesticides		–	–	–	–		
Tillage		–	–	–	–		
Triming	Roulage de l'herbe				X	Technique	Parcelle
Vendange		–	–	–	–		

3.3.4. La démonstration de la place l'itinéraire technique viticole dans les concepts interdisciplinaires de terroir et de typicalité

• Itinéraire technique et profils sensoriels liés dans le concept du terroir

J'ai travaillé en interdisciplinarité pour approfondir la place, le poids et l'hypothétique lien de l'itinéraire technique viti-vinicole avec les caractéristiques sensorielles des vins, avec un collègue biochimiste et œnologue de mon unité l'UEVV, Y. Cadot. Dans le cadre de ce travail interdisciplinaire en sciences biotechniques, j'ai démontré l'existence d'un lien de l'itinéraire technique les descripteurs sensoriels des vins AOC qui en sont issus.

Mon premier résultat est la caractérisation de parcelles et de vins qui en sont issus. Ces parcelles sont sur un même territoire et revendiquant deux AOC (Appellation d'Origine Contrôlée Anjou Rouge et Anjou-Villages Brissac) différentes du Val de Loire, de deux méthodes différentes : à l'aide d'une enquête pour les pratiques de l'itinéraire technique agronomique et œnologique combinée à des dégustations sensorielles. Nous en avons produit une base de données des itinéraires techniques, réutilisée pour la thèse de C. Coulon-Leroy (paragraphe 3.3.5.).

Les résultats statistiques du croisement de ces deux bases de données montre qu'il existe un lien entre 7 (sur 28) pratiques de l'itinéraire technique des parcelles et 10 (sur 20) attributs sensoriels de vins qui distinguent les 33 vins résultant des itinéraires techniques viticoles. Ainsi 25% des pratiques viticoles et œnologiques analysées et environ 50% des attributs sensoriels analysés permettent de différencier les vins AOC produits sur une même territoire (Figure 5). Les pratiques sont les suivantes : le pourcentage de Cabernet franc, la date de l'effeuillage, la

date de récolte, le rendement, la durée de la fermentation, la durée du vieillissement et l'utilisation du chêne pour l'élevage du vin. Les descripteurs sensoriels sont les suivants : l'intensité de la couleur, la viscosité, le trouble, l'arôme de cassis, l'arôme de pruneau, l'arôme épicé, l'arôme de moisi, l'arôme animal, l'amertume et l'astringence.

J'ai démontré à l'aide d'analyses statistiques multivariées qu'il existe des relations 2 à 2 entre certaines pratiques viti-vinicoles et certains descripteurs sensoriels (Figure 5). Mes résultats montrent que les pratiques de l'itinéraire technique et les attributs sensoriels peuvent ensemble permettre de distinguer les vins de 2 AOC simultanément autorisées dans une même zone géographique (Thiollet-Scholtus *et al.*, 2014) (ACL11). C'est le début de mon travail pour démontrer que l'itinéraire technique viti-vinicole a sa place avec les composantes du milieu (sol, sous-sol, climat) dans le concept du terroir viticole alors que précédemment le concept de 'terroir' ne le prenait en compte que très succinctement avec seulement quelques unes des pratiques comme le cépage ou la date de vendange par exemple (Bodin & Morlat, 2006; Morlat & Bodin, 2006).

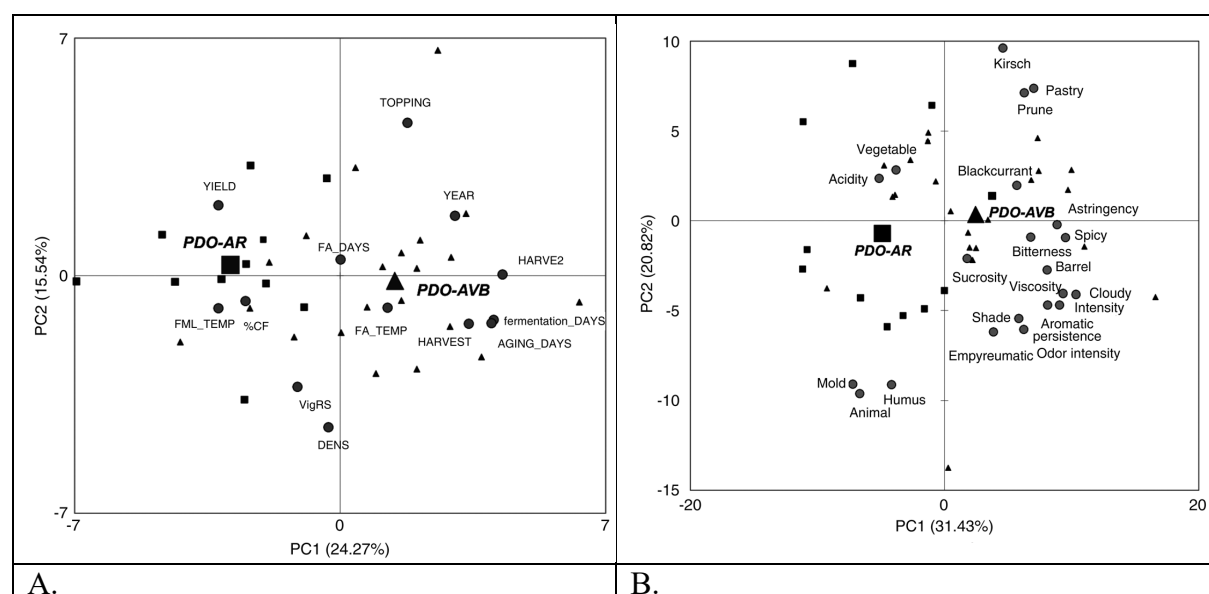


Figure 5. Analyse en composantes principales des pratiques à l'origine des vins en AOC (A) et des descripteurs sensoriels des mêmes vins (B). Les barycentres et les vins sont projetés sur la figure comme variables illustratives (carrés : vins et barycentre de l'AOC Anjou Rouge et triangles : vins et barycentre de l'AOC Anjou Villages-Brissac). (ACL11).

• Itinéraire technique et profils sensoriels liés dans le concept de typicité

Pour continuer d'approfondir ce travail interdisciplinaire biotechnique, j'ai posé l'hypothèse que les viticulteurs se font une image conceptuelle du vin qu'ils produisent et que cette image a des conséquences sur les pratiques viti-vinicoles qu'ils mettent en œuvre pour élaborer leurs vins. Ma seconde hypothèse a été qu'il existe un lien entre le type de vin produit et les caractéristiques du terroir où est produit ce vin ainsi que les descripteurs sensoriels décrivant ces vins produits.

Pour ce faire, j'ai réalisé une enquête à questions ouvertes qui a permis à Y. Cadot de caractériser la typicalité imaginée des vins de terroir (Figure 6). Pour les viticulteurs, l'image conceptuelle d'un vin, résultant du terroir, était principalement liée aux facteurs environnementaux (sol, sous-sol, climat).

Avec la seconde partie de l'enquête, j'ai caractérisé les différentes dimensions du terroir des vins étudiés (ex. : le sol, le sous-sol, le climat et les pratiques de l'itinéraire technique) à l'aide d'enquêtes des itinéraires techniques dans l'AOC Anjou-Villages Brissac. Cela m'a permis d'analyser statistiquement ensemble les deux bases de données « itinéraires techniques » et description sensorielle des vins ». Cette analyse m'a permis de démontrer qu'il existait des relations entre les descripteurs sensoriels de typicité des vins et les dimensions du terroir viticole (Tableau 3).

Après avoir démontré l'existence de ces relations, nous avons établi une hiérarchie des descripteurs sensoriels et des pratiques de l'itinéraire technique en fonction de l'acceptabilité de la typicité, ceci grâce à de méthodes d'analyses statistiques (ex. : méthode des pénalités et régressions PLS).

Mes résultats ont démontré la mise en relation des pratiques de l'itinéraire technique viticoles (proportion du cépage Cabernet franc, date de vendange) dans la parcelle, les pratiques œnologiques en cave (alcool potentiel, température moyenne des fermentations alcooliques, durée de cuvaison, durée d'élevage) avec les descripteurs sensoriels des vins. J'ai aussi démontré un lien entre des variables décrivant les caractéristiques du sol des parcelles et des variables de descripteurs sensoriels décrivant les profils sensoriels des vins qui en sont issus. Nos travaux ont été conduit à l'échelle d'une AOC entière en s'appuyant sur une collaboration avec le syndicat de l'AOC Anjou-Villages Brissac en Val de Loire où il est aussi possible de revendiquer des vin d'AOC Anjou rouge à partir des mêmes cépages et parcelles (Cadot *et al.*, 2012) (ACL15). La généricité de ce concept n'a pas encore été démontré dans d'autres vignobles.

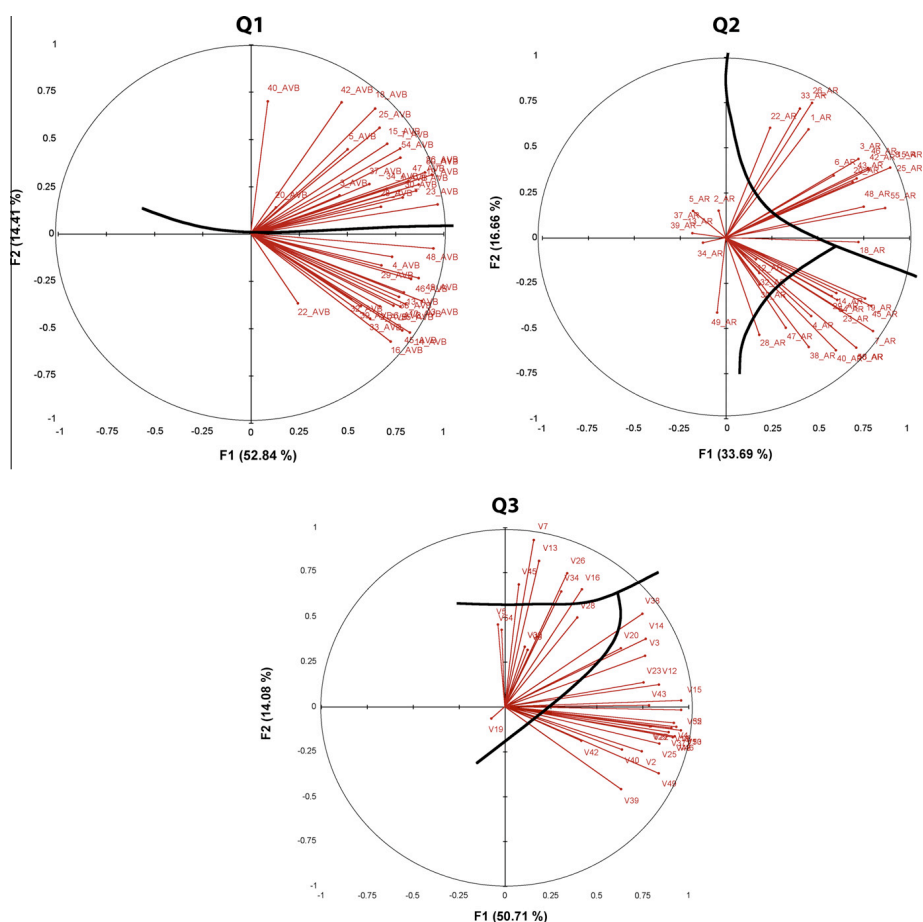


Figure 6. Représentation des réponses des viticulteurs par l'Analyse en Composantes Principales (ACP) et la Classification Ascendante Hiérarchique (CAH). (Q1 – question1) A votre avis, quelles sont les caractéristiques des vins AVB en dégustation ? (Q2 – question 2) Comment différenciez-vous un vin AR d'un vin AVB en dégustation ? (Q3 – question 3) A votre avis, quels sont les facteurs de production importants dans la caractérisation des vins AVB, en relation avec la dégustation ? Les lignes noires délimitent les sous-groupes de viticulteurs, à partir de la CAH (des ANOVA à partir des données de la CAH ont été effectuées pour mettre en évidence les attributs sensoriels significatifs). AVB: Anjou-Villages Brissac; AR: Anjou rouge. (ACL15).

Tableau 3. Pratiques viti-oenologiques moyennes des vins Anjou-Villages Brissac (AVB) et vins Anjou rouge (AR). On a vérifié que les parcelles ne sont pas significativement différentes quant à la roche mère du sol ($p=0,817$). (ACL15).

<i>Pratiques viti-oenologiques</i>	<i>AOC AVB</i>		<i>AOC AR</i>		<i>Chi2/ANOVA</i>
	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>Moyenne</i>	<i>Ecart-type</i>	<i>Pr>F</i>
Cabernet franc (%)	61,66	39,98	95	14,14	0,032
Date de vendage	10-oct	6,4	10-sept	5	0,024
Rendement (hl.Ha-1)	44,7	4,3	46,9	5	0,291
Alcool potentiel (% par volume)	14,03	0,67	13,78	0,47	0,371
Température moyenne des fermentations alcooliques (degré Celcius)	23,4	3	21,6	1,9	0,136
Durée de cuvaison (jours)	20,5	12,7	8,5	11,5	0,015
Durée d'élevage des vins (en mois après la fin des fermentations malo-lactiques)	12	3,1	5,1	2,2	<0,0001
Elevage dans des barriques de chêne (nombre de vins)	2	—	0	—	N/A

3.3.5. La contribution de l'itinéraire technique viticole aux avancées en modélisation

La modélisation des concepts en agronomie présente un intérêt pour intégrer les connaissances, mettre en lumière les trous de connaissances dans la discipline, pour les processus d'apprentissages qu'elle induit et voir pour construire ensuite des outils d'aide à la décision, plus opérationnels et utilisable par les agents de développement des filières agricoles concernées. Même si van Ittersum & Donatelli (2003) mentionnent que les agronomes sont revenus de la modélisation et sont allés vers des outils à la décisions et des outils d'apprentissages pour un usage plus modeste. Le modèle conceptuel, développé par ma doctorante, C. Coulon-Leroy entre 2009 et 2012, a permis d'aboutir à un premier niveau d'intégration qualitative des connaissances à partir d'éléments d'écophysiologie de la vigne et des pratiques de l'itinéraire technique de la vigne pour en modéliser la vigueur et la précocité. La vigueur et la précocité sont deux paramètres clés du fonctionnement de la plante en fonction de l'itinéraire technique et directement liés à la qualité des vins issus de l'itinéraire technique, ce dernier aspect étant au cœur des préoccupations des viticulteurs.

- **Construction d'un modèle du fonctionnement de la plante qui intègre les pratiques viticoles** de l'itinéraire technique au même titre que les conditions de milieu pédo-climatiques

Nous avons construit un modèle conceptuel à partir d'un état de l'art des connaissances actuelles concernant les relations entre les facteurs environnementaux, le matériel végétal, les pratiques agricoles, la croissance de la vigne et les caractéristiques du raisin et du vin. Cet état des connaissances nous a permis d'avoir toutes les informations pour construire un modèle conceptuel du fonctionnement de la vigueur et de la précocité de la vigne, paramètres physiologiques centraux dans les déterminismes du rendement de la qualité des produits. Ce modèle peut être représenté comme le nouveau concept de "voie de fonctionnement de la vigne", que nous définissons comme la combinaison logique et ordonnée des effets des facteurs pédo-climatiques, du matériel végétal et des pratiques viticoles sur les niveaux de vigueur et

de précocité de la plante et les caractéristiques finales du produit qui en est issu (i.e. le raisin ou le vin). Une formalisation générale des multiples variables à l'échelle de la parcelle viticole est nécessaire pour mieux caractériser la croissance de la vigne et son impact sur les caractéristiques annuelles du raisin et du vin. Notre modèle est construit à l'échelle spatiale de la parcelle viticole et à l'échelle temporelle de l'année culturale. Notre modèle présente l'avantage de prendre en compte toute la complexité du fonctionnement du système viticole et permet d'ouvrir la voie à une modélisation quantitative. Notre modèle conceptuel peut être utilisé comme un outil d'aide à la décision ou l'apprentissage (van Ittersum & Donatelli, 2003). Notre modèle a permis d'optimiser les pratiques culturales selon par exemple les variations des facteurs environnementaux comme le climat (Coulon-Leroy *et al.*, 2012b) (ACL14), pour viser des rendements et des qualité de raisin potentiels (Figure 7). Notre modèle a permis de faire des typologies de vins issus de Cabernet franc pour ensuite leur adapter un itinéraire technique permettant d'aboutir au profil sensoriel souhaité pour le vin (Figure 8). Par exemple l'itinéraire technique viti-vinicole ne sera pas le même pour produire un vin « végétal et léger » d'un vin « fruité et corsé » (Coulon-Leroy *et al.*, 2013b) (ACLF5).

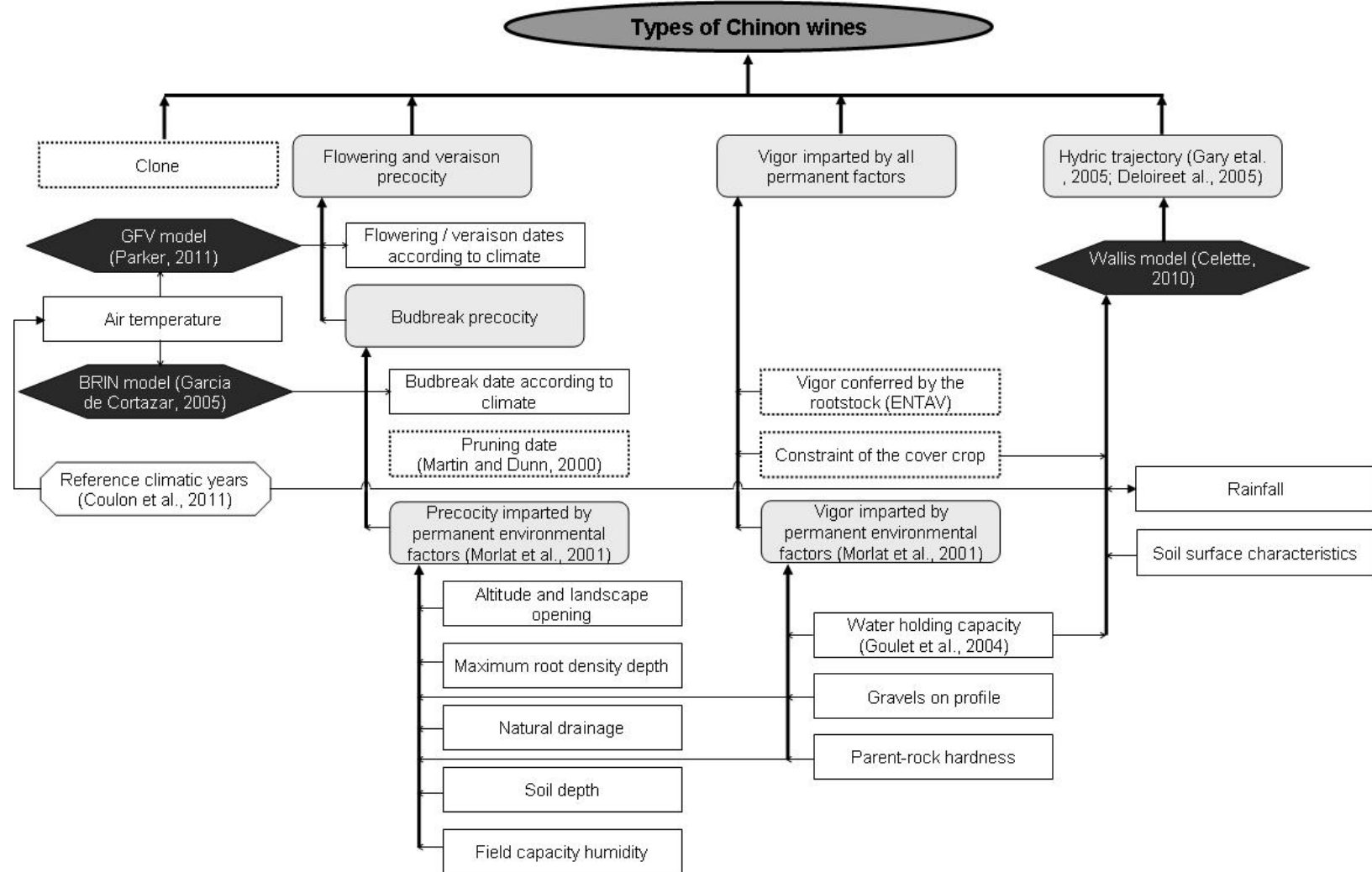


Figure 7. Modèle conceptuel de fonctionnement de la vigne. Application à un vignoble de la moyenne vallée de la Loire : Vins AOC de Chinon. AOC : appellation d'origine contrôlée. (ACL14).

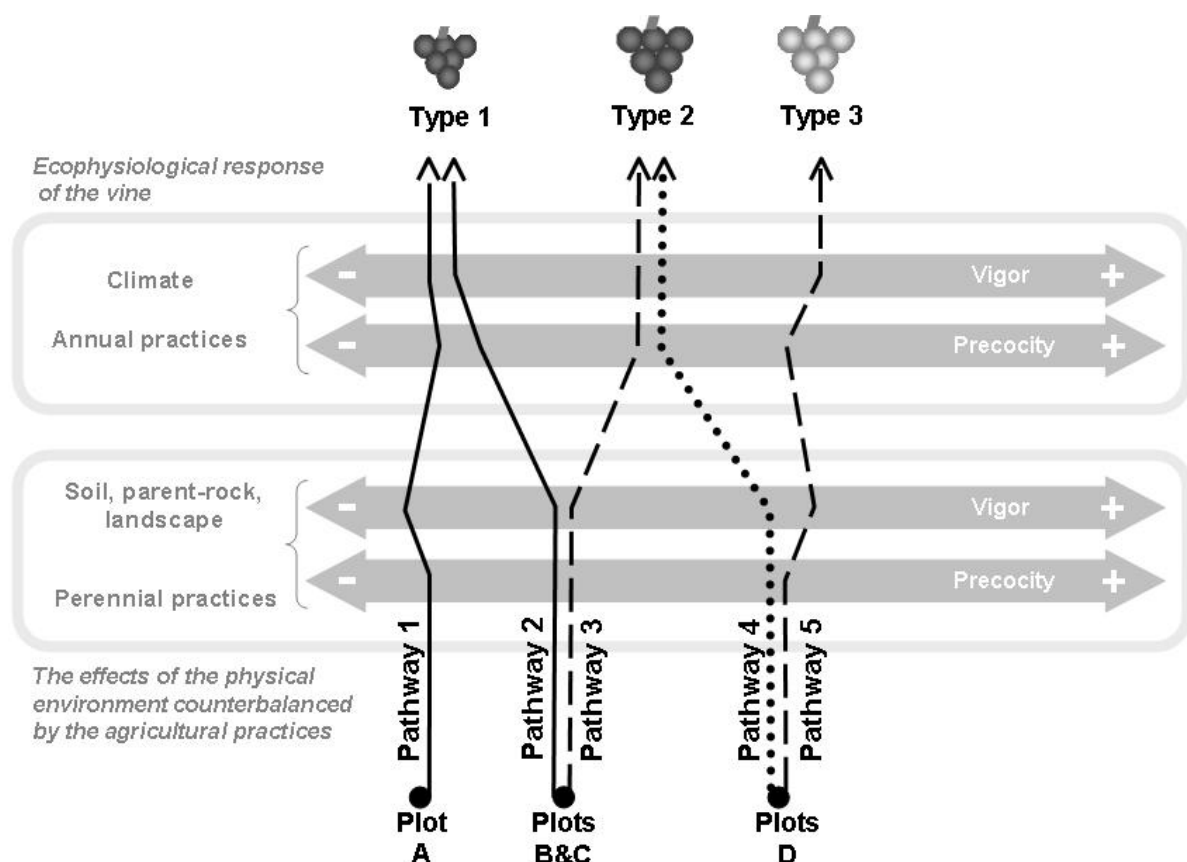


Figure 8. Illustration du modèle basé sur le concept de cheminement du fonctionnement de la vigne. Parcelle A : sol peu profond sur roche dure, conférant une faible vigueur avec une vigueur moyenne du porte-greffe. Parcelle B : sol peu profond sur roche dure donnant une faible vigueur avec une forte vigueur du porte-greffe. Parcelle C : sol profond sur des alluvions de rivière donnant une forte vigueur avec un porte-greffe de faible vigueur. Parcelle D : sol profond sur alluvions fluviales donnant une forte vigueur avec un porte-greffe de vigueur modérée. Raisins et vin de type 1 : vin astringent, déséquilibré et alcoolisé. Raisins et vin Type 2 : vin fruité, de concentration moyenne, équilibré. Raisins et vin Type 3 : végétal, faible concentration, vin à forte acidité. La même parcelle peut produire, selon les conditions climatiques de l'année, différents types de raisins et de vins (par exemple, parcelle B & C - Type 1 & Type 2). Le même type de raisin peut être obtenu par différentes voies écophysiologiques (par exemple, Type 1). (ACL14).

- **Application du modèle conceptuel à la prédiction de la vigueur et de la précocité de la vigne**

Dans le cadre de sa thèse, j'ai encadré C. Coulon-Leroy dans la construction et l'application d'un modèle de prédiction du développement de la vigne pour permettre l'adaptation et/ou l'optimisation des pratiques viticoles en contexte changeant (Figure 9).

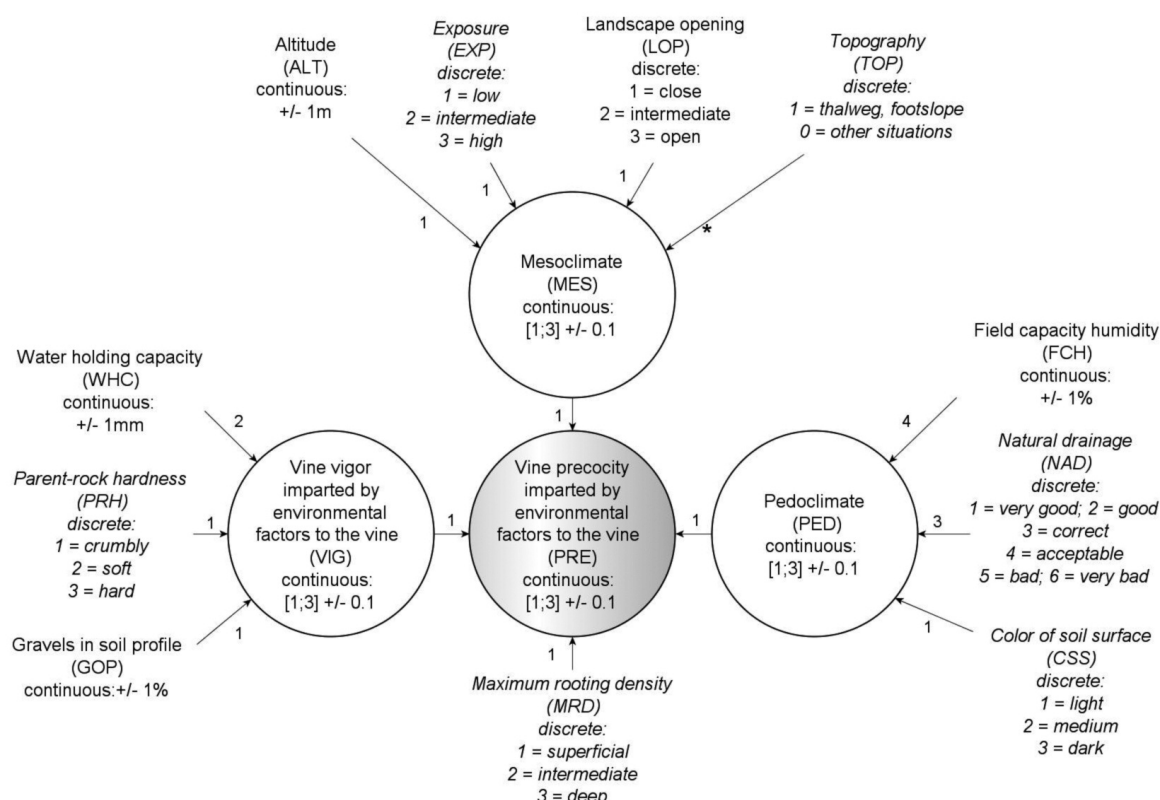


Figure 9. Architecture du système avec les variables d'entrée pour estimer les quatre variables de sortie : vigueur de la vigne, mésoclimat thermique, pédoclimat thermique et précocité de la vigne. Les caractéristiques continues ou discrètes des variables d'entrée sont indiquées. Les variables d'entrée sont pondérées (chiffres à côté des flèches) puis agrégées au moyen de systèmes d'inférence flous. *si la topographie est égale à 1 alors la SEM est égale à 1 quelles que soient les valeurs des autres variables d'entrée, si la topographie est égale à 0 alors la SEM dépend des valeurs des autres variables d'entrée (ACL14).

Le modèle construit est basé sur une nouvelle approche consistant en un modèle informatique composé de plusieurs systèmes experts flous. Une des originalités de notre modèle est qu'il permet d'estimer de façon continue (Figure 10), les deux variables physiologiques qui synthétisent le mieux le développement de la vigne : la vigueur et la précocité. Cette première originalité permet d'éviter le découpage en classes des variables d'entrée continues, ce qui provoque des effets de seuils (Bockstaller *et al.*, 2017). La seconde originalité est l'obtention de paramètres du modèle qui combinent efficacement les connaissances issues de l'expertise d'agronomes viticoles, pédologues (comme R. Morlat, C. Asselin, et R. Chaussod) et l'analyse de données d'enquêtes d'itinéraires techniques et de mesures d'expérimentations analytiques de terrain. Nous avons utilisé des méthodes d'inférence floue pour agréger les connaissances entre elles issues de la littérature et de données expérimentales recueillies dans le vignoble du Val de Loire qui était rassemblées en une base de données (voir paragraphe 3.3.4.). Deux tiers de cette base de données ont servi à la conception du modèle. Les variables d'entrée sont des variables décrivant la gestion de l'entretien du sol des rangs et des inter-rangs, la nature des porte-greffes. Le détail des conclusions des règles de décisions obtenues est présenté Tableau 4. La troisième originalité de notre modèle est qu'il est générique car le raisonnement lié aux relations entre les variables n'est pas spécifique à une région. Notre modèle permet une estimation de la vigueur et de la précocité de la vigne transmises par le sol, la roche mère et les pratiques viticoles pérennes et annuelles.

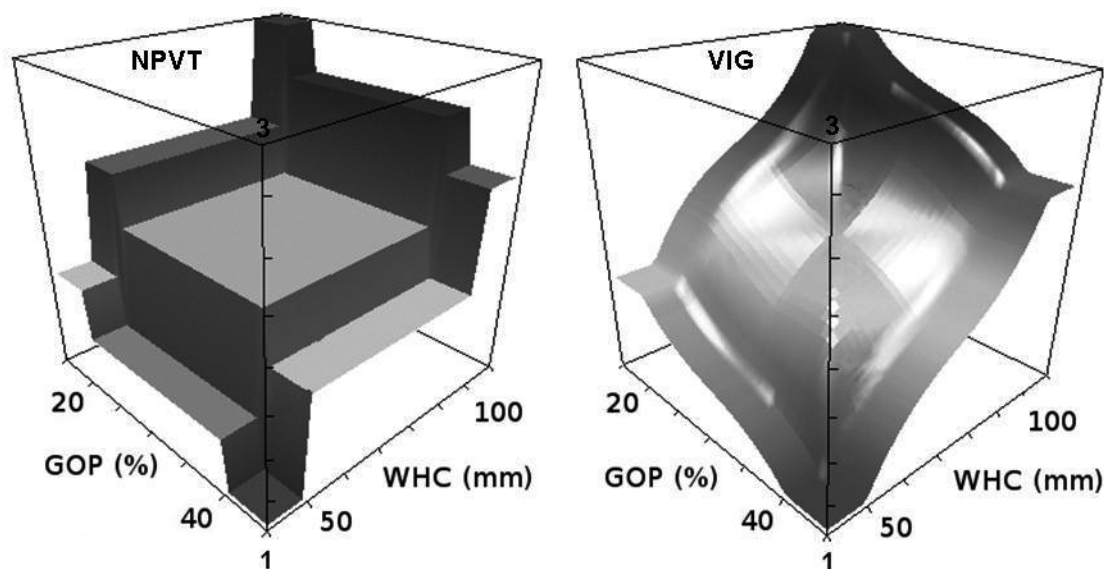


Figure 10. Comparaison de l'estimation de la vigueur de la vigne entre l'ancienne méthode MORLAT2001 (à gauche : NPVT) et la nouvelle méthode CFS (à droite : VIG). Les valeurs NPVT et VIG sont calculées en fonction de la capacité de rétention d'eau (WHC en mm), du pourcentage de gravier dans le sol (GOP en %) pour une dureté intermédiaire de la roche mère. (ACL14).

Les tests de validation avec le troisième tiers de la base de données, obtenue en 3.3.4 permettent de montrer des résultats satisfaisants pour la vigueur. Cependant, la prévision des trois autres variables (précocité, mésoclimat et pédoclimat) n'est pas aussi satisfaisante que celle de la vigueur (Figure 11). Il est assez facile de personnaliser le modèle et de le transférer vers de nouvelles zones viticoles en ajustant des paramètres utilisant les connaissances et les données locales. Ces résultats donnent une réponse au problème de l'évaluation de la vigueur et de la précocité en fonction de facteurs environnementaux, qui est une condition préalable à l'adaptation des pratiques culturelles à long terme (Coulon-Leroy *et al.*, 2012a) (ACL14).

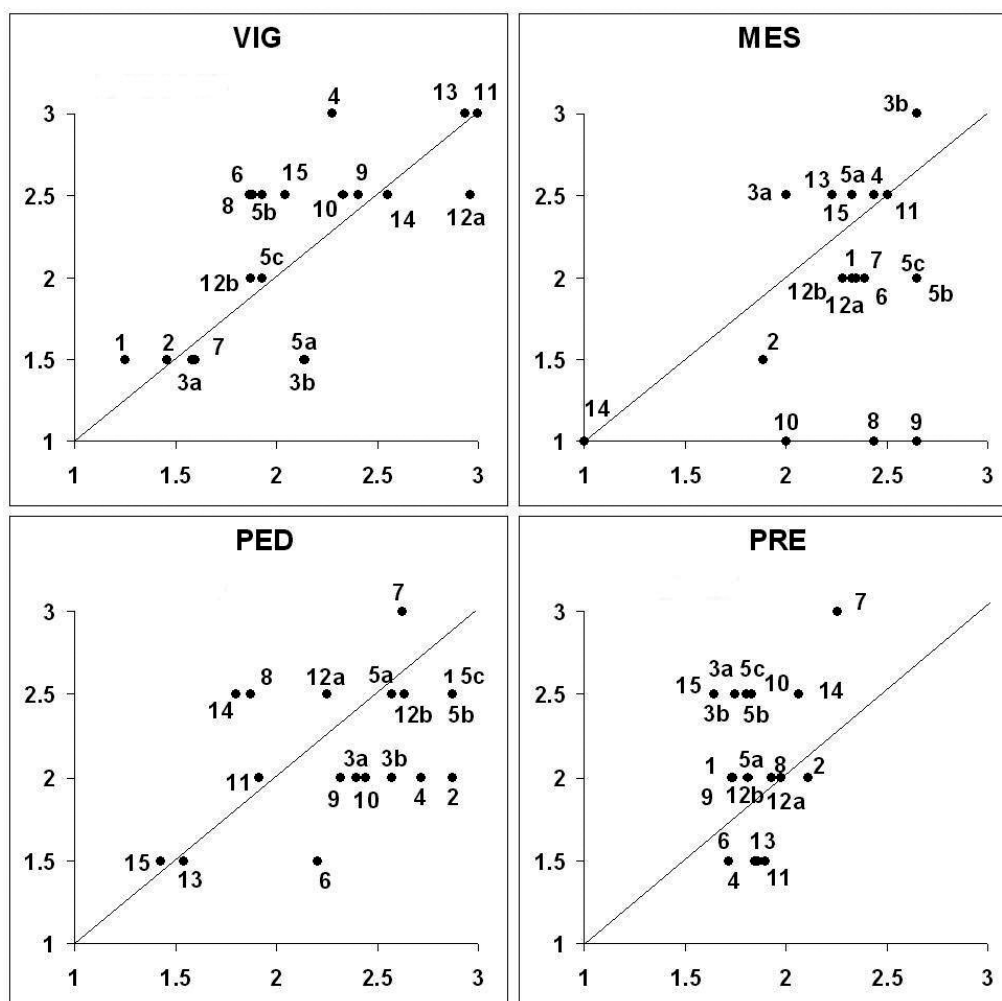


Figure 11. Comparaison des valeurs prédites par le modèle et des valeurs observées par les viticulteurs pour le niveau de vigueur (FIG), le mésoclimat (MES), le pédoclimat (PED) et le niveau de précocité (PRE) pour 19 parcelles étudiées et qui correspondent à 15 Unités de Terroir de Base. (ACL14). Valeurs observées en abscisse et valeurs prédites en ordonnées sur les graphiques.

Nous avons ensuite, analysé le modèle et son fonctionnement (Coulon-Leroy *et al.*, 2013a) (ACL12). Nous avons démontré que malgré l'imperfection des données disponibles pour renseigner les variables d'entrée du modèle, notre modèle a permis de sélectionner celles des données qui rendent notre modèle le plus informatif possible. Notre modèle a aussi permis de vérifier des relations déjà connues entre certaines variables. Notre modèle contribue à la conception d'un outil d'aide à la décision visant à adapter les pratiques viticoles aux changement environnementaux de la parcelle viticole pour atteindre les objectifs de vigueur visés par le viticulteur.

Tableau 4. Évaluation de la vigueur (VIG) : conclusions des règles de décisions des combinaisons des variables d'entrée VIG_S (vigueur conférée par le sol), VIG_R (vigueur conférée par le porte-greffe) et VIG_C (vigueur conférée par le climat). (ACL12).

Rules	Inputs			Values of rule conclusions		Number of vine plots that activate each rule	
	VIG_S	VIG_R	VIG_C	Initial FIS	Optimized FIS	Initial FIS	Optimized FIS
1	Medium	Low	High	2.6	2.1	26	28
2	Low	Medium	Medium	3.7	4.0	20	14
3	Low	Low	High	1.3	1.2	20	38
4	Low	Low	Medium	1.2	1.3	20	26
5	Medium	Low	Medium	2.5	2.4	26	19
6	Low	Medium	High	3.5	3.8	15	15
7	High	Low	High	4.0	4.0	13	19
8	Medium	Medium	Medium	2.7	1.4	23	10
9	Medium	Medium	High	2.7	1.1	17	10
10	Low	Medium	Low	2.5	2.2	8	7
11	High	Medium	Medium	3.0	2.9	10	7
12	Medium	Medium	Low	3.3	3.2	10	6
13	High	Medium	High	3.0	2.9	9	9
14	High	Low	Medium	4.0	4.0	15	13
15	Low	Low	Low	3.2	3.8	3	10
16	Low	High	Medium	4.0	3.9	2	2
17	High	Low	Low	4.0	3.9	3	3
18	Medium	Low	Low	2.7	2.5	3	8
19	High	Medium	Low	3.5	4.0	3	1

- Construction d'un modèle **de la qualité potentielle des raisins**

Dans la continuité des thèses de C. Coulon-Leroy et de C. Renaud-Gentié, avec mes collègues F. Jourjon et C. Renaud-Gentié, nous avons construit le projet Qualenvic et la thèse qui y a été dossée, soutenue par S. Beauchet en 2016. En effet, suite au modèle conceptuel de C. Coulon-Leroy qui permettait de nourrir la caractérisation et l'évaluation de la qualité des parcelles viticoles via leur itinéraire technique et aux avancées de C. Renaud-Gentié sur l'évaluation environnementale de l'itinéraire technique viticole par ma méthode ACV, nous avons eu l'idée de joindre ces deux problématiques. Notre ambition était de pouvoir proposer à l'interprofession viticole une méthode d'évaluation conjointe de la qualité et de l'impact environnemental des itinéraires techniques viti-vinicoles.

Ces résultats de la thèse de S. Beauchet ont abouti la construction d'un modèle de l'élaboration de la qualité du raisin destiné à l'élaboration de vins AOC. Dans ce modèle nous avons pris en compte différents critères de qualité du raisin comme variables de sortie (teneur en sucre, acidité totale, acide malique, acide tartrique, azote disponible des levures, pH et pourriture de la grappe). Pour les variables d'entrées du modèle (Tableau 5), nous avons cherché à être exhaustifs en intégrant les pratiques viticoles, les données pédologiques et données climatiques. Nous avons travaillé à l'échelle de l'AOC viticole en construisant une base de données renseignant toutes ces informations pour le cépage Chenin blanc dans une AOC du Val de Loire. Nos résultats d'analyses statistiques par régression partielle par les moindres carrés (PLS) pour chaque critère de qualité du raisin permettent de construire notre modèle d'évaluation de la qualité potentielle d'une parcelle viticole. Nous avons identifié et quantifié les variables pédologiques, climatiques et de pratiques viticoles qui influencent fortement la qualité du raisin à la vendange. La variable 'longueur de la taille hivernale' (taille en épi = taille courte ou taille en canne = taille longue) explique très fortement les critères de qualité 'acide tartrique', 'azote assimilable par les levures' et 'pourriture de la grappe' et dans une moindre mesure les critères 'pH' et 'acide malique'. La variables 'indice de sécheresse' explique très fortement les critères de qualité 'la concentration en acide malique'. La variable 'densité de plantation' explique très fortement les critères de qualité et une forte influence sur le 'pH'. Nous avons montré que ce sont les pratiques de culture pérenne de la vigne (versus les pratiques annuelles) qui contribuent le plus à la variable 'concentration d'azote assimilable par les levures'. Nos résultats permettent

de mieux caractériser et comprendre les principales variables qui influencent la qualité potentielle du raisin (Beauchet *et al.*, 2020) (ACL4).

Tableau 5. Caractéristiques des pratiques viticoles utilisées comme variables d'entrée du modèle pour évaluer les parcelles étudiées. (ACL4).

Variable	Description	Variable	Description
The perennial practices on the vine (VinePerennialPractices)		Viticulture practices made on the vine during the studied year (VineAnnualPractices)	
RSrip	Riparia rootstock (yes/no)	P	Number of eyes pruned (number of buds / ha)
RSrup	Rupestis du Lot rootstock (yes/no)	LP	Vine pruning length (yes/no)
RSso4	SO4 rootstock (yes/no)	TT	Number of vine trimmings and toppings
RSferc	Fercal rootstock (yes/no)	NoL	No leaf removal performed (yes/no)
RS3309	3309 rootstock (yes/no)	Le	Number of defoliated faces: none, one or both sides (0 to 2)
RS5bb	5BB rootstock (yes/no)	Th	Number of cluster thinnings performed
SGPS	Single Guyot Pruning System (yes/no)	De	Number of desuckering performed
DGPS	Double Guyot Pruning System (yes/no)	ShT	Shoot thinning performed (yes/no)
RCPS	Royat Cordon Pruning System (yes/no)	Fu	Fungicide treatment (IFT/ha)
Y_10	Plot age below or equal to 10 years (yes/no)	In	Insecticide treatment (IFT/ha)
Y_15	Plot age between 10 and 15 years (yes/no)	HH	Harvest done by hand (yes/no)
Y_25	Plot age between 15 and 25 years (yes/no)	Viticulture practices made on the working soil during the studied year (SoilAnnualPractices)	
Y_26	Plot age between superior to 25 years (yes/no)	FO	Organic fertilizer (yes/no)
RSvig	Rootstock's vigor note (1 to 3)	FM	Mineral fertilizer (yes/no)
The perennial practices on the structure of the vineyard (StructurePerennialPractices)		FB	Biodynamic fertilizer (yes/no)
Dens	Plant density (plants.ha ⁻¹)	FN	Nitrogen brought by fertilization (kg N.ha ⁻¹)
HV	Height of the vine's trunk (m)	WMG	Number of tractor passing for mowing grass
CaH	Canopy height (m)	WC	Treatment Frequency Index for chemical weed control (IFT.ha ⁻¹)
CaT	Canopy thickness (m)	IG	Grass cover in the interrow (yes/no)
RS	Row spacing (m)	IT	Mechanical soil tillage in the interrow (yes/no)
AL	Exposed leaf area (m ² of leaves.m ² of soil)	IC	Chemical weed control in the interrow (yes/no)
		RT	Mechanical soil tillage under the row (yes/no)
		RC	Chemical weed control under the row (yes/no)

3.3.6. Discussion

L'itinéraire technique a été au cœur de mes travaux de recherche à la fois comme objet en tant que tel (caractérisation, recherche innovation par co-conception ou traque aux innovations) et comme déterminant du fonctionnement de la vigne et de la qualité des vins qui en sont issus. Dans ce dernier cas, j'ai contribué à la fois à un travail d'acquisition de connaissances et d'intégration de connaissances dans par exemple des concepts (terroir, typicité) et des modèles (fonctionnement de la vigne par la vigueur et par la précocité). Mes travaux ayant fait l'objet de publications et d'encadrements de doctorants ont mis les pratiques de l'itinéraire technique viticole au cœur des concepts de terroir et de typicité ce qui n'était, jusqu'à ce jour, pas le cas. Une grande majorité des travaux des chercheurs de la communauté des terroirs viticoles se

focalisent sur les relations sol-plante ou sur un faible nombre de pratiques de l'itinéraire technique pour les analyser finement (Bodin & Morlat, 2006; Metay *et al.*, 2014; Ripoché *et al.*, 2011; van Leeuwen *et al.*, 2004; van Leeuwen *et al.*, 2018). Ces connaissances acquises ont été valorisées dans le développement de modèles de fonctionnement (ex. : vigueur et précocité) de la vigne et dans un modèle de la qualité potentielle des produits issus de ces itinéraires techniques.

Dans cette première partie, j'ai effectué un travail analytique permettant d'acquérir des pièces du puzzle du fonctionnement du système viticole en me focalisant sur les pratiques de l'itinéraire technique. Toutes les connaissances que j'ai acquises sur l'itinéraire technique ont été mobilisées dans une seconde partie de travaux de recherches visant à construire des méthodes d'évaluation multicritères de la durabilité des systèmes viticoles. La seconde partie de mes travaux traite de la question des performances de durabilité et agronomiques des systèmes viticoles. Ce second volet de mes travaux a porté sur les impacts et le questionnement de la durabilité de ces itinéraires techniques et la construction de méthodes d'évaluation multicritère pour répondre à ces enjeux. La démarche d'évaluation peut être considérée comme partie intégrante de toute démarche de progrès (Meynard *et al.*, 2002).

3.4. L'évaluation multicritère du système viticole

3.4.1. L'évaluation environnementale multicritère aux échelles spatiales et temporelles multiples

- **Construction d'une méthode d'évaluation multicritère** à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation (INDIGO®-vigne)

Mon objectif a été de construire une version modifiée et élargie d'INDIGO® pour la viticulture, initialement conçue pour des cultures céréalières annuelles en systèmes conventionnels (Bockstaller *et al.*, 2009). J'ai utilisé dès le début du projet une méthode de recherche participative pour choisir les thèmes agri-environnementaux à évaluer dans INDIGO®-vigne (exemple : construction des indicateurs I-couv-sol et I-antigel et validation des indicateurs I-Phy, I-MO, I-N et I-énergie).

J'ai construit, développé, et validé deux nouveaux indicateurs spécifiques à la viticulture (I-couv-sol, I-antigel) et j'ai adapté des indicateurs existants (I-Phy, I-N, I-MO, I-énergie) aux spécificités de la viticulture (Tableau 6), avec une perspective de généralité aux autres cultures pérennes (Thiollet-Scholtus & Bockstaller, 2015) (ACL10). Ceci a permis ensuite une adaptation facile et rapide à l'arboriculture fruitière par un CDD ingénieur. J'ai conçu et adapté les indicateurs viticoles en suivant cinq étapes : (i) définition préliminaire des objectifs et identification des utilisateurs finaux, (ii) construction de l'indicateur, (iii) sélection d'une valeur de référence, (iv) analyse de sensibilité et (v) validation. La définition du cadre et des conditions d'accès aux bases de données techniques ont été définis par recherche participative avec les institutions professionnelles et des organisations de viticulteurs. J'ai conçu les indicateurs INDIGO® avec toutes les connaissances scientifiques et spécialisées disponibles, j'ai agrégé ces connaissances dans des systèmes experts associant des sous-ensembles flous (I-Phy, I-antigel) ou, lorsque cela était possible, des équations quantitatives (I-couv-sol, I-énergie, I-N, I-MO). J'ai calculé ces indicateurs pour toutes les parcelles de 55 exploitations viticoles de quatre sous-bassins de production (Alsace, Bourgogne, Champagne, Franche-Comté) pour 2 à 4 années consécutives selon les indicateurs. Cela m'a permis de démontrer la généralité et la

robustesse des indicateurs. J'ai également validé ces indicateurs selon la méthode de Bockstaller & Girardin (2003). J'ai proposé un usage de conseil de ces indicateurs en effectuant des simulations de scénarios de pratiques viticoles permettant d'améliorer les notes des indicateurs et donc de réduire les risques environnementaux de ces itinéraires techniques. J'ai obtenu le prix de l'innovation en 2002 au salon Vitt'Eff à Reims, pour mon travail de construction d'un dérivé de cette méthode : l'outil PhytChoix® développé en collaboration avec l'IFV, pour choisir son pesticide *a priori*. L'utilisation de méthode de recherche participative a été un réel atout pour l'adoption de la méthode par les organismes de développement (CTIFL et IFV) qui ont commencé à s'approprier l'outil d'évaluation dans sa première version, mais sans réussir à prendre le relai de la recherche avec la finalisation de PhytChoix2 comme c'était prévu initialement.

L'évaluation environnementale de la viticulture à l'échelle de la parcelle et de l'exploitation ne suffit pas à appréhender les risques environnementaux de l'itinéraire technique viticole.

Tableau 6. Caractéristiques générales des indicateurs de la méthode INDIGO® destinés à son application aux systèmes de production viticoles. (ACL10).

Indicator	Practices covered	Environmental issues	Method of design	Development status	References
I-Phy	Pesticide applications	Groundwater quality Surface water quality Air quality Beneficial	Fuzzy expert system	Adaptation of sub-indicator "air" New sub-indicator "beneficial"	Thiollet and Girardin (2003); Thiollet-Scholtus (2004) and Payraudeau and Grégoire (2011) Thiollet (2003)
Ifrost	Use of frost protection system	Surface water Consumption Energy	Fuzzy expert system	New	
Isoilcover	Soil cover management	Water erosion	Operational quantitative model	New	Thiollet and Girardin (2002) and Thiollet-Scholtus (2010)
Ien	Energy consumption by machinery, pesticides and fertilizers	Fossil energy	Operational quantitative model	Adaptation	Pervanchon and Thiollet (2004)
IN	Nitrogen fertilization (mineral and organic; soil and foliar)	Groundwater quality Gas emissions	Operational quantitative model	Adaptation	Bockstaller et al. (2009)
IOM	Organic fertilization	Soil fertility	Operational quantitative model	Adaptation	Bockstaller et al. (1997)

• Front de recherche au LAE sur le changement de l'échelle spatiale de l'évaluation multicritère

Dans le cadre de ma thèse de doctorat, j'ai ouvert un front de recherche en changement d'échelle pour la construction d'indicateurs d'évaluation en proposant des résultats de construction de méthode d'évaluation à l'échelle du bassin versant (Thiollet-Scholtus, 2004) (RE5). J'ai fait un diagnostic du risque de contamination des eaux de surface à l'échelle de l'unité hydrologique qu'est le bassin versant viticole. J'ai construit un outil de diagnostic à l'échelle du bassin versant viticole pour l'évaluation multicritère des risques de pollutions phytosanitaires.

J'ai utilisé le module d'évaluation des risques phytosanitaires pour les eaux de surface que j'avais construit dans la méthode INDIGO®-vigne (décrit dans le paragraphe ci-dessus) pour l'adapter à l'échelle du bassin versant en intégrant des variables de positionnement des parcelles par rapport aux chemins de l'eau qui ruissellent dans le bassin versant en cas d'épisode pluvieux.

J'ai construit un indice de connectivité parcellaire Ci à partir de connaissances bibliographiques et expertes (Figure 12) qui permet d'obtenir un indicateur I-Phy-BVci. L'indice de connectivité (Ci) prend en compte : (1) les éléments environnant la parcelle qui sont susceptibles de limiter ou d'accentuer le risque de ruissellement des produits phytosanitaires (zones tampons et

parcelles adjacentes), mais aussi (2) les caractéristiques hydrographiques du trajet de l'eau qui ruisselle jusqu'à l'exutoire du bassin versant. L'indice de connectivité permet d'agréger les modules RESU et DOSE de la façon la plus réaliste possible quant aux risques phytosanitaires pour la contamination des eaux de surface, pour donner le résultat de l'indicateur I-Phy-BVci. J'ai appliqué cet outil d'évaluation à 2 cas d'étude (Figure 12) : deux bassins versants viticoles à occupation des sols viticoles majoritaire (>90%) et à fonctionnement hydrologique de surface à (90%), localisés à Chablis (89) et Rouffach (68). Les résultats ont montré des profils bien différents avec des valeurs plus favorables et variables à Rouffach qu'à Chablis. Mes résultats ont été confirmés par une étude sur Rouffach qui a montré que seul 12 % du bassin versant contribuait au transfert à l'exutoire par ruissellement de substances actives (Lefrancq *et al.*, 2013).

Et enfin, j'ai validé l'indicateur I-Phy-BVci à l'aide de la comparaison des résultats de calculs de I-Phy-BVci sur ces 2 bassins versants, avec des résultats d'analyses d'eau à l'exutoire pour deux séries chronologiques d'épisodes de ruissellement hydrauliques consécutifs à des pluies mesurées. Cette validation n'était pas pleinement satisfaisante et le travail de construction d'indicateurs à l'échelle du bassin versant a été poursuivi par la thèse de Julie Wohlfahrt en utilisant une démarche de métamodélisation à partir d'un modèle mécaniste difficile à mettre en œuvre en dehors d'un contexte de recherche (Wohlfahrt, 2008).

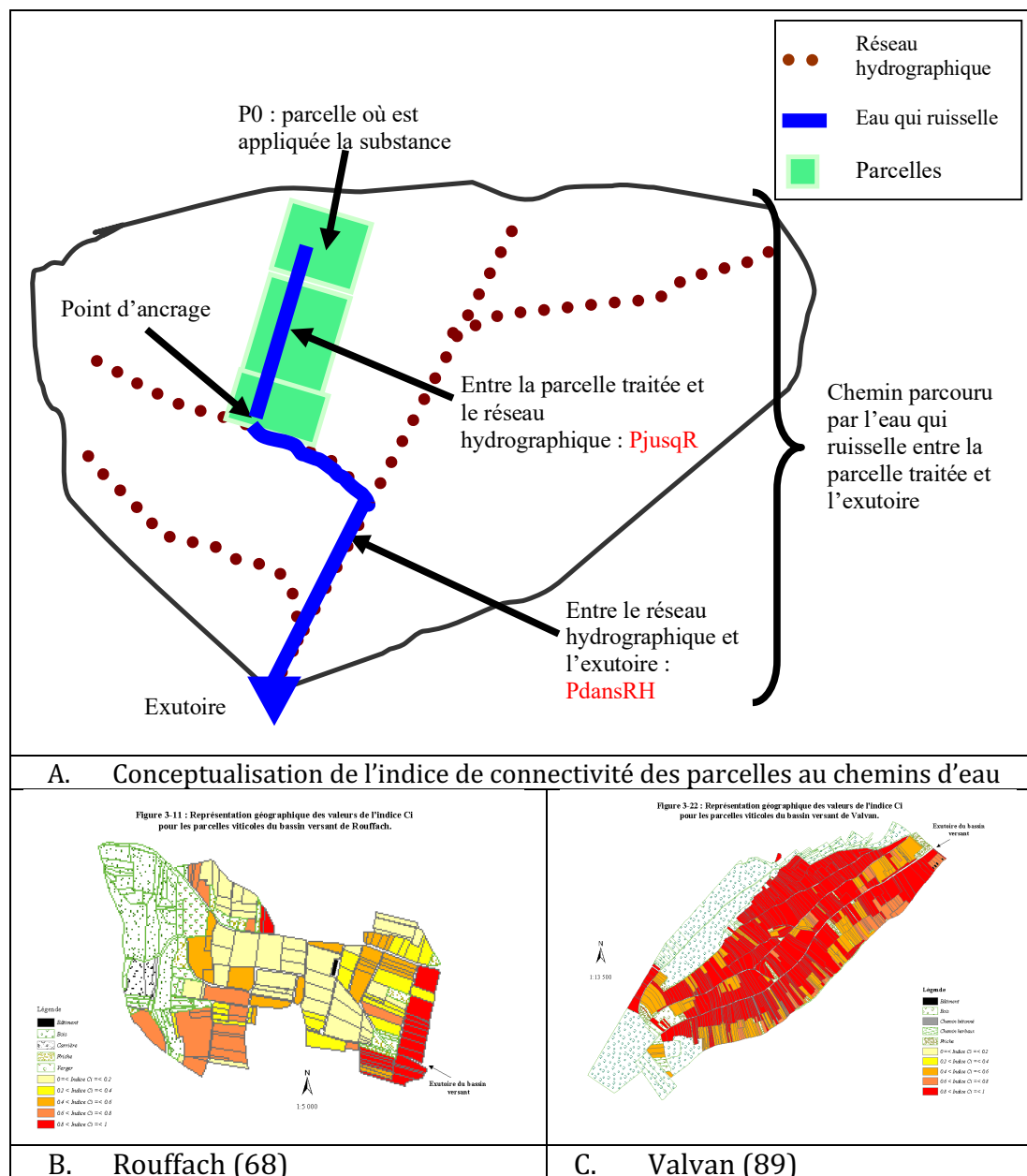


Figure 12. Caractéristiques de l'indice de connectivité pour l'évaluation des risques de contamination des eaux d'un bassin versant viticole. A : conceptualisation ; B : résultats des risques de contamination calculés pour le bassin versant de Rouffach (68) ; C : résultats des risques de contamination calculés pour le bassin versant de Valvan (89). (RE5).

- **Adaptation de l'évaluation multicritère par ACV à la viticulture**, hiérarchisation des pratiques dans l'itinéraire technique et importance de la variation inter-annuelle des impacts environnementaux

La première partie de mes travaux en évaluation multicritères dont a résulté les avancées pour la méthode INDIGO® appliquée à la viticulture, a porté sur une méthode d'évaluation « conventionnelle » traitant des impacts directs liés à la production. La seconde partie de mes travaux sur les méthodes d'évaluation multicritères porte sur l'analyse de cycle de vie (ACV) qui évalue les impacts tout au long du cycle de vie d'un produit, incluant l'amont (la production des intrants) et l'aval (utilisation du produit et élimination des déchets), (Repar *et al.*, 2017).

Bien que cette frontière ne soit pas totalement figée comme le montrent Bockstaller et al. (2015), l'ACV présente l'avantage d'une évaluation plus systémique, portant de manière explicite sur les impacts. L'ACV ne travaille pas seulement sur les émissions ou consommation de ressources, mais sur leurs effets en termes de réchauffement climatique, épuisement des ressources, cf. intitulés des colonnes du, etc. Mais sa mise en œuvre est plus lourde qu'INDIGO® (Bockstaller *et al.*, 2009). J'ai participé au co-encadrement de la thèse de S. Beauchet et au projet Casdar Qualenvic pour adapter l'ACV à la viticulture.

J'ai contribué à démontrer qu'il existe pour les impacts environnementaux une variabilité entre divers cas d'étude de viticulture biologique pour les pratiques et pour les quantités d'intrants dans les itinéraires techniques viticoles. Nous avons montré que les résultats de calculs d'impacts par ACV permettent dans un premier temps d'identifier les principaux déterminants pour chaque impact et ensuite de commencer à hiérarchiser les pratiques viticoles au sein de l'itinéraire technique, notamment les pratiques mécaniques (ex. : avec l'usage d'un tracteur et donc la consommation de fuel) en fonction de leur impact sur le changement climatique. Nous avons discuté de l'unité fonctionnelle à considérer car les résultats de classement des cas d'études diffèrent selon que les résultats sont exprimés en impact au kg de raisin produit ou à l'hectare de vigne (Renaud-Gentié *et al.*, 2020; Renaud-Gentié *et al.*, 2018) (ACL6). Un inventaire de cycle de vie consiste en la quantification de chacune des substances émises ou consommées pour la fabrication du bien ou du service étudié par rapport à l'unité fonctionnelle choisie. La quantification de chacune des émissions est liée au compartiment environnemental de réception de la substance (l'air, l'eau ou le sol) et on peut ainsi identifier les causes des impacts à partir des résultats des calculs d'ACV (

Tableau 7). Des modèles d'émission des substances dans l'environnement existent pour aider à déterminer les doses émises suivant les activités et substances (Beauchet, 2016). Toutefois, la lourdeur de l'application de la méthode ACV (temps de récupération des données, de leur saisie et des calculs des modèles d'émission) nous a contraint à travailler sur un faible nombre de parcelles viticoles en Val de Loire et en Alsace (5 parcelles pour la thèse de S. Beauchet).

Tableau 7. Principales causes des impacts dans les 8 résultats de l'ACV. Les causes sont ordonnées selon leur nombre d'occurrences. Les pratiques viticoles sont mentionnées entre parenthèses. (ACL6).

Main contributors	Climate Change	Terrestrial Acidification	Freshwater ecotoxicity	Terrestrial ecotoxicity	Water depletion	Fossil depletion
First	Diesel combustion (soil, canopy and diseases management)	Sulfur production (diseases management by sulfur)	Emissions of grape production (not related to a specific operation)	Emissions of plant protection (diseases management by copper)	Diesel combustion from canopy diseases management)	Diesel combustion (soil, canopy and diseases management)
Second	Background emissions in the field (not related to any operation)	Diesel combustion (soil, canopy and diseases management)	Diesel combustion (soil, canopy and diseases management)		Tractor manufacturing (soil, canopy and diseases management)	Tractor manufacturing (soil, canopy and diseases management)
Third	Tractor manufacturing (soil, canopy and diseases management)	Emissions from Fertilisation	Emissions from plant protection (diseases management)		Treatments (diseases management)	Fertiliser manufacturing

En co-encadrant la thèse de S. Beauchet, nous avons démontré qu'il existe une variabilité interannuelle des impacts environnementaux des itinéraires techniques viticoles en les évaluant par la méthode ACV pour 5 parcelles de cas d'étude étudiées dont une conduite en viticulture biologique modérée et une conduite en viticulture biologique intensive.

Au cours d'une année défavorable (ex. : une année climatique qui favorise le développement des champignons pathogènes de la vigne), le nombre de traitements phytosanitaires et d'interventions d'entretien des sols augmente pour tous des itinéraires techniques viticoles étudiés. Cela signifie que la variabilité interannuelle de l'impact environnemental était importante, selon le type d'itinéraire technique, avec des différences d'impact allant de 19 % à plus de 40 % entre 2011 et 2013. Par ailleurs, nous avons aussi montré que la gestion des impacts environnementaux se sont avérés plus difficiles pour les systèmes biologiques lorsque les conditions climatiques sont défavorables, par exemple en 2013. Nous avons montré que pour les impacts environnementaux, les résultats étaient moins variables pour les itinéraires techniques conventionnels que les itinéraires techniques biologiques entre les 2 années étudiées. Par conséquent, les viticulteurs ne réagissaient pas de la même manière à la variabilité du climat, principalement en ce qui concerne la protection phytosanitaire et l'entretien des sols selon qu'ils avaient un itinéraire technique bio ou conventionnel. J'en ai déduit que l'aversion au risque de perte de récolte des viticulteurs variait selon la conduite de leur système viticole.

Par ailleurs, du fait de la différence des systèmes de production, les viticulteurs bio et conventionnels n'auront pas les mêmes potentiels leviers mobilisables pour changer leurs pratiques ou leur système dans sa globalité en vue de limiter leurs impacts environnementaux. Nous avons démontré qu'il est important de faire une évaluation pluriannuelle des risques environnementaux des itinéraires techniques viticoles à l'aide de la quantification de la déviation entre deux années de calculs d'ACV (Tableau 8) pour prendre en compte la variabilité interannuelle dans les évaluations environnementales des systèmes viticoles et de ne pas se cantonner à une évaluation annuelle stricte (Beauchet *et al.*, 2019) (ACL8).

Tableau 8. Résultats de la variation des résultats par système viticole entre les 2 années d'étude (2011 et 2013). (ACL8).

Système	Nombre de catégories d'impact ACV avec une déviation supérieure à 20% entre les 2 années	Déviation moyenne (%)
1	7/14	25
2	4/14	17
3	11/14	19
4	12/14	24
5	6/14	21

3.4.2. L'évaluation multicritère de la durabilité des systèmes viticoles

- **Évaluation conjointe** de la qualité des produits et de l'impact environnemental des pratiques à l'origine de ces produits, en condition d'appellation d'origine

Je suis partie du constat que la capacité de prise en compte de la pluri-performance (environnementale, qualité des produits, économique, sociale) des entreprises agricoles était un facteur clef de compétitivité des entreprises agricoles, et qu'en parallèle il y avait un manque de méthodes d'évaluation multicritère permettant l'évaluation conjointe de ces performances,

la seconde partie de la thèse de S. Beauchet et le projet Qualenvic nous ont permis de produire une méthodologie d'évaluation multicritère environnement-qualité.

La méthode construite combine une évaluation de la performance environnementale et une évaluation de la qualité des produits. Pour la partie évaluation environnementale, nous avons adapté la méthode d'analyse de cycle de vie à chacune des deux filières d'étude, la viticulture et la production laitière et se nourrissant des résultats de la thèse de C. Renaud-Gentié à laquelle j'avais participé. Pour la partie évaluation de la qualité, j'ai apporté dans le pot commun, mes acquis et résultats de la thèse de C. Coulon-Leroy complété par d'autres travaux de l'équipe de recherche de F. Jourjon et nous avons construit un ensemble d'indicateurs spécifiques à chacun des produits évalués. Ces indicateurs ont été construits en utilisant des méthodes de recherche participative mobilisant des groupes d'experts scientifiques et professionnels. Nous avons aussi construit un module d'agrégation de ces deux performances environnementales et de la qualité. Notre méthode a été appliquée à deux types de production : le lait de vache à destination d'usage pour des fromages AOC et pour du lait HUT et le vin AOC. Nous avons calculé l'évaluation conjointe pour 30 systèmes laitiers de Bretagne et du Cantal et pour 20 systèmes viticoles du Val de Loire et d'Alsace.

Nos résultats de calculs ont montré la possibilité d'identifier les systèmes de production qui présentent les meilleurs compromis entre performance environnementale et qualité des produits (Botreau *et al.*, 2018).

Les résultats obtenus, en viticulture, sur 5 cas d'étude viticoles (i) nous ont permis de montrer une variabilité inter annuelle des résultats des performances entre les 2 millésimes étudiés et (ii) nous ont permis d'identifier les pratiques agricoles qui ont le plus d'impacts sur les résultats d'évaluation. Nous avons aussi fait des simulations de changement de pratiques pour améliorer les résultats de l'évaluation des systèmes viticoles. Nous avons pu faire progresser les notes environnementales de +0,15 points à +0,77 points (/10) pour le module d'évaluation environnementale et de +2,29 points (/10) dans le résultat de l'évaluation conjointe environnement-qualité sans altérer les résultats de l'évaluation de la qualité des raisins.

Pour finaliser l'aboutissement de notre projet, j'ai proposé à C. Bockstaller, alors qu'il était en train de travailler à l'élaboration de la méthode d'agrégation CONTRA (CONstruction TRansparente d'Arbre de décision, Bockstaller *et al.*, 2017). Cette collaboration a conduit au développement de la méthode d'évaluation conjointe CONTRA Qualenvic adaptée à la viticulture qui a été appliquée aux parcelles d'étude de la thèse de S. Beauchet (Figure 13). La méthode a permis d'identifier des pistes de progrès de la durabilité environnementale des systèmes de production viticoles en conditions de contrainte de qualité des produits qui en sont issus (Beauchet, 2016; Beauchet *et al.*, Soumis / re-soumettre été 2021; Beauchet *et al.*, 2017) (ACLS2, COM12). Cependant, nous avons identifié des limites à ce premier prototype de méthode d'évaluation conjointe avec des résultats qui semblaient trop sévères en qualité du lait (lait UHT et fromage) et qualité du raisin par rapport aux échelles de calibration choisies. Nous avons montré que les résultats d'évaluation conjointe environnementale par la méthode d'Analyse du Cycle de Vie (ACV) et de la qualité du raisin nécessitent beaucoup de données d'entrée. Ce qui peut être un facteur limitant à l'usage de cette méthode d'évaluation. Malgré cette limite, ce travail a été une réussite au niveau méthodologique et montré l'intérêt qu'il y a à développer une méthode d'évaluation multicritère conjointe « environnement et qualité », dans le processus de changement de pratiques pour une amélioration des performances des systèmes de production agricole.

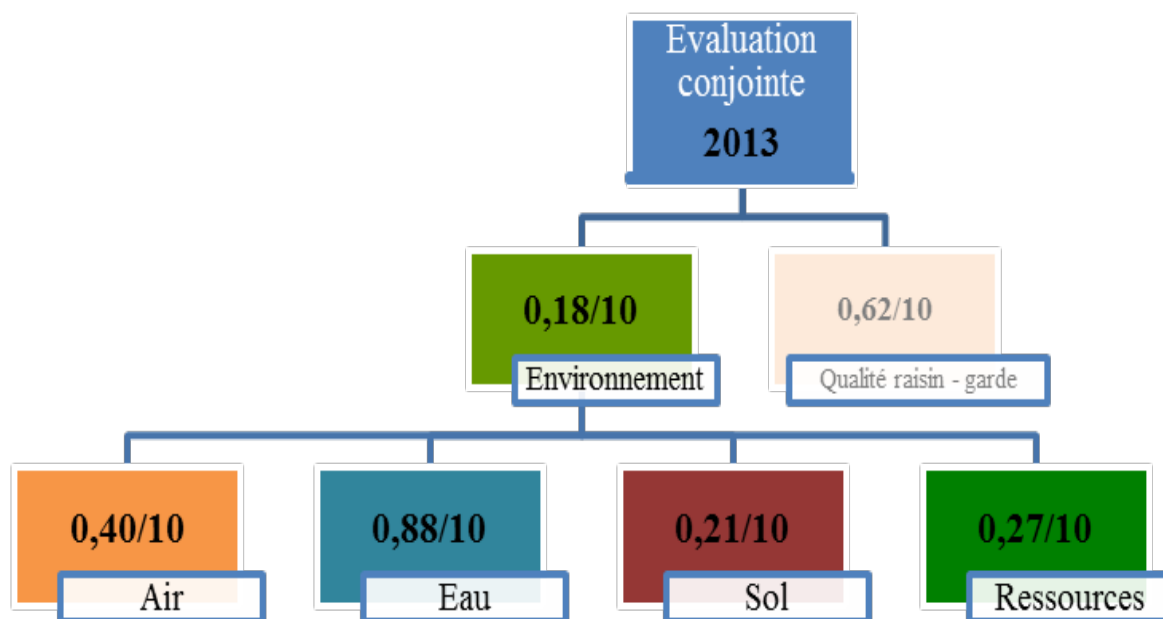


Figure 13. Représentation des notes obtenues par le système viticole n°4 pour le millésime 2013 dans CONTRA-Qualenvic pour son évaluation environnementale. (COM12).

- **Évaluation multicritère de systèmes innovants à très bas intrants et constitution d'une base de données des résultats de leurs indicateurs d'évaluation**

En acceptant de prendre la coordination du projet PEPSVI en 2012, je savais que je serai la seule scientifique du centre de Colmar du projet bien avant qu'il ne soit lauréat et que je m'attélais à l'énorme challenge de simultanément conduire un collectif hétérogène non scientifique tout en visant de publier des résultats dans des journaux d'agronomie à comité de lecture. Je savais qu'il me faudrait m'entourer hors du projet, de collaborations motivées par le sujet et par les résultats attendus, outre la convivialité de travail. J.-M. Meynard (UMR Sadapt, Paris), M. Benoit (UR Aster, Mirecourt) et A. Merot (UMR System, Montpellier) ont accepté mon invitation et je les en remercie encore ici très sincèrement. Dans le cadre du projet de recherche Dephy-Expé, Pepsvi (2013-2018), que j'ai porté pendant 6 ans, j'ai emmené un collectif à concevoir, expérimenter et évaluer 11 systèmes de production viticoles innovants de par leur réduction d'usage d'intrants exogènes et en particulier de produits phytosanitaires. L'ambition était de réduire les impacts environnementaux tout en maintenant les objectifs agronomiques et d'assurer la durabilité (environnement social et économique) des systèmes viticoles.

Nos résultats ont été :

- (i) Des calculs d'évaluations de la multiperformance de la durabilité de ces nouveaux systèmes de vignes agroécologiques pendant 6 années consécutives (2013-2018). Nous avons calculé 25 indicateurs qui couvraient tous les aspects de la durabilité du système : environnementaux (12), agronomiques (7), économiques (2) et sociaux (4).
- (ii) Par rapport à des travaux précédents, et en terme d'avancées méthodologiques, j'ai construit une méthode originale d'évaluation du capital humain (Figure 14) avec un indicateur d'évaluation socio-économique basé sur la méthode INDIGO® (Keichinger & Thiolllet-Scholtus, 2017; Thiolllet-Scholtus & Keichinger, 2021) (COM1, COM10).

- (iii) Enfin, j'ai intégré l'évaluation de la qualité des produits issus de ces systèmes viticoles innovants dans l'évaluation agronomique au cours de mes années de recherche à l'UEVV d'Angers, dans le cadre des encadrements des thèses de C. Coulon-Leroy et de S. Beauchet et des projets de recherches dont Qualenvic.

Les expérimentations-systèmes livrant généralement une énorme quantité de données, nous avons constitué une base de données publiées de tous ces résultats décrivant les systèmes viticoles agroécologiques ainsi que les résultats de leurs performances agronomiques, environnementales, économiques et sociales (Thiollet-Scholtus *et al.*, 2020b) (ACL5). Par cette publication, nous montrons également la reproductibilité de l'ensemble des indicateurs sur six années de récolte (2013-2018) sur onze systèmes viticoles agroécologiques. Les 12 indicateurs environnementaux sont l'indice de fréquence de traitements totaux, l'indice de fréquence de traitements fongicides, l'indicateur I-Phy de la méthode Indigo®, la dose de cuivre, le compactage du sol, l'activité bactérienne dans le sol, la biomasse moléculaire bactérienne, le taux potentiel de minéralisation de l'azote, l'apport d'azote disponible dans le sol à la véraison, la richesse floristique spécifique totale et la valeur relative de la pollinisation. Les 7 indicateurs agronomiques sont la phénologie de la vigne, la vigueur de la vigne, le rendement à la parcelle, l'intensité de l'oïdium sur les grappes à la récolte, l'intensité de la pourriture grise (*Botrytis cinerea*) sur les grappes à la récolte, le taux de sucre dans le jus (total des solides solubles) et le taux d'acidité totale du jus (acidité titrable) à la récolte, les caractéristiques du vin après microvinification. Les 2 indicateurs économiques sont des semi-marges brutes à la parcelle et à l'échelle de l'exploitation. Les 4 indicateurs sociologiques sont le capital humain, la sécurité, la pénibilité du travail et le risque lié aux pesticides (

Tableau 9).

Nous avons montré que les systèmes viticoles agroécologiques sont durables pour les performances environnementales, agronomiques en quantité et en qualité, et économiques, alors que les performances socio-économiques des systèmes viticoles agroécologiques sont plus modérées.

Nous avons montré qu'il est possible de combiner de bonnes performances environnementales, telles que la réduction de la fréquence des traitements jusqu'à 89 %, avec de bonnes performances agronomiques, de qualité des vins de bonnes performances économiques et des performances sociales acceptables.

Nous avons aussi montré que les systèmes viticoles agroécologiques sont robustes, comme le montrent nos résultats d'évaluation pendant six années consécutives différentes notamment par leur pluviométrie et de leur pression parasitaire, et même en 2016, où les pressions parasitaires étaient très fortes. Cela démontre que les itinéraires techniques mis en œuvre permettent d'atteindre les objectifs quantitatifs et qualitatifs de production indépendamment de la pression parasitaire des principaux pathogènes de la plante (Thiollet-Scholtus *et al.*, 2021) (ACL1).

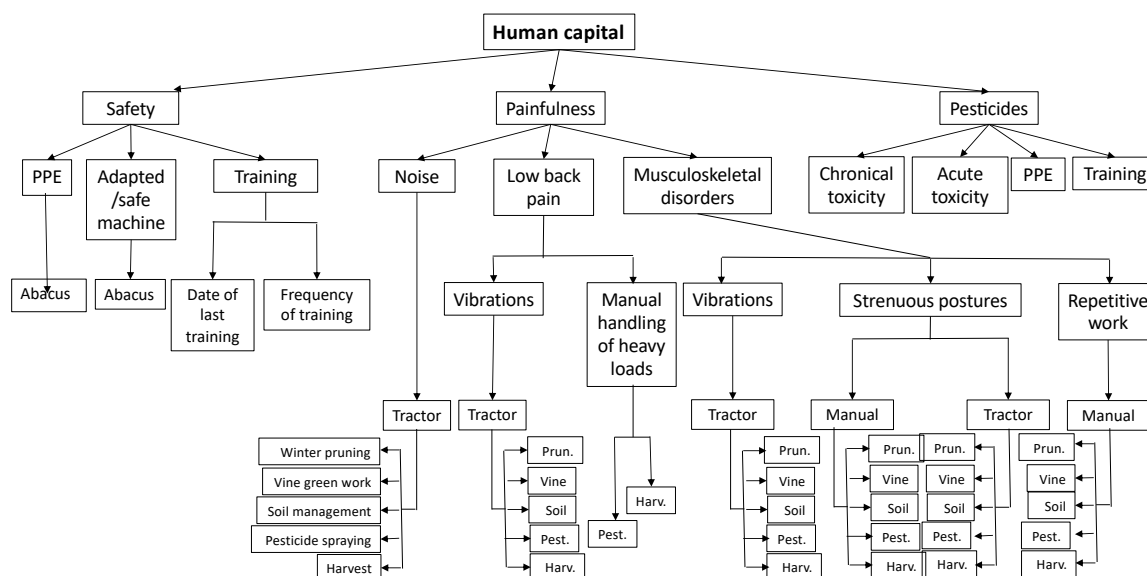


Figure 14. Présentation synthétique de l'arbre de décisions des variables d'entrée composant la partie 'capital humain' de l'indicateur socio-économique SOECO (COM1).

Tableau 9. Caractéristiques des indicateurs d'évaluation des 11 systèmes viticoles innovants expérimentés dans le projet PEPSVI. (ACL1).

Indicators	Reference	Reference comment	Unit	Variation range	Number of original measures
TFI-total	Local average: 10.9 in 2013. National average: 14.7 in 2013.	National survey every 6 years gives the local and national averages.	no unit	0 to 12.7	11 systems, 6 years, 51 scores
TFI-fungicides	Local average: 9.8 in 2013	National survey every 6 years gives the local and national averages.	no unit	0 to 11.7	11 systems, 6 years, 51 scores
TFI-biocontrol/TFI-total		-	%	0 to 100 %	11 systems, 6 years, 51 scores
I-Phy	Integrated viticulture: 7/10	INDIGO(R) scale	no unit	0 to 10	11 systems, 6 years, 45 scores
Copper rate	Local average: 1.6 kg.ha-1. year.-1 in 2013	European and French authorized maximum is 4 kg.ha-1.year-1	kg.ha-1. year-1	0 to 3.0	11 systems, 6 years, 51 scores
Soil compaction	No local average	Scale from 0 (no settling) to 100 % of compacted soil (corresponding to ro vine root in the soil).	no unit	0 to 100 %	11 systems, 1 year (2015), 60 scores
Nitrogen bacteria activity in soil				0.1 to 1.1	11 systems, 3 years (2014, 15, 18), 20 scores
Nitrogen bacteria biomass in soil				1,4E + 12 to 2,6E+10	11 systems, 3 years (2014, 15, 18), 28 scores
Speed of nitrogen mineralization in the soil at veraison			mgN. kgDM-1	0.0 to 0.1	11 systems, 3 years (2014, 15, 18), 28 scores
Amount of available nitrogen in soil at veraison			mgN. kgDM-1	1.5 to 69.0	11 systems, 3 years (2014, 15, 18), 28 scores
Relative pollination value			no unit	24.4 to 58.0	11 systems, 6 years, 51 scores
Total floristic richness			no unit	39.0 to 94.0	11 systems, 6 years, 51 scores
Vine vigor	Winemaker personnel goal	no PDO specification	kg.vine-1. year-1	0.2 to 1.0	11 systems, 6 years, 47 scores
Yield	Winemaker personnel goal	PDO specification is the maximum	kg.ha-1. year-1	2240.7 to 28913.3	11 systems, 6 years, 43 scores
Powdery mildew intensity on bunches (%) at harvest	Local pest pressure	No regulatory reference	%	0% to 10.7 %	11 systems, 6 years, 47 scores
Grey rot intensity on bunches (%) at harvest	Local pest pressure	No regulatory reference	%	0% to 46.2 %	11 systems, 6 years, 47 scores
Juice sugar rate	Winemaker personnel goal	PDO specification is the maximum	g.L-1	119.9 to 240.2	11 systems, 6 years, 43 scores
Juice total acidity	Winemaker personnel goal	no PDO specification	H2SO4 g. L-1	3.1 to 10.2	11 systems, 6 years, 43 scores
Wine sensory characteristics	Alsace PDO average (5/10)	no PDO specification	no unit	0 to 11.7	11 systems, 6 years, 43 scores
Profitability1	Winemaker personnel goal	Semi gross margin at system scale	euros	_9000 to 6585	11 systems, 1 year (2015), 11 scores
Profitability2	Winemaker personnel goal	Net economic result including farm costs	euros	_11387 to 2813	11 systems, 1 year (2015), 11 scores
Human capital	No reference	-	no unit	0 to 10	11 systems, 1 year (2015), 11 scores
Penibility	No reference	-	no unit	0 to 10	11 systems, 1 year (2015), 11 scores
Pesticides	No reference	-	no unit	0 to 10	11 systems, 1 year (2015), 11 scores
Security	No reference	-	no unit	0 to 10	11 systems, 1 year (2015), 11 scores

3.5. Conclusion du bilan

Durant toutes ces années, j'ai été conduite à travailler sur les différentes étapes d'une boucle de progrès concernant l'amélioration de la durabilité des systèmes viticoles pour lesquels il existait un double enjeu important de qualité des produits et de durabilité environnementale.

Cette boucle m'a permis de produire des résultats à la fois sur la conception à l'évaluation des itinéraires techniques viti-vinicoles. Ceci a été nourri par des travaux d'acquisition de connaissances, de diagnostics initiaux d'itinéraires techniques de protection phytosanitaire et sur la place de l'itinéraire technique dans les concepts de terroir viticole et de typicité des vins AOC. Par ailleurs, j'ai mené des travaux de modélisation du fonctionnement de la vigne et de la prédiction de la qualité du raisin. Ce dernier est venu enrichir le développement de méthodes d'évaluation des systèmes viticoles.

Ces travaux ont aussi intégré quelques systèmes viticoles innovants par leur réduction d'usage d'intrants.

Ces systèmes innovants à très bas intrants (agroécologiques), basés sur des processus écologiques sont plus complexes (Merot *et al.*, 2020; Merot & Wery, 2017) et posent de nouvelles questions par rapport aux approches « classiques » en évaluations multicritères et aux types et aux niveaux de performances attendus (ex. agronomiques, services écosystémiques, durabilité sociale). Ainsi, je propose de centrer mon projet sur la caractérisation et l'évaluation de ces systèmes agroécologiques.

4. PROJET DE RECHERCHE

4.1. Contexte et objectifs

Pour répondre aux enjeux de durabilité de l'agriculture et de la société, de nombreuses formes d'agriculture, alternatives aux systèmes basés sur une utilisation intensive d'intrant de synthèse, ont vu le jour durant ces dernières décennies (Therond *et al.*, 2017). Ces « nouveau » systèmes de production agricole, dits « agroécologiques », ont souvent comme objectifs conjoints (i) d'augmenter les services écosystémiques liés au fonctionnement des écosystèmes agricoles pour permettre (ii) de réduire leur dépendance vis-à-vis des intrants exogènes à l'exploitation tout (iii) en maintenant la productivité de l'exploitation agricole (Garbach *et al.*, 2016). Les innovations de ces systèmes vont au-delà des améliorations basées sur l'augmentation de l'efficacité des intrants (agriculture de précision) ou d'une substitution de molécules problématiques, ces systèmes ont fait l'objet de conception. Ils sont le plus souvent basés sur l'augmentation de la biodiversité planifiée comme par exemple la diversification de la rotation ou l'introduction de cultures de couverture. Ces systèmes peuvent également être basés sur des innovations organisationnelles ou socio-économiques par exemple relatives à l'organisation du travail, à l'accès à de nouveaux marchés ou à l'échange de connaissances (Casagrande *et al.*, 2017).

Dans tous les cas, Merot & Wery (2017), en analysant la transition des systèmes conventionnels ou intégrés vers des systèmes certifiés biologiques démontrent que plus les systèmes sont basés sur les processus écologiques, (i) plus ils sont complexes et (ii) plus leur gestion est également complexe. Parallèlement à cela, Duru *et al.* (2005) rappelle que l'on peut considérer que ces systèmes sont « knowledge-intensive » c.-à-d. « intensifs en savoirs et connaissances ». Enfin, Casagrande *et al.* (2017) proposent une typologie des innovations sous-tendant ces systèmes complexes, dits « agroécologiques ».

Le postulat de base de mes travaux est que l'acquisition de connaissances sur ces systèmes ainsi que la démonstration de leurs multiples performances sont indispensables pour permettre leur déploiement sur les territoires et leur intégration dans les filières agricoles. Pour cela, nous recherchons à caractériser finement la diversité des systèmes agroécologiques et le fonctionnement interne de ces systèmes dans leur environnement.

Dans second temps, nous construirons un cadre conceptuel de méthodes d'évaluation multicritères de ces systèmes ainsi qu'une méthode d'évaluation des performances agronomiques et des trois piliers de la durabilité, environnement social et économique, pour acquérir des connaissances sur leur performances de durabilité de ces systèmes dans leur environnement biophysique et socio-économique.

4.2. La caractérisation des systèmes agroécologiques

Actuellement, plusieurs auteurs ont typé des formes d'agriculture au sens large (Therond et al. 2017), des familles de systèmes agroécologiques (Garbach *et al.*, 2016). D'autres auteurs ont aussi caractérisé les systèmes agricoles selon le cadre Efficience-Substitution-Reconception - ESR- pour classer les systèmes agroécologiques entre eux (Hill & MacRae, 1995), mais aussi pour analyser les transition de systèmes d'un état à un autre plus agroécologique (Merot & Wery, 2017). Je travaillerai sur des systèmes agroécologiques basés sur l'agroécologie, qui répondent aux aspects de la définition suivante : des systèmes qui valorisent leurs productions, réduisent de manière drastique la dépendance aux intrants exogènes par exemple réduire l'IFT de 80% ou diviser les doses de cuivre fongique par 12 par rapport à la moyenne régionale) et améliorent les services écosystémiques rendus par les systèmes (Garbach *et al.*, 2016). J'appréhenderai des systèmes qui ont déjà commencé leur transition agroécologique, et qui sont déjà passé par des états intermédiaires non stabilisés dans leur durabilité. Par exemple ces systèmes peuvent faire partie de systèmes en rupture par rapport à un système dominant sur le territoire (Salembier *et al.*, 2016) ; beaucoup de ces systèmes se rencontrent en agriculture biologique, biodynamique, les systèmes laitiers basés sur l'herbe (André Pochon, CEDAPA), (Garbach *et al.*, 2016).

4.2.1. Questions de recherche

Merot & Wery (2017) ont démontré la complexité des systèmes en transition agroécologique. Par ailleurs, je fais l'hypothèse qu'il y a une forte variabilité au sein de l'ensemble des systèmes agroécologiques. Il apparaît donc nécessaire de décrire, analyser, comprendre et formaliser ces systèmes.

Ma première question de recherche est : quelles sont les spécificités des systèmes agroécologiques? je propose de répondre à cette question pour les cultures pérennes (vigne) et annuelles (céréales).

Sous-question 1 : Comment caractériser les systèmes agroécologiques?

Sous-question 2 : Quelles sont les spécificités des systèmes agroécologiques par rapport aux systèmes dominants correspondant ?

Ces deux sous-questions impliquent l'étude des cadres de contraintes des systèmes agroécologiques et des leviers actionnés pour faire fonctionner les systèmes agroécologiques.

A partir des résultats de (Merot & Wery, 2017) démontrant la complexité des systèmes en transition agroécologique, je peux poser une hypothèse pour ma première question de recherche : Les systèmes agroécologiques sont très complexes dans leur fonctionnement et dans leur caractérisation.

4.2.2. Stratégie de recherche

Je vais caractériser les systèmes agroécologiques par une combinaison d'approches dans une démarche de traque aux innovations appliquée soit à l'analyse de bases de données décrivant des systèmes agricoles, soit à la réalisation d'enquêtes d'échantillons d'exploitations agricoles. Cela me permettra de trouver des nouveaux systèmes de productions réduits en usages d'intrants, comme cela a été fait en grandes cultures en Argentine. Les enquêtes sont de type semi-directive et sont réalisées dans un premier temps sur un échantillon d'agriculteurs identifiés par les organismes de développement et reconnus par leurs pairs. Cependant

beaucoup d'innovations se retrouvent sur des systèmes pratiqués par quelques agriculteurs, car les filières agricoles sont organisées autour d'un seul ou d'un petit nombre de systèmes dominant (Salembier *et al.*, 2016). L'identification de ces agriculteurs à enquêter se fait progressivement en s'appuyant sur les premiers agriculteurs enquêtés, par la méthode dite « boule de neige » (Chantre & Cardona, 2014) qui est souvent mise en œuvre (a) pour augmenter la taille d'un échantillon expérimental et (b) pour avoir dans l'échantillon des systèmes qui ne sont pas sur le devant de la scène médiatique ou professionnelle.

La traque sera appliquée régionalement à un territoire pilote de l'UMR LAE, le sud Alsace, région pilote et support de plusieurs projets de l'UMR, mais sera aussi effectuée sur l'ensemble du territoire national dans le cadre de projets partenariaux nationaux.

En parallèle, je vais analyser des bases de données conçues dans des projets de recherche destinés à travailler sur la réduction des intrants en agriculture. Ce sont des projets de recherche auxquels je participe : Interreg-Vitifutur, Casdar-Basic, Dephy-Expe-Salsa, Dephy-Expe-BEE, Dephy-Expe-DiverViti, en partenariat avec Anne Merot (UMR ABSys), Raphaël Métral (SupAgro Montpellier) et Laurent Delière (UMR SAVE Bordeaux) pour les systèmes viticoles innovants et les systèmes zéro pesticides et Anne Schaub (CRAGE Alsace) pour les systèmes agricoles.

Pour les bases de données, Vitifutur, j'ai commencé à analyser la base de données du projet de façon descriptive et pratique par pratique. La suite sera d'enrichir cette première analyse par des analyses plus complexes. L'analyse des enquêtes sera faite par des outils mathématiques et statistiques uni-variés et multi-variés existants et adaptés aux données quantitatives en partenariat avec Laure Hossard (UMR Innovation et développement dans l'agriculture et l'alimentation), des outils d'analyses textuelles adaptés aux données qualitatives, des méthodes d'analyse des trajectoires en partenariat avec Anne Merot (UMR ABSys) et des méthodes de construction de variables composites (ex. : combinaison de pratiques) et de typologies si nécessaire. La formalisation des connaissances descriptives et de fonctionnement des systèmes agroécologiques sera aussi réalisée en partenariat avec les collègues de l'UMR LAE.

4.2.3. Résultats attendus

Je prévois d'écrire des articles sur cette partie : un article méthodologie d'appréhension des systèmes agroécologiques, peut-être un article présentant un cadre générique de description des systèmes agroécologiques, avec l'application de ce cadre à un corpus de systèmes innovants analysés qui pourra fournir une typologie de ces systèmes.

Je prévois d'extraire de ces bases de données et de ces enquêtes des connaissances sur les modes de fonctionnement des systèmes agroécologiques et quelles sont les conditions de mise en œuvre et de réussite ou d'échec de ces systèmes.

Cela me permettra de déduire des variables qui pourront alimenter la construction de méthodes d'évaluation des performances de ces systèmes agroécologiques. Et ainsi nourrir ma seconde question de recherche ci-dessous.

Les analyses et des typologies de systèmes agroécologiques constitueront une source de connaissances construites et utilisables pour la seconde question de recherche, à savoir construire un cadre conceptuel pour élaborer des méthodes d'évaluation de la durabilité de ces systèmes.

4.3. L'évaluation des systèmes agroécologiques

4.3.1. État de l'art

a) Des manques généraux sont identifiés dans les méthodes d'évaluation

Depuis les années 2000, il existe un foisonnement de méthodes d'évaluation de la durabilité des systèmes agricoles. Ceci a conduit plusieurs auteurs à faire des revues, pour comparer des méthodes en fonction de leurs avantages et de leurs défauts en fonction de l'objectif de la revue (de Olde *et al.*, 2016; Eichler Inwood *et al.*, 2018; Lampridi *et al.*, 2019; Talukder *et al.*, 2020; Wustenberghs *et al.*, 2015). Plus récemment, dans le cadre d'une thèse, une revue de 262 méthodes d'évaluations publiées en 1993 et 2019 est en cours à l'UMR LAE (Soulé *et al.*, en révision).

Globalement, il est possible de distinguer deux grandes familles de méthodes :

- Les méthodes dites conventionnelles selon la terminologie de (Repar *et al.*, 2017) qui se focalise sur l'évaluation du système de production
- Les méthodes basées sur l'analyse de cycle de vie qui en plus du système de production prennent en compte le système amont, l'impact lié à la production des intrants, des matériaux, et de l'aval avec l'élimination des déchets. Ce cadre méthodologique issu de l'industrie a fait l'objet de nombreuses applications en agriculture et fait l'objet d'une norme internationale ISO.

Cependant Bockstaller *et al.* (2015) ont montré que la frontière n'est pas totalement hermétique entre les deux grandes familles de méthodes. En effet des indicateurs des méthodes conventionnelles peuvent être mobilisées dans des méthodes d'ACV comme par exemple le bilan apparent pour la gestion de l'azote. Et dans l'autre sens, certaines méthodes dites conventionnelles intègrent une démarche inspirée de l'ACV, notamment pour le calcul de la consommation énergétique en prenant en compte le coût énergétique de la production des intrants (ex. engrais et pesticides) (Pervanchon *et al.*, 2002). Le

Tableau 10 donne un aperçu des avantages et des inconvénients d'une certain nombre de méthodes aux systèmes agricoles.

Tableau 10. Avantages et inconvénients de quelques exemples de méthodes d'évaluation de la durabilité de l'agriculture (d'après (Colomb *et al.*, 2013; Pelzer *et al.*, 2012; Sadok *et al.*, 2009; Talukder *et al.*, 2020; van der Werf *et al.*, 2020).

Méthode/référence	Avantages	Inconvénients
SAFE (Van Cauwenbergh <i>et al.</i> , 2007)	Évaluation possible aux échelles parcelle, ferme et plus. Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Évaluation hiérarchique et structurée de la durabilité des systèmes agricoles.	Pas de prise en compte des interactions entre les 3 piliers de la durabilité. Pas de réponse commune à la durabilité de l'agriculture dans son ensemble.
RISE (Hani <i>et al.</i> , 2003)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Approche holistique. Méthode quantifiable du degré de durabilité des systèmes agricoles. Méthode utilisable.	Seulement 12 indicateurs. Pas de prise en compte des interactions entre les indicateurs.
Méthode par élimination MCDA (Talukder <i>et al.</i> , 2018)	Prise en compte des porteurs d'enjeux. Méthodes quantitative et qualitative. Évaluation à l'échelle de la ferme. Méthode simple, peu chère, holistique. Méthode identifiant les atouts et faiblesses de la gestion de la ferme.	Pas de résultat ou de solution aux problèmes. Les résultats consistent en des compromis entre les objectifs - un domaine s'améliore tandis qu'un autre se détériore.
SAFA (FAO, 2013)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte (intégrité environnementale, résilience économique, bien-être social + bonne gouvernance). Méthode utilisable.	Peu de cas d'application de la méthode. Tous les indicateurs ne sont pas adaptés à toutes les formes d'agriculture dans le monde. (Talukder <i>et al.</i> , 2020)
SEAMLESS (van Ittersum <i>et al.</i> , 2008)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Macro et micro analyses. Utilisations de modèles aux échelles parcelle ferme et marchés.	Adaptée au contexte européenne, modélisation complexe et non opérationnelle
COSA (COSA, 2020)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Évaluation à l'échelle de la ferme. Méthode applicable.	Faiblesse de la composante environnementale.
MASC (Sadok <i>et al.</i> , 2009)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Méthode d'agrégation basée sur des arbres de décision	Difficulté à calculer les indicateurs quantitatifs. Effets de seuils dans l'agrégation due à la mise en classe des indicateurs.
DEXiPM (Pelzer <i>et al.</i> , 2012 ; Colomb <i>et al.</i> 2013)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. Méthode d'agrégation basée sur des arbres de décision. Facilité de calcul des indicateurs qui sont tous les classes	Manque de sensibilité due à une évaluation totalement qualitative.
IDEA v.4 (Zahm <i>et al.</i> , 2019)	Les 3 dimensions de la durabilité sont prises en compte. En parallèle une évaluation par des propriétés systémiques robustesse, autonomie des agriculteurs, ancrage territorial	Méthode d'agrégation reposant sur la somme des notes. Effets de seuils dans l'agrégation due à la mise en classe des indicateurs.
ACV (van der Werf <i>et al.</i> , 2020)	Universelle.	Manque l'évaluation de la dégradation des sols, des effets des pesticides, et sur la biodiversité, l'évaluation des services écosystémiques. Problème de l'unité fonctionnelle (ha au lieu de kg).

D'une manière générale, on peut noter que les méthodes EMC existantes construites et utilisées par les scientifiques (ex. DEXiPM par (Pelzer *et al.*, 2012) MASC, par (Sadok *et al.*, 2009), SAFE, RISE, méthode par élimination MCDA (Talukder *et al.*, 2020), et ACV (Renaud-Gentié *et al.*, 2020) et par les organisation gouvernementales (Inwood *et al.*, 2018) ont été développées pour évaluer les impacts environnementaux négatifs et les performances socio-économiques

des systèmes dominants c.-à-d. basés sur les intrants industriels. Certains auteurs ont commencé à adapter des méthodes d'évaluations aux spécificités de systèmes agricoles plus agroécologiques, mais toujours sur des méthodes conçus sur les principes de fonctionnement des systèmes agricoles dominants productivistes. Cela se voit notamment sur les indicateurs d'évaluation agronomiques qui sont souvent limités aux composantes du rendement et économiques liés au prix du rendement. Les spécificités des systèmes agroécologiques sont rarement prises en compte dès la conception des méthodes d'évaluation. Ainsi la fourniture des services écosystémiques au cœur de ces systèmes sont rarement pris en compte par les méthodes d'évaluation environnementales, à la fois (Figure 15) (Soulé *et al.*, en révision).

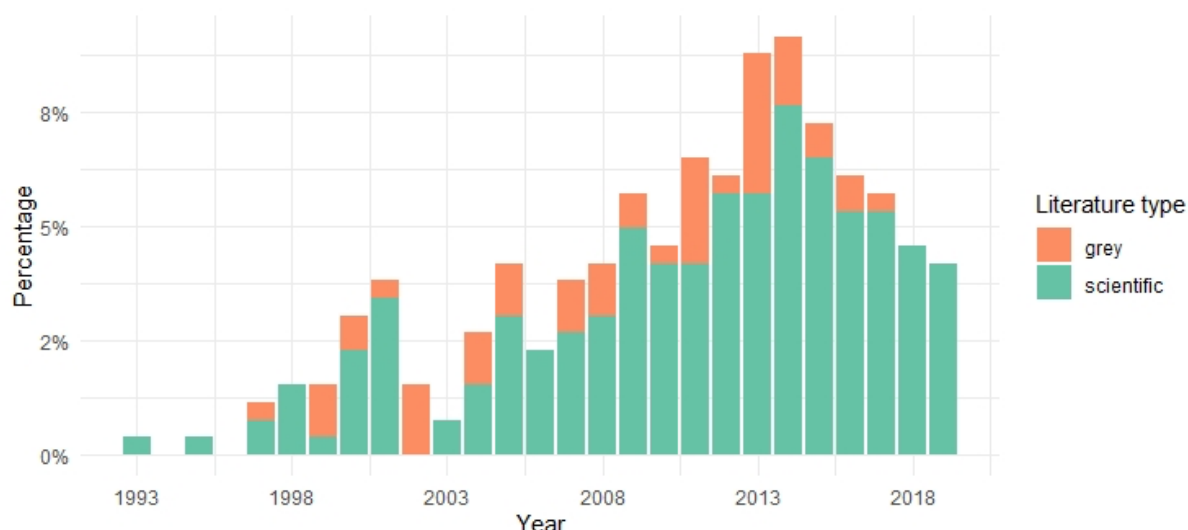


Figure 15. Évolution du nombre de méthodes d'évaluation de la durabilité développées entre 1993 et 2019 (n=262), (Soulé *et al.*, en révision).

b) Les manques de l'ACV pour évaluer spécifiquement les systèmes agroécologiques

(van der Werf *et al.* 2020) a identifié les lacunes profondes de la méthode pour son application aux spécificités de l'agriculture biologique :

Ces lacunes sont :

- L'évaluation des services écosystémiques, déjà évoquées
- L'évaluation de la dégradation des sols
- L'évaluation des impacts des pesticides
- L'évaluation des effets indirects des changements d'usage des sols agricoles
- Enfin, et non le moindre, le problème de l'unité fonctionnelle d'évaluation originelle de l'ACV (l'hectare) qui est dans une logique de productivité et non dans une logique de valorisation qualitative des productions agricoles et même parfois non quantifiable financièrement (ex : services écosystémiques, lien social...)
- L'ACV sociale, en cours de travail pour les systèmes dominants, sans prise en compte en particulier des systèmes agroécologiques (Macombe *et al.*, 2013) bien que se développent des méthodes d'ACV territoriales qui de fait devront prendre en compte la diversité des systèmes agricoles présents sur les territoires et donc les systèmes agroécologiques (Roibas *et al.*, 2018).

c) *La nécessité d'un cadre unifié pour le volet social de l'évaluation de la durabilité de l'agriculture*

Janker & Mann (2020) montrent par analyse d'un corpus de 87 outils d'évaluation sociale qu'il manque un cadre conceptuel unifié pour le volet social des méthodes d'évaluation de la durabilité des formes d'agriculture mondiales. Nous pouvons extrapoler ce constat à l'évaluation de la durabilité sociale des systèmes agroécologiques. Ce champ se place bien en agronomie et hors de la sociologie du travail, même si l'objet sera la durabilité sociale des systèmes agricoles agroécologiques.

Ces auteurs mettent en évidence la diversité des définitions de la dimension sociale de l'évaluation de l'agriculture. Ainsi en l'absence de définition unifiée, les indicateurs portent sur une multitude de thématiques et les développeurs utilisent rarement des cadres conceptuels existants pour sélectionner et construire leurs indicateurs d'évaluation sociale. Par exemple, seulement 9% des outils utilisent les cadres conceptuels théoriques de « capital social » et de 'bien-être subjectif'. Ainsi, les 5 thématiques les plus fréquentes sont : les droits humains, le travail, la qualité de vie, l'impact sur la société et l'ancrage social Tableau 11.

Tableau 11. Résumé des thèmes principaux instruits dans les cinq thématiques d'évaluation de la durabilité sociale d'après (Janker & Mann, 2020).

Travail	Qualité de vie	L'impact sur la société	L'ancrage des aspects sociaux
Heures de travail Intensité du travail Santé Sécurité	De bien-être, le bien-être humain, la sécurité alimentaire des ménages, la sécurisation des exploitations agricoles, la succession, la satisfaction de vivre, la viabilité	Le bénéfice social, la compatibilité sociale, la dépendance des personnes à la production alimentaire, le soutien des communautés locales, l'impact sur la chaîne de production de valeurs, l'acquisition de terres avec ou sans conflit avec les porteurs d'enjeux	Dans le contexte des exploitations

Par ailleurs, les indicateurs peuvent être classés selon :

- Leur échelle d'application : selon qu'ils sont applicables à une petite échelle ou à l'échelle de la ferme familiale (ex. : avec des notions de sécurité alimentaire) ou à l'échelle des entreprises agricoles (ex. : avec des notions de compensation dans le temps, de conflits pour le sol...)
- Leur zone géographique : selon qu'ils sont plus importants pour les agricultures du Sud (ex. : sécurité alimentaire locale) ou pour les agricultures du Nord (ex. : bien-être animal et des salariés).

D'autres auteurs ont montré que les méthodes d'évaluation sont assez mal dotées en indicateurs d'évaluation de la durabilité sociale (Lairez *et al.*, 2015), plus particulièrement concernant le travail (quantité, nature, pic, pénibilité), la technicité, la complexité à gérer (ex. nombre de processus/variable d'état à prendre en compte) (Merot & Wery, 2017) et les besoins en termes de connaissances (Duru *et al.*, 2015).

Concernant le cadre méthodologique de l'ACV, des travaux récents se sont attelés à développer un cadre conceptuel de l'ACV sociale. Feschet (2014) le pose dans le cadre de sa thèse en sciences économiques, en utilisant des outils mathématiques et en discutant de l'échelle spatiale d'évaluation. De même, Macombe *et al.* (2013) l'ont appliqué à des systèmes agricoles non alimentaire, avec le cas d'étude de la production de biodiesel, discute de l'évaluation sociale contenant une imbrication de plusieurs échelles spatiales d'évaluation : l'entreprise, le pays et l'état pour avoir l'évaluation la plus proche possible de la réalité. Enfin, Feschet *et al.* (2013) proposent d'utiliser la voie de Peston pour construire une méthode d'ACV sociale, et l'applique à un cas d'étude : la production agricole de bananes en système conventionnel au Cameroun.

Je propose ainsi de m'atteler à proposer un cadre unifié pour évaluer la dimension sociale de la durabilité des systèmes agroécologiques, pouvant imbriquer plusieurs échelles spatiales et temporelles en lien avec les caractéristiques des systèmes innovants et les filières ou territoires dans lesquels ils sont inclus.

d) Les autres aspects à prendre en considération

La majorité de ces méthodes restent statiques et il conviendrait de prendre en compte l'aspect dynamique des systèmes, telle la résilience, la vulnérabilité des systèmes (Dardonville *et al.*, 2021).

4.3.2. Questions de recherche

Ma seconde question de recherche est : quelle est la durabilité des systèmes agroécologiques ?

Sous-question 1 : Peut-on construire un cadre méthodologique unifié pour l'évaluation des systèmes agricoles agroécologiques ?

Sous-question 2 : Quelle méthode d'évaluation des performances des systèmes agroécologiques ?

Sous-question 3 : Quelles sont les performances multiples (agronomique (quantitatif et qualitatif), environnemental social, économique) des systèmes agroécologiques ?

4.3.3. Stratégie de recherche

La construction d'une méthode d'évaluation suivra les étapes de construction de méthode et d'indicateurs décrites dans (Lairez *et al.*, 2015) :

a) Une première étape porte sur les choix préalables fixant l'objectif finalisé de l'évaluation, les caractéristiques des systèmes à évaluer, les limites spatiales (ex. : les échelles supra-parcellaires), temporelles (ex. : prendre en compte plusieurs cycles de productions et plusieurs années culturales) et d'organisation de ces systèmes, les états initiaux et les caractéristiques dynamiques de ces systèmes (ex. : la résilience et la robustesse de ces systèmes).

Ce cadre conceptuel sera enrichi par d'autres informations essentielles à la construction de la méthode : comme les acteurs de l'évaluation que sont par exemple les commanditaires, les bénéficiaires, les experts mobilisés, les porteurs d'enjeux, les groupes sociaux concernés par cette évaluation.

Ce cadre sera aussi enrichi par la description des contraintes de mise en œuvre de la construction de la méthode : par exemple les contraintes liées aux ressources financières et humaines, l'existence et l'accès aux données et le temps disponible pour construire la méthode

d'évaluation. Cela pourra par exemple, être fait dans le cadre de projets de recherche déposés et lauréats.

b) A partir ces choix préalables, il sera possible de construire un cadre conceptuel de la durabilité en définissant les critères d'évaluation, avec cette question sur l'articulation des impacts des pratiques avec les services écosystémiques.

c) L'étape suivante porte sur le choix ou la construction des indicateurs et de leur valeur de référence (seuil, valeur cible ou valeur relative de référence, etc.). Un exemple peut être donné de l'évaluation de la pénibilité de l'introduction de l'innovation dans le système : comment l'évaluer ? quelles seront les seuils de surcharge de travail liés à cette innovation ?

Concernant, la construction des indicateurs, je chercherai à construire des indicateurs prédictifs des effets quant à la durabilité des systèmes innovants (à l'instar de ce j'ai commencé dans Pepsvi avec Olivier Keichinger concernant l'indicateur original SOECO (Keichinger & Thiollet-Scholtus, 2017; Thiollet-Scholtus & Keichinger, 2021). Il s'agit d'un travail de modélisation opérationnelle consistant à intégrer les connaissances sur les processus au mieux tout en se limitant à un nombre réduit de variables d'entrées accessibles. Une autre piste est l'utilisation de la base INDIC (Thomas-Delille, 2015), base construite au LAE, et qui n'a pas encore été totalement finalisée notamment pour la dimension sociale de la durabilité mais aussi pour les systèmes innovants. Ce premier travail méritera d'être affiné et développé en collaboration avec des sociologues, des économistes, des ergonomes, et simultanément avec les porteurs d'enjeu et les agriculteurs de ces systèmes agroécologiques.

(d) A la suite, j'aborderai la question de l'agrégation des indicateurs. En effet, au-delà du développement d'un jeu d'indicateurs complémentaires, le développement de ce type de méthode fait émerger des problèmes liés à la manipulation d'un grand nombre d'indicateurs et à la possibilité de produire une information manipulable et utile pour les utilisateurs et gestionnaires des systèmes évalués. Dans ce type d'approche multicritère basé sur un grand nombre d'indicateurs il est maintenant reconnu qu'il est souvent intéressant, voire nécessaire, de mettre en œuvre une procédure d'agrégation d'indicateurs en indices plus synthétiques (Craheix *et al.*, 2015). Ce type d'agrégation est maintenant classiquement utilisée *via* l'utilisation d'arbre bayésien déterministe (ex. DEXI) ou, plus récemment le développement de méthodes permettant de gérer les possibilités de compensation entre indicateurs ou indices (ex : méthode CONTRA de (Bockstaller *et al.*, 2017).

A la suite, il faudra réfléchir à une méthode de normalisation qui peut se faire par mise en classe dans le cas des arbres décision, et définir les paramètres pour l'agrégation, telle la pondération, et analyser la compensation de tous ces indicateurs qui seront intégrés dans la méthode d'évaluation construite.

(e) Enfin, il faudra tester cette méthode. Pour assurer leur pertinence et la maîtrise par les utilisateurs des effets de l'agrégation, des méthodes d'analyse de sensibilité de ces arbres d'agrégation doivent être mises œuvre lors de leur développement mais aussi, possiblement lors de leur utilisation (Bergez, 2013; Carpani *et al.*, 2012). De même, il faudra valider cette méthode et les indicateurs qui la constituent (Bockstaller & Girardin, 2003), par exemple en confrontant les résultats méthodologiques et de calculs à la littérature par des publications ; en comparant les résultats d'évaluation à des données ou des mesures de terrain, à des perceptions d'experts d'acteurs. Par ailleurs, pour assurer leur utilité et leur appropriation par les acteurs, ces méthodes d'évaluation doivent être développées en collaboration étroite avec les futurs utilisateurs des méthodes d'évaluation (Thiollet-Scholtus & Bockstaller, 2015). Cela pourra se faire en évaluant par enquête l'usage des indicateurs et de la méthode par les acteurs commanditaires ou bénéficiaires ; en évaluant le passage de résultats d'évaluation à des actions dans les exploitations agricoles ou sur les territoires.

Pour cela, je mobiliserai plusieurs méthodes conjointement :

- les connaissances sur les fonctionnements, les processus ayant lieu dans les systèmes agronomiques conventionnels, biologiques, biodynamiques, innovants issus de ma première question de recherche et de la littérature
- les méthodes de calculs mathématiques, statistiques, les modèles de calculs existant dans la littérature => formalisme de calcul d'indicateurs & agrégation, pondération, incertitude

Pour ce faire, je propose de travailler en partenariat de façon à co-développer avec les utilisateurs concernés des filières viticoles et agricoles : les instituts représentant les deux filières en agriculture biologique à l'échelle nationale (ex : ITAB) et régionale (ex : BioGrandEst) et un organisme de conseil agricole aux deux filières concernées : la chambre d'agriculture de la région Grand-Est (ex : CRAGE-68).

Au sein de l'UMR LAE, je travaillerai avec C. Bockstaller (méthode, agrégation, compensation, pondérations), avec O. Therond (résilience, robustesse, échelles supra-parcellaires et pluri-annuelles) et Julie Wohlfahrt (systèmes agroécologiques, bioéconomie, cycle des matières organiques).

Au sein de la région Grand Est, une collaboration avec l'UMR GESTE contribuera à nourrir méthodologiquement la caractérisation sociale des systèmes agroécologiques.

L'UMR SAS (INRAE-Rennes) contribuera avec son expertise sur l'évaluation par la méthode ACV et l'évaluation des systèmes en grandes cultures

4.3.4. Résultats attendus

Je prévois de publier des articles à la fois sur la construction de la méthode, depuis le cadre conceptuel jusqu'à la méthode, avec les indicateurs, valeur de référence, méthode d'agrégation et sur la validation de la méthode et son application à des systèmes innovants existants ; et à long terme, sur la validation des commanditaires et des bénéficiaires par l'usage de la méthode pour l'action sur les territoires.

4.4. Conclusion

En conclusion, par rapport à mon bilan, j'oriente mon projet de recherche vers la caractérisation des systèmes agroécologiques et le développement de leurs méthodes d'évaluation, en ne laissant de côté les aspects de conception de systèmes agricoles. Mon projet de recherche se focalise sur les systèmes agricoles agroécologiques, peu couverts et traités de manière imparfaite par les méthodes actuelles, à la fois conventionnelles et d'ACV. Un premier travail de caractérisation est nécessaire avec la difficulté de la rareté de ces systèmes agroécologiques, et donc la nécessité d'engager des démarches de traques aux innovations dans les territoires. Par ailleurs, le travail de développement de méthode d'évaluation devra faire face à complexité de fonctionnement et de gestion de ces systèmes agroécologiques. Enfin, à la suite de ce travail méthodologique de conception de méthode d'évaluation, il me sera possible d'appliquer les méthodes d'évaluation à des échantillons de systèmes agroécologiques. Cela me permettra de formaliser des connaissances sur le développement de méthodes d'évaluation et sur les caractéristiques des multiples performances des systèmes agricoles agroécologiques.

5. BIBLIOGRAPHIE

- Beauchet, S. (2016). "Évaluation multicritère d'itinéraires techniques viticoles associant l'évaluation environnementale par Analyse du Cycle de Vie avec l'évaluation de la qualité du raisin. Contribution au choix des pratiques pour une amélioration des itinéraires techniques viticoles.." Université Bretagne Loire, Angers.
- Beauchet, S., Botreau, R., Renaud-Gentié, C., Jourjon, F., & Thiollet-Scholtus, M. (Soumis / re-soumettre été 2021). Multi-criteria method for jointly assessing the environmental impact and harvest quality of perennial crops, application for viticulture.,
- Beauchet, S., Cariou, V., Renaud-Gentié, C., Meunier, M., Siret, R., Thiollet-Scholtus, M., & Jourjon, F. (2020). Modeling the grape quality by multivariate analysis of viticulture practices, soil and climate. *Oeno One* 3601-622. <https://doi.10.20870/oeno-one.2020.54.3.1067>
- Beauchet, S., Rouault, A., Thiollet-Scholtus, M., Renouf, M., Jourjon, F., & Renaud-Gentié, C. (2019). Inter-annual variability in the environmental performance of viticulture technical management routes - a case study in the Middle Loire Valley (France). *International Journal of Life Cycle Assessment* 24(2), 253-265. <https://doi.10.1007/s11367-018-1516-y>
- Beauchet, S., Thiollet-Scholtus, M., Renaud-Gentié, C., & Jourjon, F. (2017). Improvement of the environmental performance of winegrowing practices and risk analysis for grape quality: Step towards ecoqualiconception c. In 40th World Congress of Vine and Wine, (eds.). 40th World Congress of Vine and Wine, <http://doi.10.1051/bioconf/20170901013>
- Bergez, J. E. (2013). Using a genetic algorithm to define worst-best and best-worst options of a DEXi-type model: Application to the MASC model of cropping-system sustainability. *Computers and Electronics in Agriculture* 9093-98. 10.1016/j.compag.2012.08.010
- Bockstaller, C., Beauchet, S., Manneville, V., Amiaud, B., & Botreau, R. (2017). A tool to design fuzzy decision trees for sustainability assessment. *Environmental Modelling & Software* 97130-144. <http://dx.doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.07.011>
- Bockstaller, C., Feschet, P., & Angevin, F. (2015). Issues in evaluating sustainability of farming systems with indicators. *OCL* 22(1), D102. <https://doi.org/10.1051/ocl/2014052>
- Bockstaller, C., & Girardin, P. (2003). How to validate environmental indicators. *Agricultural Systems* 76639-653.
- 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* 29223-235.
- Bodin, F., & Morlat, R. (2006). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth. I. Validation of the water supply regime, phenology and vine vigour, in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil* 28137-54.
- Botreau, R., Beauchet, S., Laurent, C., Hulin, S., Hérisset, R., Thiollet-Scholtus, M., Kanyarushoki, C., Boucault, P., Renaud-Gentié, C., & Jourjon, F. (2018). Une méthode pour évaluer conjointement performance environnementale et qualité globale des produits - application aux filières vin et lait. *Innovations Agronomiques* 6323-42.
- Cadot, Y., Caillé, S., Thiollet-Scholtus, M., Samson, A., Barbeau, G., & Cheynier, V. (2012). Characterisation of the sensory representation of the conceptual and the perceptual

- typicality for wines related to terroir. An application to red wines from Loire Valley. . *Food Quality and Preference* 2448-58. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.012>
- Carpani, M., Bergez, J. E., & Monod, H. (2012). Sensitivity analysis of a hierarchical qualitative model for sustainability assessment of cropping systems. *Environmental Modelling & Software* 27-2815-22. 10.1016/j.envsoft.2011.10.002
- Casagrande, M., Alletto, L., Naudin, C., Lenoir, A., Siah, A., & Celette, F. (2017). Enhancing planned and associated biodiversity in French farming systems. *Agronomy for Sustainable Development* 37(6), 16. <https://doi.org/10.1007/s13593-017-0463-5>
- Chantre, E., & Cardona, A. (2014). Trajectories of French Field Crop Farmers Moving Toward Sustainable Farming Practices: Change, Learning, and Links with the Advisory Services. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 38(5), 573-602. <https://doi.org/10.1080/21683565.2013.876483>
- Colomb, B., Carof, M., Aveline, A., & Bergez, J.-E. (2013). Stockless organic farming: strengths and weaknesses evidenced by a multicriteria sustainability assessment model. *Agronomy for Sustainable Development* 33(3), 593-608. 10.1007/s13593-012-0126-5
- Compagnone, C. (2004). Agriculture raisonnée et dynamique de changement en viticulture bourguignonne. *Recherches Sociologiques*(3), 103-121.
- Coulon-Leroy, C., Charnomordic, B., Rioux, D., Thiolllet-Scholtus, M., & Guillaume, S. (2012a). Prediction of vine vigor and precocity using data and knowledge-based fuzzy inference systems. *OENO One* 46(3), 185-205. <https://doi.org/10.20870/oeno-one.2012.46.3.1518>
- Coulon-Leroy, C., Charnomordic, B., Thiolllet-Scholtus, M., & Guillaume, S. (2013a). Imperfect knowledge and data-based approach to model a complex agronomic feature – Application to vine vigor. *Computers and Electronics in Agriculture* 99135–145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.compag.2013.09.010>
- Coulon-Leroy, C., Morlat, R., Barbeau, G., Gary, C., & Thiolllet-Scholtus, M. (2012b). The Vine Functioning Pathway, A New Conceptual Representation. In "Sustainable Agriculture Reviews: Volume 11" (E. Lichtfouse, ed.), pp. 241-264. Springer Netherlands.
- Coulon-Leroy, C., Renaud-Gentié, C., Thiolllet-Scholtus, M., & Cadot, Y. (2013b). Mieux caractériser les types de raisin ou de vin pour évaluer l'impact des itinéraires techniques. *Revue suisse Viticulture, Arboriculture, Horticulture* 45(4), 250–257.
- Craheix, D., Bergez, J., Angevin, F., Bockstaller, C., Bohanec, M., Colomb, B., Dore, T., Fortino, G., Guichard, L., Pelzer, E., Messean, A., Reau, R., & Sadok, W. (2015). Guidelines to design models assessing agricultural sustainability, based upon feedbacks from the DEXi decision support system. *Agronomy for Sustainable Development* 35(4), 1431-1447. [http://dx.DOI: 10.1007/s13593-015-0315-0](http://dx.doi.org/10.1007/s13593-015-0315-0)
- Dardonville, M., Bockstaller, C., & Therond, O. (2021). Review of quantitative evaluations of the resilience, vulnerability, robustness and adaptive capacity of temperate agricultural systems. *Journal of Cleaner Production* 286125456. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.125456>
- de Olde, E. M., Oudshoorn, F. W., Sorensen, C. A. G., Bokkers, E. A. M., & de Boer, I. J. M. (2016). Assessing sustainability at farm-level: Lessons learned from a comparison of tools in practice. *Ecological Indicators* 66391-404. 10.1016/j.ecolind.2016.01.047
- Duru, M., Chia, E., Geslin, P., & Chertier, A. (2005). Production ou co-conception des outils ? Le cas d'un outil de diagnostic pour la gestion du pâturage. In Symposium Territoires et Enjeux du développement régional, INRA (eds.). INRA,
- Duru, M., Therond, O., Martin, G., Martin-Clouaire, R., Magne, M.-A., Justes, E., Journet, E.-P., Aubertot, J.-N., Savary, S., Bergez, J.-E., & Sarthou, J.-P. (2015). How to

- implement biodiversity-based agriculture to enhance ecosystem services: a review. *Agronomy for Sustainable Development* 35:1259–1281. <http://dx.doi.org/10.1007/s13593-015-0306-1>
- Eichler Inwood, S. E., López-Ridaura, S., Kline, K. L., Gérard, B., Gardeazabal Monsalue, A., Govaerts, B., & Dale, B. H. (2018). Assessing sustainability in agricultural landscapes: a review of approaches. *Environmental Reviews* 26(3), 1-17. <https://doi.org/10.1139/er-2017-0058>
- Feschet, P. (2014). Analyse du cycle de vie sociale. Pour un nouveau cadre conceptuel et théorique., Université de Montpellier 1.
- Feschet, P., Macombe, C., Garrabe, M., Loeillet, D., Saez, A. R., & Benhmad, F. (2013). Social impact assessment in LCA using the Preston pathway. *International Journal of Life Cycle Assessment* 18(2), 490-503. 10.1007/s11367-012-0490-z
- Gamache, G., Anglade, J., Feche, R., Barataud, F., Mignolet, C., & Coquil, X. (2020). Can living labs offer a pathway to support local agri-food sustainability transitions? *Environmental Innovation and Societal Transitions* 37:93-107. 10.1016/j.eist.2020.08.002
- Garbach, K., Milder, J. C., DeClerck, F. A. J., de Wit, M. M., Driscoll, L., & Gemmill-Herren, B. (2016). Examining multi-functionality for crop yield and ecosystem services in five systems of agroecological intensification. *International Journal of Agricultural Sustainability* 15(1), 11-28. 10.1080/14735903.2016.1174810
- Giller, K. E., Leeuwis, C., Andersson, J. A., Andriessse, W., Brouwer, A., Frost, P., Hebinck, P., Heitkonig, I., van Ittersum, M. K., Koning, N., Ruben, R., Slingerland, M., Udo, H., Veldkamp, T., van de Vijver, C., van Wijk, M. T., & Windmeijer, P. (2008). Competing Claims on Natural Resources: What Role for Science? *Ecology and Society* 13(2), 18. <Go to ISI>://WOS:000262291600052
- Gouttenoire, L., Fiorelli, J. L., Trommenschlager, J. M., Coquil, X., & Cornut, S. (2010). Understanding the reproductive performance of a dairy cattle herd by using both analytical and systemic approaches: a case study based on a system experiment. *Animal* 4(6), 827-841. doi: 10.1017/S1751731110000376.
- Grignion, J., & Thiollot-Scholtus, M. (2015). Itinéraires viticoles innovants en agriculture biologique et biodynamique. Modes d'entretien du sol et protection fongique. Méthode de coconception de l'expérimentation scientifique au coeur des exploitations viticoles. *Revue des Oenologues* 156:17-18.
- Hill, S. B., & MacRae, R. J. (1995). Conceptual frameworks for the transition from conventional to sustainable agriculture. *Journal of Sustainable Agriculture* 7(1), 81-87. https://doi.org/10.1300/J064v07n01_07
- Inwood, S. E. E., Lopez-Ridaura, S., Kline, K. L., Gerard, B., Monsalue, A. G., Govaerts, B., & Dale, V. H. (2018). Assessing sustainability in agricultural landscapes: a review of approaches. *Environmental Reviews* 26(3), 299-315. 10.1139/er-2017-0058
- Janker, J., & Mann, S. (2020). Understanding the social dimension of sustainability in agriculture: a critical review of sustainability assessment tools. *Environment Development and Sustainability* 22(3), 1671-1691. 10.1007/s10668-018-0282-0
- Keichinger, O., & Thiollot-Scholtus, M. (2017). SOECO: Socio-economic indicators for viticulture and innovative cultural systems. In 40th World Congress of Vine and Wine, (eds.). OIV, <http://doi:10.1051/bioconf/20170904012>
- Lairez, J., Feschet, P., Aubin, J., Bockstaller, C., & Bouvarel, I. (2015). "Agriculture et développement durable. Guide pour l'évaluation multicritère," QUAE Educagri.
- Lampridi, M. G., Sorensen, C. G., & Bochtis, D. (2019). Agricultural Sustainability: A Review of Concepts and Methods. *Sustainability* 11(18), 27. 10.3390/su11185120

- Lefrancq, M., Imfeld, G., Payraudeau, S., & Millet, M. (2013). Kresoxim methyl deposition, drift and runoff in a vineyard catchment. *Science of The Total Environment* 442503-508. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.09.082>
- Macombe, C., Leskinen, P., Feschet, P., & Antikainen, R. (2013). Social life cycle assessment of biodiesel production at three levels: a literature review and development needs. *Journal of Cleaner Production* 52205-216. 10.1016/j.jclepro.2013.03.026
- Mailly, F., Hossard, L., Barbier, J.-M., Thiolllet-Scholtus, M., & Gary, C. (2017). Quantifying the impact of crop protection practices on pesticide use in wine-growing systems. *European Journal of Agronomy* 8423-34. <https://doi.10.1016/j.eja.2016.12.005>
- Martin, G., Martin-Clouaire, R., & Duru, M. (2013). Farming system design to feed the changing world. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 33131-149. <http://dx.doi.10.1007/s13593-011-0075-4>
- Merot, A., Belhouchette, H., Saj, S., & Wery, J. (2020). Implementing organic farming in vineyards. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 44(2), 164-187. <https://doi.10.1080/21683565.2019.1631934>
- Merot, A., & Wery, J. (2017). Converting to organic viticulture increases cropping system structure and management complexity. *Agronomy for Sustainable Development* 37(3), 19-29. <http://dx.doi.10.1007/s13593-017-0427-9>
- Metay, A., Magnier, J., Guilpart, N., & Christophe, A. (2014). Nitrogen supply controls vegetative growth, biomass and nitrogen allocation for grapevine (cv. Shiraz) grown in pots. *Functional Plant Biology* 42(1). <http://dx.doi.org/10.1071/FP14062>
- Meynard, J. M., Cerf, M., Guichard, L., Jeuffroy, M. H., & Makowski, D. (2002). Which decision support tools for the environmental management of nitrogen? *Agronomie* 22(7-8), 817-829.
- Morlat, R. (1998). Les relations entre le terroir, la vigne et le vin. *Compte-Rendus de l'Académie de l'Agriculture de France* 84(2), 19-32.
- Morlat, R., & Bodin, F. (2006). Characterization of viticultural terroirs using a simple field model based on soil depth - II. Validation of the grape yield and berry quality in the Anjou vineyard (France). *Plant and Soil* 281(1-2), 55-69.
- Pelzer, E., Fortino, G., Bockstaller, C., Angevin, F., Lamine, C., Moonen, C., Vasileiadis, V., Guérin, D., Guichard, L., Reau, R., & Messéan, A. (2012). Assessing innovative cropping systems with DEXiPM, a qualitative multi-criteria assessment tool derived from DEXi. *Ecological indicators* 18171-182. <https://doi.10.1016/j.ecolind.2011.11.019>
- 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* 72149-172.
- Petit, A., Barbier, J.-M., Thiolllet-Scholtus, M., Cresson, C., Chovelon, M., & Meynard, J.-M. (2019). VITINNOBIO : Repérage et caractérisation des innovations techniques chez des viticulteurs biologiques en France *Innovations Agronomiques* 71123-134. <http://dx.doi.org/10.15454/7vrfsw>
- Renaud-Gentié, C., Dieu, V., Thiolllet-Scholtus, M., & Merot, A. (2020). Addressing organic viticulture environmental burdens by better understanding interannual impact variations. *International Journal of Life Cycle Assessment* 24(25), 1307–1322. <https://doi.org/10.1007/s11367-019-01694-8>
- Renaud-Gentié, C., Dieu, V., Thiolllet-Scholtus, M., Perrin, A., Julien, S., Beauchet, S., Jourjon, F., & Merot, A. (2018). Addressing organic viticulture environmental burdens by better understanding causes of inter-annual impacts variations. In 11th International Conference LCA of Food, (eds.),

- Repar, N., Jan, P., Dux, D., Nemecek, T., & Doluschitz, R. (2017). Implementing farm-level environmental sustainability in environmental performance indicators: A combined global-local approach. *Journal of Cleaner Production* 140692-704. [10.1016/j.jclepro.2016.07.022](https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.022)
- Ripoche, A., Metay, A., Celette, F., & Gary, C. (2011). Changing the soil surface management in vineyards: immediate and delayed effects on the growth and yield of grapevine. *Plant and Soil* 339(1-2), 259-271. [http://dx.doi.org/10.1007/s11104-010-0573-1](https://doi.org/10.1007/s11104-010-0573-1)
- Roibas, L., Loiseau, E., & Hospido, A. (2018). On the feasibility and interest of applying territorial Life Cycle Assessment to determine subnational normalisation factors. *Science of the Total Environment* 6261086-1099. [10.1016/j.scitotenv.2018.01.126](https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.126)
- Sadok, W., Angevin, F., Bergez, J. E., Bockstaller, C., Colomb, B., Guichard, L., Reau, R., & Dore, T. (2009). MASC, a qualitative multi-attribute decision model for ex ante assessment of the sustainability of cropping systems. *Agronomy for Sustainable Development* 29(1), 447-461. [http://dx.doi.org/10.1051/agro/2009006](https://doi.org/10.1051/agro/2009006)
- Salembier, C., Elverdin, J. H., & Meynard, J. (2016). Tracking on-farm innovations to unearth alternatives to the dominant soybean-based system in the Argentinean Pampa. *Agronomy for Sustainable Development* 36(1), 1-10. [http://dx.doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9](https://doi.org/10.1007/s13593-015-0343-9)
- Soulé, E., Michonneau, P., Michel, N., & Bockstaller, C. (en révision). Environmental sustainability assessment in agricultural systems: a conceptual and methodological review. *Journal of Cleaner Production*.
- Striffler, B., Wohlfahrt, J., & Thiolllet-Scholtus, M. (2018). Fungi resistant grape variety diffusion: a multi-scale, multi-factor approach. In XIIth International Terroir Congress, (eds.). 1,
- Talukder, B., Blay-Palmer, A., vanLoon, G. W., & Hipel, K. W. (2020). Towards complexity of agricultural sustainability assessment: Main issues and concerns. *Environmental and Sustainability Indicators* 6100038. <https://doi.org/10.1016/j.indic.2020.100038>
- Therond, O., Duru, M., Roger-Estrade, J., & Richard, G. (2017). A new analytical framework of farming system and agriculture model diversities. A review. *Agronomy for Sustainable Development* 37(21), 1-21. [http://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7](https://doi.org/10.1007/s13593-017-0429-7)
- Thiolllet-Scholtus, M. (2004). Construction d'un indicateur de qualité des eaux de surface vis-à-vis des produits phytosanitaires à l'échelle d'un bassin versant. PhD thesis, Institut Polytechnique de Lorraine, Nancy-Colmar.
- Thiolllet-Scholtus, M., Arceño, M.-A., Valduga, M., & Sarrazin, F. (2020a). Use of Viticulture Practices and Technical and Trade Networks to Characterize Loire Valley Winegrowers. *The Journal of Wine Research* 31(4), 265-282. <https://doi.org/10.1080/09571264.2020.1855579>
- Thiolllet-Scholtus, M., & Bockstaller, C. (2015). Using indicators to assess the environmental impacts of wine growing activity: the INDIGO® method. *European Journal of Agronomy* 6213-25. [http://dx.doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.001](https://doi.org/10.1016/j.eja.2014.09.001)
- Thiolllet-Scholtus, M., Caillé, S., Samson, A., Lambert, J.-J., & Morlat, R. (2014). Use of production practices and sensory attributes to characterize Loire Valley red wines. *American Journal of Enology and Viticulture* 65(1), 50-58. [http://dx.doi.org/10.5344/ajev.2013.12141](https://doi.org/10.5344/ajev.2013.12141)
- Thiolllet-Scholtus, M., & Keichinger, O. (2021). Human capital assessment method to assess sustainability of new low-input viticulture systems. In International Symposium on Work in Agriculture, (eds.),
- Thiolllet-Scholtus, M., Muller, A., Abidon, C., Chaumonnot, S., Grignion, J., Keichinger, O., Klein, C., Koller, R., Langenfeld, A., Ley, L., Lemarquis, G., Nassr, N., Nibaudeau,

- R., Rabolin-Meinrad, C., Ribeiro, S., Weissbart, J., & Wohlfahrt, J. (2021). Multidimensional assessment demonstrates sustainability of new low-input viticulture systems in north-eastern France. *European Journal of Agronomy* 123126210. <https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126210>
- Thiollet-Scholtus, M., Muller, A., Abidon, C., Grignon, J., Keichinger, O., Koller, R., Langenfeld, A., Lemarquis, G., Ley, L., Rabolin-Meinrad, C., & Nassr, N. (2020b). Assessment of new low input vine systems : dataset on environmental, soil, biodiversity, growth, yield, disease incidence, juice and wine quality, cost and social data. *Data in Brief* 31105663. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2020.105663>
- Thiollet-Scholtus, M., Sarrazin, F., Badier, M., & Barbeau, G. (2009). Design of a participatory research to study the contributive factors in the building of wines fame. *In 2nd Farming System Design*, (eds.),
- Thiollet-Scholtus, M., Striffler, B., & Wohlfahrt, J. (2019). Low input innovation in vineyard system, multi-scale, multi-criteria analysis. *In 6th Farming System Design*, (eds.),
- Thomas-Delille, E. (2015). "Méthodes d'évaluation et indicateurs du développement durable en agriculture : Elaboration et analyse de la base de données INDIC." Université de Haute Alsace.
- van der Werf, H., M.T., K., & Cederberg, C. (2020). Towards better representation of organic agriculture in life cycle assessment. *Nature Sustainability* 3419-425. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-0489-6>
- van Ittersum, M. K., & Donatelli, M. (2003). Modelling cropping systems - highlights of the symposium and preface to the special issues. *European Journal of Agronomy* 18(3-4), 187-197. [http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301\(02\)00095-3](http://dx.doi.org/10.1016/S1161-0301(02)00095-3),
- van Leeuwen, C., Friant, P., Chone, X., Tregoat, O., Koundouras, S., & Dubourdieu, D. (2004). Influence of climate, soil, and cultivar on terroir. *American Journal of Enology and Viticulture* 55(3), 207-217. <Go to ISI>://20043185584
- van Leeuwen, C., Roby, J.-P., & De Resseguier, L. (2018). Soil-related terroir factors: a review. *Oeno One* 52(2), 173-188. DOI: 10.20870/oeno-one.2018.52.2.2208
- Warner, K. D. (2008). Agroecology as participatory science: emerging alternatives to technology transfer extension practice. *Science Technology Human Values* 33(6), 754-777. <http://dx.doi:10.1177/0162243907309851>
- Wohlfahrt, J. (2008). Développement d'un indicateur d'exposition des eaux de surface aux pertes de pesticides à l'échelle du bassin versant. PhD thesis, Institut Polytechnique de Lorraine, Nancy-Colmar.
- Wustenberghs, H., Coteur, I., Debruyne, L., & Marchand, F. (2015). "TempAg Pilot Activity 1.1.1: Survey of Sustainability Assessment Methods." Institute for Agricultural and Fisheries Research.
- Zahm, F., Barbier, J. M., Cohen, S., Boureau, H., Girard, S., Carayon, D., Alonso-Ugaglia, A., De l'Homme, Gafsi, M., Gasselien, P., Guichard, L., Loyce, C., Manneville, V., & Redingshöfer, B. (2019). IDEA4:une méthode de diagnostic pour une évaluation clinique de la durabilité en agriculture. *Agronomie, Environnement & Sociétés. Association Française d'Agronomie(Afa)* 9(2), 39-51.